

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPO DE UN BANCO DE PRUEBAS DE
ALTERNADORES DE 12 VOLTIOS PARA VEHÍCULOS

ANDRÉS FELIPE ARDILA PEÑUELA
DANIEL MAURICIO RIVERA PÉREZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA
INGENIERIA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2026

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPO DE UN BANCO DE PRUEBAS DE
ALTERNADORES DE 12 VOLTIOS PARA VEHÍCULOS

ANDRÉS FELIPE ARDILA PEÑUELA
DANIEL MAURICIO RIVERA PÉREZ

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Mecánico

Director
ISNARDO GONZALEZ JAIMES
Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA
INGENIERIA MECÁNICA
BUCARAMANGA
2026

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a Dios, por darme la vida, la salud y la fortaleza para culminar esta etapa tan importante de mi formación profesional. A mis padres Dolly y Alberto, por su amor, esfuerzo y apoyo incondicional durante todo este proceso, siendo siempre mi mayor motivación para salir adelante. A mi director de tesis, por su orientación, acompañamiento y valiosos conocimientos brindados durante el desarrollo de este proyecto. A mi hermano, por su apoyo constante, ánimo y confianza en cada momento. A mi compañero de tesis, por el compromiso, trabajo en equipo y dedicación compartida para alcanzar esta meta. Finalmente, agradezco a todas las personas que contribuyeron de una u otra manera al logro de este objetivo.

ANDRES FELIPE ARDILA PEÑUELA

Quiero expresar mis sinceros agradecimientos a Dios por brindarme la fortaleza, la sabiduría necesaria para culminar esta etapa de mi formación personal. Agradezco a mi institución educativa por proporcionarme las herramientas necesarias para el desarrollo de este proyecto. De manera especial agradezco a mis padres, Stella Pérez, Milton Rivera, y a mis hermanos quienes siempre estuvieron brindándome su apoyo incondicional, durante todo este tiempo, agradezco de todo corazón su cariño. Siendo un pilar fundamental para lograr este objetivo. De manera especial, agradezco a mi director de tesis Isnardo Gonzales por su orientación, paciencia y acompañamiento durante el desarrollo de este trabajo, aportando valiosos conocimientos que permitieron alcanzar los objetivos planteados.

Quiero agradecer especialmente a Valeria Méndez Buendía, fuente de inspiración, un apoyo y siendo una de las más grandes motivaciones para lograr este objetivo. Quiero dar gracias a la vida por cruzarme con una persona tan maravillosa y dedicarme parte de su tiempo y de su vida.

DANIEL MAURICIO RIVERA PEREZ

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	15
1.PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
2. OBJETIVOS	18
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3. IMPORTANCIA DEL ALTERNADOR EN LA MECÁNICA AUTOMOTRIZ.....	19
4. CIRCUITO ELÉCTRICO DE UN VEHÍCULO	21
5. MARCO TEÓRICO.....	23
5.1. LOS ALTERNADORES	24
5.2 PARTES DE UN ALTERNADOR.....	24
5.2.1 El Rotor o Inductor.....	25
5.2.2 Estátor O Inducido.....	27
5.2.3 Las Carcasas.....	27
5.2.4 La Placa De Diodos.....	29
5.2.5 El Regulador.....	31
5.3 TIPOS DE ALTERNADORES.....	32
5.3.1 Alternador Monobloc	33
5.3.2 Alternadores compactos.....	33
5.4 CIRCUITOS DE CARGA	34
5.4.1 Corriente Continua Y Corriente Alterna	36
5.5 EL OSCILOSCOPIO.....	37
5.5.1 Osciloscopio como herramienta de análisis en el banco de pruebas	38
5.6 MOTOR ELÉCTRICO.....	39
5.6.1 ¿Por qué motor trifásico?	40
5.7 VARIADOR DE FRECUENCIA.....	41
5.8 LA BATERÍA.....	42
6. DISEÑO CONCEPTUAL DEL BANCO DE PRUEBAS.....	44
6.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.....	44

6.2 QFD.....	45
6.2.1 Requerimientos del cliente:	45
6.2.2 Requerimientos funcionales	45
6.3 QFD DISEÑO	46
6.4 ALTERNATIVAS.....	46
6.5 MATRIZ PUGH.....	48
6.6 ALTERNATIVA GANADORA.....	49
7. DISEÑO DEL BANCO DE PRUEBAS MEDIANTE SIMULACIÓN	50
7.1 CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS.....	52
7.2 PRUEBAS EN EL BANCO Y ANALISIS DE RESULTADOS.....	52
7.3 MATLAB	53
7.4 COMPONENTES	55
7.4.1 Controlled Voltaje Source	55
7.4.2 Constant Matlab	55
7.4.3 Battery Matlab	55
7.4.4 PS-Simulink Matlab	55
7.4.5 Sensores eléctricos	55
7.5 MODELADO DEL ALTERNADOR.....	56
7.5.1 Bateria.....	57
7.5.2 Consumo Eléctrico	57
7.5.3 Computador.....	58
7.5.4 Instrumentos de medición.....	58
7.6 APLICACIÓN.....	59
7.7 RESULTADOS DE SIMULACIÓN	59
7.7.1 Motor apagado sin cargas adicionales.	59
7.7.2 Motor apagado con cargas adicionales.	61
7.7.3 Motor encendido a 1700 RPM sin cargas adicionales.....	62
7.7.4 Motor encendido a 1700 RPM con cargas adicionales.....	64
8. DISEÑO DE DETALLE Y DIMENSIONAMIENTO DEL BANCO DE PRUEBAS	66
8.1 ARMADURA DE LA ESTRUCTURA:	67

8.1.1 Caja	67
8.1.2 Bastidor	68
8.1.3 Layout de la Estructura.....	69
8.2 SISTEMA DE TRANSMISIÓN:	70
8.2.1 Selección diámetro de polea para el motor eléctrico	71
8.2.2 Selección de polea y correa de transmisión:	72
8.2.3 Selección de Correa de Transmisión.....	74
8.3 MOTOR ELÉCTRICO, VARIADOR DE FRECUENCIA Y OSCILOSCOPIO.	77
8.3.1 Selección Del Motor	77
8.3.2 Selección Del Variador De Frecuencia	79
8.3.3 Selección Del Osciloscopio Digital	80
8.4 MODELADO Y PLANOS	81
8.5 ANÁLISIS DE VIBRACIONES:	82
8.6 ANÁLISIS DE SOLDADURA.	83
8.7 FABRICACIÓN DE COMPONENTES	85
8.7.1 Soldadura.	85
8.7.2 Doble de chapa.....	86
8.7.3 Ensamblaje eléctrico.	87
8.8 PROCESO DE ENSAMBLAJE	88
8.8.1 Montaje de la estructura mecánica.....	88
8.8.2 Montaje de sistemas eléctricos.....	89
8.9 PRUEBAS FUNCIONALES	89
8.9.1 Validación del sistema eléctrico e instrumentación.	90
8.9.2 Pruebas del sistema de accionamiento.	90
8.9.3 Evaluación estructural y comportamiento mecánico.....	91
8.9.4 Pruebas eléctricas.	91
8.9.3 Resultados.....	93
9. ANÁLISIS ECONÓMICO	95
9.1 ANÁLISIS DE COSTOS	95
9.2 VALOR PRESENTE NETO	97

9.3 TASA INTERNA DE RETORNO.....	98
9.4 PERIODO DE RECUPERACIÓN	99
9.5 COSTOS DEL PROTOTIPO	100
10. CONCLUSIONES.....	102
BIBLIOGRAFÍAS	103
ANEXOS	105

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Banco de alternadores.	16
Figura 2. El alternador.	19
Figura 3. Diagramas eléctricos de un vehículo.	21
Figura 4. Estructura básica de un alternado.	25
Figura 5. Rotor e inductor.	26
Figura 6. Estator o inducido.	27
Figura 7. Tapa soporte del lado de accionamiento (carcasa de polea).	28
Figura 8. Placa de Tipo Delco Remy, Tipo Mag Marelli, Tipo Bosch y Tipo Femsas, seguidamente.	29
Figura 9. Conexión con el inducido en estrella y conexión con el inducido en triángulo, seguidamente.	30
Figura 10. Regulador Electromagnético y Tipo Bosch.	31
Figura 11. Regulador Tipo Delco Remy y Tipo Mag Marelli.	32
Figura 12. Alternador monobloc.	33
Figura 13. Alternador compacto.	34
Figura 14. Circuito de carga con un regulador electromagnético básico.	35
Figura 15. Corriente Continua.	36
Figura 16. Corriente alterna.	36
Figura 17. Señal cuadrada pantalla osciloscopio.	37
Figura 18. Onda de tensión en un alternador.	38
Figura 19. Motor eléctrico.	39
Figura 20. Variador de frecuencia.	41
Figura 21. La batería.	42
Figura 22. Descripción del proceso.	44
Figura 23. Alternativa 1.	46
Figura 24. Alternativa 2.	47
Figura 25. Alternativa 3.	47
Figura 26. Alternativa Ganadora.	49

Figura 27. Modelo esquemático del sistema eléctrico del banco.....	54
Figura 28. Símbolo de la fuente en el software.	56
Figura 29. Símbolo de la batería en el software.	57
Figura 30. Esquema de simulación del encendido y apagado de consumos.	57
Figura 31. Símbolo del computador en el software.	58
Figura 32. Esquema de sensores de medida.	58
Figura 33. Esquema simulación motor apagado sin cargas.	59
Figura 34. Gráfico resultado de funcionamiento sin cargas adicionales.	60
Figura 35. Gráfico resultado de funcionamiento con pérdidas mínimas.	60
Figura 36. Esquema simulación motor apagado con cargas adicionales.	61
Figura 37. Gráfico resultado de funcionamiento con carga.	62
Figura 38. Esquema simulación motor encendido a 1700 rpm sin cargas adicionales..	62
Figura 39. Gráfico resultado de funcionamiento motor encendido a 1700 rpm sin cargas.	63
Figura 40. Diagrama de carga motor encendido.	64
Figura 41. Gráfico resultado de funcionamiento motor encendido a 1700 rpm con cargas.	64
Figura 42. Vista explosionada del modelo.....	66
Figura 43. Caja del banco.	67
Figura 44. Modelado CAD para análisis de esfuerzos en SolidWorks.....	68
Figura 45. Resultados para el factor de seguridad de la estructura	69
Figura 46. Dimensionamiento de toda la estructura del banco de pruebas.....	70
Figura 47. Transmisión de potencia al alternador.....	71
Figura 48. Variador de frecuencia adquirido.....	80
Figura 49. Osciloscopio Digital adquirido.	81
Figura 50. Modelo CAD banco de pruebas de alternadores de 12V.	82
Figura 51. Modelado análisis de vibraciones (modo 1, modo 2 y modo 5 respectivamente)	82
Figura 52. Montaje de los sistemas estructurales y de movilización.	88
Figura 53. Montaje del sistema eléctrico y control.....	89

Figura 54. Tableros de medida.....	91
Figura 55. Conexiones del montaje.....	92
Figura 56. Resultados.	92

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Requerimientos del cliente.	45
Tabla 2. Requerimientos funcionales.	45
Tabla 3. QFD.	46
Tabla 4. Matriz Pugh.	48
Tabla 5. Selección de la polea.	73
Tabla 6. Selección del tipo de perfil o correa.	74
Tabla 7. Selección de la correa.	75
Tabla 8. Tabla de selección del motor.	79
Tabla 9. Cálculos de Soldadura.	84
Tabla 10. Fabricación de estructura principal.	85
Tabla 11. Fabricación de la estructura con chapas metálicas.	86
Tabla 12. Conexiones eléctricas del alternador.	87
Tabla 13. Resultados de operación.	93
Tabla 14. Comparación con BOSCH.	94
Tabla 15. Desglose de inversión inicial.	96
Tabla 16. Cálculo del valor presente Neto.	97
Tabla 17. Cálculo de TIR.	99
Tabla 18. Cálculo de Payback.	100
Tabla 19. Costos de prototipo.	101

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Plano explosionado banco de alternadores.....	105
Anexo B. Plano Ensamble Banco de Alternadores.....	106
Anexo C. Plano Ensamble Bastidor.....	107
Anexo D. Plano Cubierta Base.....	108
Anexo E. Plano Cubierta Frontal.....	109
Anexo F. Plano Marco Bastidor.....	110
Anexo G. Cubierta Posterior.....	111
Anexo H. Plano Guarda Polea.....	112
Anexo I. Plano Marco Base.....	113
Anexo J. Plano Riel Soporte.....	114
Anexo K. Plano Tensor.....	115
Anexo L . Análisis estático 1.....	116
Anexo M. Análisis estático 2.....	117

RESUMEN

TÍTULO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPO DE UN BANCO DE PRUEBAS DE ALTERNADORES DE 12 VOLTIOS PARA VEHÍCULO.*

AUTOR: ANDRES FELIPE ARDILA PEÑUELA, DANIEL MAURICIO RIVERA PEREZ.**

PALABRAS CLAVE: ALTERNADOR AUTOMOTRIZ, DISEÑO Y CONSTRUCCION, BANCO DE PRUEBAS, VEHÍCULO DE COMBUSTION INTERNA, MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y PREDICTIVO.

DESCRIPCIÓN: El presente proyecto tiene como objetivo el diseño y construcción de un prototipo de banco de pruebas para alternadores de 12 voltios utilizados en vehículos. Este equipo permitirá evaluar el funcionamiento de los alternadores fuera del automóvil, mediante la medición y visualización de parámetros eléctricos clave como el voltaje de salida, la corriente generada, la velocidad de giro y el comportamiento bajo diferentes niveles de carga.

El banco está diseñado para simular condiciones reales de operación, integrando un motor que impulsa el alternador y un sistema de medición basado en instrumentos digitales o sensores conectados a una interfaz visual, como una pantalla o software. Adicionalmente, el sistema permite analizar el comportamiento dinámico del alternador, facilitando la identificación de posibles fallas en componentes como el regulador, el rectificador o las escobillas.

La implementación del prototipo busca facilitar el diagnóstico preventivo y correctivo de fallas en alternadores, aportando una herramienta útil tanto para talleres automotrices como para instituciones educativas. Asimismo, contribuye a mejorar la precisión en los procesos de evaluación, evitando desmontajes innecesarios y reduciendo costos operativos.

Con esta propuesta se espera optimizar los procesos de verificación del estado de los alternadores, disminuir los tiempos de diagnóstico y fortalecer la formación práctica en sistemas eléctricos automotrices.

* Trabajo de grado

** Facultad de ingeniería Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Ingeniería Mecánica. Director: Isnardo González Jaimes. Ingeniero Mecánico.

ABSTRACT

TITLE: DESIGN AND CONSTRUCTION OF A PROTOTYPE TEST BENCH FOR 12-VOLT ALTERNATORS FOR VEHICLES. *

AUTHOR: ANDRES FELIPE ARDILA PEÑUELA, DANIEL MAURICIO RIVERA PEREZ. **

KEY WORDS: AUTOMOTIVE ALTERNATOR, DESIGN AND CONSTRUCTION, TEST BENCH, INTERNAL COMBUSTION VEHICLE, PREVENTIVE AND PREDICTIVE MAINTENANCE.

DESCRIPTION: The objective of this project is to design and build a prototype test bench for 12-volt alternators used in vehicles. This equipment will enable the evaluation of alternator performance outside the vehicle by measuring and displaying key electrical parameters such as output voltage, generated current, rotational speed, and behavior under different load levels.

The bench is designed to simulate real operating conditions, integrating a motor that drives the alternator and a measurement system based on digital instruments or sensors connected to a visual interface, such as a screen or software. Additionally, the system allows for the analysis of the alternator's dynamic behavior, facilitating the identification of potential faults in components such as the regulator, the rectifier, or the brushes.

The implementation of the prototype aims to facilitate preventive and corrective diagnosis of alternator faults, providing a useful tool for both automotive repair shops and educational institutions. It also helps improve the accuracy of evaluation processes, avoiding unnecessary disassemblies and reducing operating costs.

This proposal is expected to optimize alternator condition verification processes, reduce diagnostic times, and strengthen practical training in automotive electrical systems.

* Degree work

** Faculty of Physical and Mechanical Engineering. School of Mechanical Engineering. Mechanical Engineering. Director: Isnardo González Jaimes. Mechanical Engineer.

INTRODUCCIÓN

El correcto funcionamiento del sistema eléctrico es un aspecto fundamental en los vehículos modernos, ya que de este depende la operación segura y confiable de múltiples componentes eléctricos y electrónicos. Dentro de este sistema, el alternador desempeña un papel esencial al convertir la energía mecánica del motor en energía eléctrica, permitiendo la recarga de la batería y el suministro continuo de energía a los distintos sistemas del vehículo. Por esta razón, el desempeño del alternador influye directamente en la eficiencia operativa y en las labores de mantenimiento automotriz.

Sin embargo, el análisis y diagnóstico de este componente suele realizarse de manera limitada, debido a que en la práctica la evaluación del alternador se efectúa principalmente cuando se encuentra instalado en el vehículo. Esta condición restringe la observación detallada de su comportamiento eléctrico y dificulta la medición precisa de variables fundamentales como el voltaje de salida, la corriente suministrada y la estabilidad de la señal generada, lo que puede conducir a diagnósticos poco confiables y a intervenciones de mantenimiento ineficientes.

Como respuesta a esta necesidad, el presente proyecto propone el diseño y construcción de un banco de pruebas para alternadores automotrices de 12 V, orientado a permitir su evaluación en condiciones controladas y fuera del vehículo. El banco integrará sistemas mecánicos, eléctricos y de medición que faciliten el análisis del comportamiento eléctrico del alternador, convirtiéndose en una herramienta de apoyo para el diagnóstico técnico y para la aplicación práctica de conocimientos de ingeniería mecánica en el ámbito automotriz.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El alternador es un generador eléctrico rotativo que convierte la energía mecánica del motor en energía eléctrica, proporcionando corriente para recargar la batería y alimentar los sistemas eléctricos del vehículo (ver figura 1). El voltaje correcto para un alternador debe estar entre 13.5 V y 14.8 V, un alternador convencional puede tener un rango entre 60 a 150 Amperios, esto depende del modelo del vehículo. En el mantenimiento automotriz, las fallas en este componente representan un desafío frecuente: según la Automotive Aftermarket Industry Association (AAIA), aproximadamente el 25 % de los problemas eléctricos reportados están asociados directamente con fallas del alternador. Investigaciones técnicas indican que cerca del 40 % de los defectos se deben a voltaje reducido, un 28 % a fallas en el rectificador, un 19 % a problemas en el regulador de voltaje y un 12 % a desgaste de escobillas y contactos.¹

Figura 1. Banco de alternadores.



Fuente: Laboratorio de combustión UIS

¹ UCAR, Murat; BAYIR, Raif; ÖZER, Mahmut. *Real time detection of alternator failures using intelligent control systems*. En: *6th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO 2009)*, Bursa, Turquía, 5-8 de noviembre de 2009.

Durante la investigación de mercado se identificó que los bancos de pruebas disponibles de procedencia extranjera, principalmente de fabricación china, presentan altos costos de adquisición, con precios que oscilan entre 1 000 y 8 000 USD, sin incluir gastos de envío ni nacionalización. Además, la mayoría de estos equipos no integran instrumentos avanzados de diagnóstico, como el osciloscopio, que permite observar el comportamiento real de la señal eléctrica generada por el alternador.

La ciudad de Bucaramanga, Santander, cuenta con una amplia red de talleres automotrices, tanto especializados como generales, que podrían beneficiarse de un equipo de este tipo, optimizando tiempos de diagnóstico y reduciendo costos operativos. Ante este panorama, surge la pregunta de investigación: ¿Diseñar y construir un banco de pruebas permitirá diagnosticar y analizar el comportamiento eléctrico de alternadores de 12V en condiciones controladas y fuera del vehículo y así suplir la ausencia de este equipo en el mercado?

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un prototipo de banco de pruebas que permita evaluar el comportamiento eléctrico de alternadores de 12 voltios para vehículos, teniendo en cuenta los diferentes modelos o tipos disponibles en el mercado local.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Analizar el funcionamiento y los parámetros eléctricos principales de los alternadores automotrices de 12 V, considerando los diferentes modelos presentes en el mercado local, con el fin de definir los criterios de medición para el banco de pruebas.

Diseñar el circuito eléctrico y seleccionar los instrumentos de medición y visualización, así como definir la estructura mecánica, el sistema de acoplamiento, el sistema de transmisión y el sistema de seguridad que permitan la correcta operación del banco de pruebas.

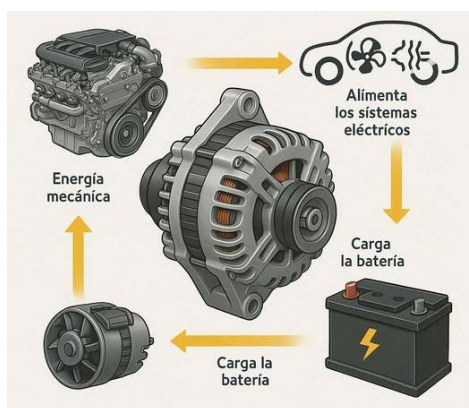
Construir el prototipo del banco de pruebas, integrando los componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos en un solo sistema funcional.

Evaluar la factibilidad económica y financiera del proyecto.

3. IMPORTANCIA DEL ALTERNADOR EN LA MECÁNICA AUTOMOTRIZ

Dentro del conjunto de sistemas que conforman un vehículo, el alternador cumple un papel esencial al permitir la generación de energía eléctrica necesaria para el funcionamiento continuo de los diferentes componentes eléctricos y electrónicos. Durante la operación del motor, este dispositivo se encarga de convertir la energía mecánica suministrada por el cigüeñal en energía eléctrica, asegurando la recarga de la batería y el suministro estable de corriente a los sistemas del vehículo (Ver figura 2). Su correcto funcionamiento resulta determinante para la confiabilidad general del automóvil y para la operación adecuada de sistemas críticos como la gestión electrónica del motor, la iluminación y los dispositivos de seguridad.

Figura 2. El alternador.



Fuente: <https://www.facebook.com/Valentina.Tv1>

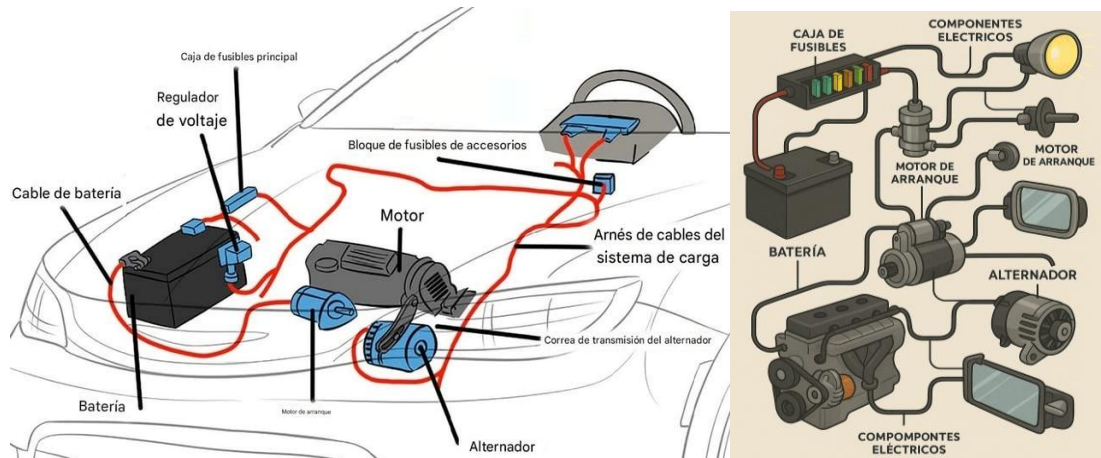
Desde la perspectiva de la ingeniería mecánica, el alternador no puede ser considerado únicamente como un elemento eléctrico, ya que su desempeño depende directamente de variables mecánicas como la velocidad de giro, la relación de transmisión por poleas, la tensión de la correa y el estado de los elementos rotativos. Además, la demanda eléctrica del vehículo influye en la carga mecánica que el alternador transmite al motor,

lo cual puede afectar parámetros como el consumo de combustible, la eficiencia del sistema motriz y la respuesta dinámica del vehículo bajo diferentes condiciones de operación.

Las fallas asociadas al alternador no solo generan deficiencias eléctricas, sino que también pueden ocasionar efectos mecánicos secundarios, tales como desalineaciones, vibraciones excesivas, desgaste prematuro de rodamientos o fallos en el sistema de transmisión por correa. Estas condiciones pueden derivar en paradas imprevistas del vehículo y en costos elevados de mantenimiento si no son detectadas a tiempo. Por ello, el análisis y diagnóstico del comportamiento del alternador constituye una actividad de alta importancia dentro del mantenimiento automotriz moderno, resaltando la necesidad de herramientas que permitan evaluar su funcionamiento de manera controlada y precisa fuera del vehículo.

4. CIRCUITO ELÉCTRICO DE UN VEHÍCULO

Figura 3. Diagramas eléctricos de un vehículo.



Fuente: <https://www.facebook.com/Valentina.Tv1>

El sistema eléctrico automotriz está compuesto por un conjunto de dispositivos interconectados cuya función es generar, almacenar, regular y distribuir la energía necesaria para el correcto funcionamiento del vehículo (ver figura 3). Entre los elementos principales se encuentran la batería, el alternador, el motor de arranque, el regulador de voltaje, la caja de fusibles y el arnés de cables, los cuales operan de manera coordinada dentro del sistema de carga.

Durante el encendido, la batería suministra la energía requerida por el motor de arranque para poner en marcha el motor de combustión. Una vez este comienza a funcionar, el alternador accionado mecánicamente mediante una correa transforma la energía mecánica en energía eléctrica. Esta energía no solo permite recargar la batería, sino también alimentar los diferentes sistemas eléctricos y electrónicos del vehículo, manteniendo un voltaje estable gracias al regulador interno y al sistema de protección eléctrica.

Entender esta configuración es esencial para el desarrollo del banco de pruebas, ya que el alternador no trabaja de forma independiente, sino dentro de un entorno donde interactúan cargas variables, elementos de control y dispositivos de almacenamiento energético. Reproducir estas condiciones en un entorno controlado permite evaluar su comportamiento eléctrico de manera más precisa y representativa respecto a su funcionamiento real en el vehículo.

5. MARCO TEÓRICO

TENA SÁNCHEZ, J. G. *Sistemas de carga y arranque*. En: *Transporte y mantenimiento de vehículos, electromecánica de vehículos automóviles*. Madrid: Paraninfo ciclos formativos, 2011. p. 302-317.

Este libro aporta significativamente a la investigación, ya que ofrece un sustento teórico sólido sobre el papel del alternador dentro del sistema eléctrico automotriz, permitiendo establecer criterios técnicos para seleccionar las variables de medición más relevantes en el banco de pruebas, así como comprender la importancia de la confiabilidad en la entrega de energía para el funcionamiento seguro de los vehículos.

POSLIGUA YÉPEZ, R. A. *Diseño y construcción de un banco de pruebas para alternadores*. Proyecto de investigación. Quito: Universidad San Francisco de Quito, Colegio de Ciencias e Ingeniería, 2017.

Para la presente investigación, esta fuente constituye un referente directo, ya que aborda una problemática similar a la planteada, permitiendo contrastar enfoques, validar criterios de diseño y evitar duplicidad de errores en la construcción del prototipo. Asimismo, proporciona lineamientos sobre la integración de los sistemas de transmisión, acoplamiento y medición, lo que fortalece la fundamentación técnica del proyecto.

INDIEL PRESTOLITE. *Manual de taller: alternadores 2004-2005*. Argentina: Indiel Prestolite, 2005.

Este manual proporciona una base práctica sobre los métodos de diagnóstico y evaluación de alternadores en condiciones reales de trabajo. Asimismo, aporta lineamientos técnicos que permiten identificar cuáles son las variables más críticas para medir en un alternador, orientando la selección de instrumentos de prueba y los criterios de diseño del banco. Con ello se garantiza que el prototipo propuesto responda a

necesidades reales de talleres automotrices y que las pruebas realizadas sean confiables y comparables con procedimientos de referencia.

NOSSO. *Catálogo 2019: Alternadores, rotores y estatores*. Brasil: NOSSO Autopartes, 2019.

Para esta investigación, este catálogo constituye una fuente de apoyo fundamental, ya que brinda datos técnicos confiables que permiten comprender mejor las características de los alternadores de 12V y sus componentes, aportando a la definición de criterios de selección y compatibilidad dentro del diseño del banco de pruebas.

5.1. LOS ALTERNADORES

Se trata de un generador de corriente alterna capaz de generar una corriente de hasta 250 amperios a tensión constante de 14 V. Este generador alimenta los aparatos eléctricos y mantiene cargada la batería, incluso a ralentí.

El alternador se arrastra por el cigüeñal a través de una transmisión de poleas – correa. La correa de accesorios acciona, a su vez, el compresor del aire acondicionado, la bomba de la dirección asistida, etc., por la parte del motor alternativo².

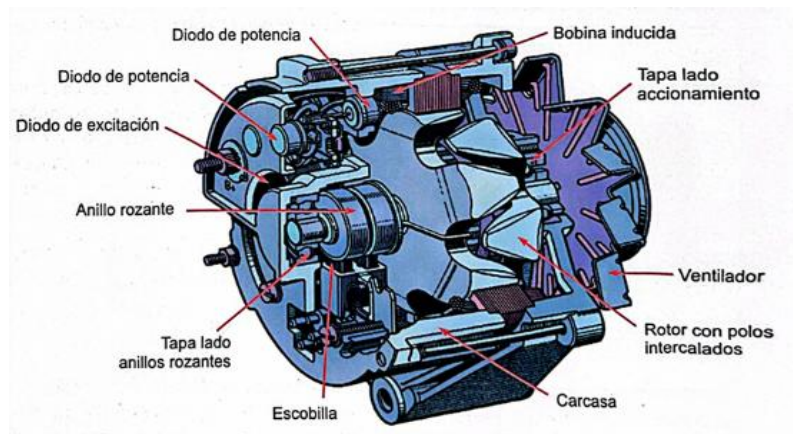
5.2 PARTES DE UN ALTERNADOR

Independiente del tipo de alternador se pueden distinguir las siguientes partes (ver figura 4):

² TENA SÁNCHEZ, José Guillermo. *Sistemas de carga y arranque*. En: Transporte y mantenimiento de vehículos, electromecánica de vehículos automóviles. Madrid: Paraninfo ciclos formativos, 2011. p. 302-317.

- El rotor o inductor
- El estator o inducido
- Las carcasas
- La placa de diodos
- El regulador

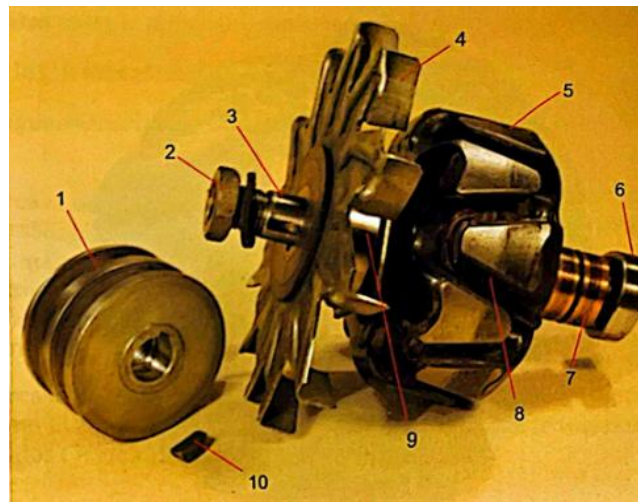
Figura 4. Estructura básica de un alternado.



Fuente: TENA SÁNCHEZ, José Guillermo. *Sistemas de carga y arranque*. En: Transporte y mantenimiento de vehículos, electromecánica de vehículos automóviles. Madrid: Paraninfo ciclos formativos, 2011. p. 302-317.

5.2.1 El Rotor o Inductor. El campo magnético fijo o inductor gira sobre un árbol (3), apoyado en las carcasas mediante dos rodamientos de bolas (6 y 9); y arrastrado por la polea (1), que, junto con el ventilador (4), se fija en el árbol mediante una claveta (10) y una tuerca (2) (ver figura 5).

Figura 5. Rotor e inductor.



Fuente: TENA SÁNCHEZ, José Guillermo. *Sistemas de carga y arranque*. En: Transporte y mantenimiento de vehículos, electromecánica de vehículos automóviles. Madrid: Paraninfo ciclos formativos, 2011. p. 302-317.

El campo magnético inductor consta de un electroimán, formado por:

- **El núcleo magnético:** Formado por dos ruedas polares, que llevan unos saliente o dedos entrelazados (5), que no llegan a tocarse y constituyen los polos del campo magnético inductor.
- **La bobina (8):** Formada por muchas espiras de hilo aislado. Se encuentra enrollada sobre un carrete de material aislante y encaja entre los polos magnéticos. Se alimenta desde el exterior mediante dos escobillas con un roce suave y continuo sobre dos anillos rozantes (7) de cobre, por medio del cual recibe la corriente generada por el propio alternador (autoexcitación)³.

³ TENA SÁNCHEZ, José Guillermo. *Sistemas de carga y arranque*. En: Transporte y mantenimiento de vehículos, electromecánica de vehículos automóviles. Madrid: Paraninfo ciclos formativos, 2011. p. 302-317.

5.2.2 Estátor O Inducido. En el estator es donde van alojadas las bobinas inducidas (2) que generan la corriente eléctrica. Formado por un paquete de láminas de acero magnéticas (1) ensambladas y aisladas eléctricamente entre sí en ranuras donde se alojan las bobinas inducidas (ver figura 6).

El inducido lo forman tres bobinas conectadas entre sí y, a su vez, están aisladas eléctricamente de la estructura que las contiene, se encuentran repartidas en toda su periferia.

Figura 6. Estator o inducido.



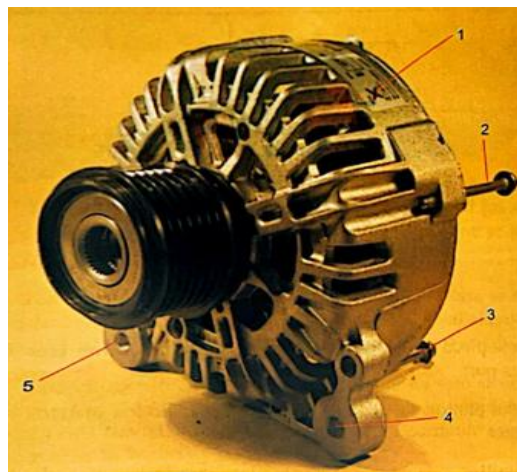
Fuente: TENA SÁNCHEZ, José Guillermo. *Sistemas de carga y arranque*. En: Transporte y mantenimiento de vehículos, electromecánica de vehículos automóviles. Madrid: Paraninfo ciclos formativos, 2011. p. 302-317.

5.2.3 Las Carcasas. Las carcasa o tapas soporte están realizadas en aluminio fundido (ver figura 7).

Entre sus funciones están las siguientes:

- Tapar o cerrar el estator o inducido por cada uno de sus dos lados.
- Sujetar los rodamientos de bolas sobre los que gira el rotor
- Alojar los demás elementos del alternador.

Figura 7. Tapa soporte del lado de accionamiento (carcasa de polea).

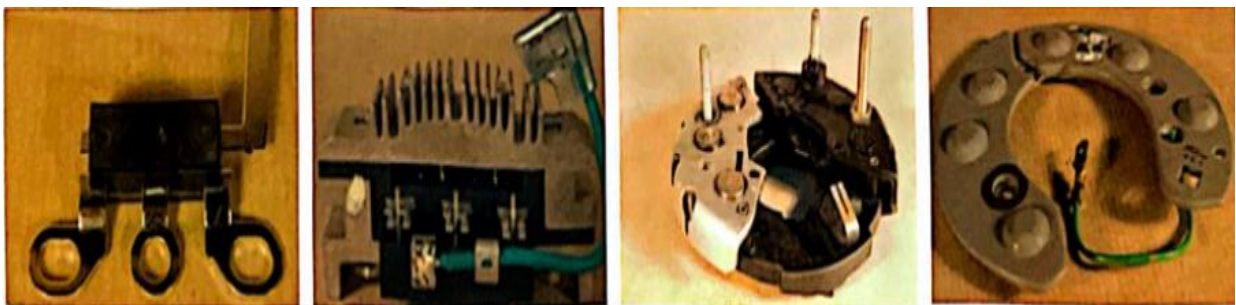


Fuente: TENA SÁNCHEZ, José Guillermo. *Sistemas de carga y arranque*. En: Transporte y mantenimiento de vehículos, electromecánica de vehículos automóviles. Madrid: Paraninfo ciclos formativos, 2011. p. 302-317.

5.2.4 La Placa De Diodos. La corriente alterna trifásica generada en el inducido pasa a la placa de diodos donde se rectifica para transformarla en continua. Para aprovechar cada fase de semiondas tanto positivas como negativas, se colocan dos diodos por cada fase, uno en el lado positivo y otro en el negativo. En total se necesitan seis diodos de potencia y normalmente tres auxiliares de excitación, más pequeños, para alimentar el circuito inductor (ver figura 8).

La placa de diodos adquiere la forma de corona circular en forma de herradura o prisma rectangular, según el fabricante⁴.

Figura 8. Placa de Tipo Delco Remy, Tipo Mag Marelli, Tipo Bosch y Tipo Femsa, seguidamente.



Fuente: TENA SÁNCHEZ, José Guillermo. *Sistemas de carga y arranque*. En: Transporte y mantenimiento de vehículos, electromecánica de vehículos automóviles. Madrid: Paraninfo ciclos formativos, 2011. p. 302-317.

Los terminales de entrada a la placa de diodos (U, V, W) son cada una de las tres fases del estator, unidas a la placa por:

- Soldadura de estaño o por puntos. La placa se fija a la carcasa de los anillos rozantes por varios tornillos.

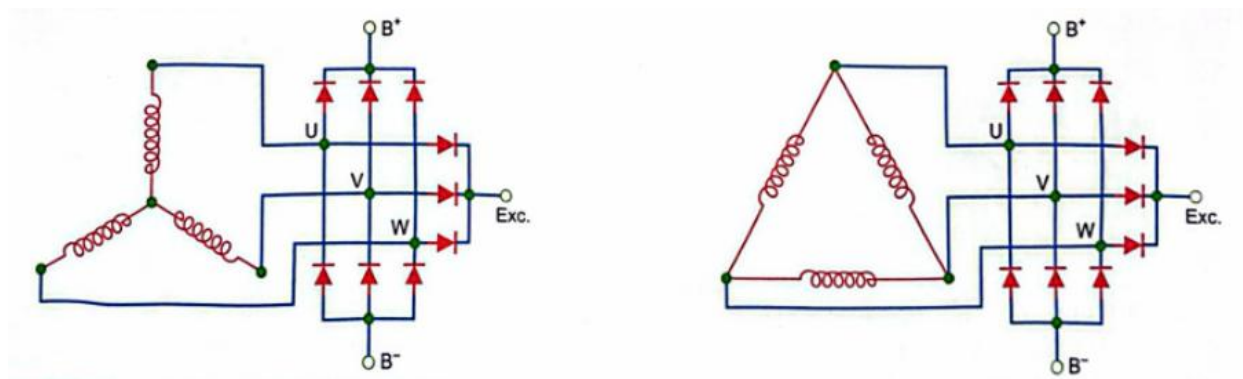
⁴ TENA SÁNCHEZ, José Guillermo. *Sistemas de carga y arranque*. En: Transporte y mantenimiento de vehículos, electromecánica de vehículos automóviles. Madrid: Paraninfo ciclos formativos, 2011. p. 302-317.

- Terminales de ojo y tornillos, que unen a la vez la placa con la carcasa de los anillos rozante, intercalándose entre ellos y la carcasa unos casquillos aislantes para aislar la masa.

Los terminales de salida son:

- Corriente positiva (B+): Por donde sale la corriente principal para cargar la batería. Esta corriente sale de la mitad de la placa de diodos, donde están los tres diodos de potencia positivos, a través de un tornillo que asienta sobre unos casquillos de plástico para aislarlo de la masa (ver figura 9).
- Masa (B-): Po donde cierra a masa el circuito de carga. A través de otro tornillo que comunica la otra mitad de la placa de diodos, donde están los tres diodos de potencia negativos, con la carcasa de anillos rozantes (ver figura 9).
- Excitación (Exc o D+): Por donde sale la corriente de autoexcitación para alimentar la bobina inductora y por donde se alimenta la lampara indicadora de carga (ver figura 9).

Figura 9. Conexión con el inducido en estrella y conexión con el inducido en triángulo, seguidamente.



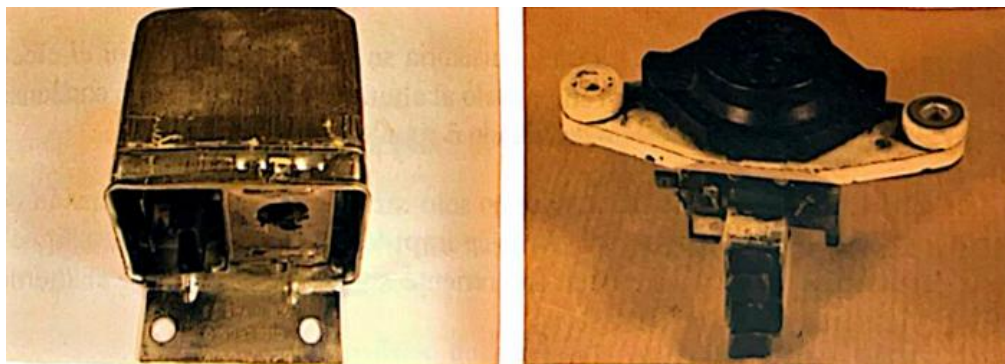
Fuente: TENA SÁNCHEZ, José Guillermo. *Sistemas de carga y arranque*. En: Transporte y mantenimiento de vehículos, electromecánica de vehículos automóviles. Madrid: Paraninfo ciclos formativos, 2011. p. 302-317.

5.2.5 El Regulador . La tensión de salida o tensión en bornes (tb) de un alternador depende de su velocidad de giro, del campo magnético inductor y de la corriente de carga.

Debido a que los receptores del vehículo trabajan a una tensión constante y el alternador funciona a un régimen de revoluciones muy variado, según el régimen del motor, el regulador es un elemento encargado de estabilizar la tensión en bornes del alternador. Envía más o menos corriente a las bobinas inductoras o rotor del alternador a través de las escobillas. Con ello se busca que el campo magnético sea más o menos intenso, dependiendo de las revoluciones, con el fin de que se mantenga constante la tensión para cualquier régimen de giro o carga⁵.

Los reguladores verían su aspecto, se pueden destacar los siguientes (ver figura 10 y 11):

Figura 10.Regulador Electromagnético y Tipo Bosch.



⁵ TENA SÁNCHEZ, José Guillermo. *Sistemas de carga y arranque*. En: Transporte y mantenimiento de vehículos, electromecánica de vehículos automóviles. Madrid: Paraninfo ciclos formativos, 2011. p. 302-317.

Fuente: TENA SÁNCHEZ, José Guillermo. *Sistemas de carga y arranque*. En: Transporte y mantenimiento de vehículos, electromecánica de vehículos automóviles. Madrid: Paraninfo ciclos formativos, 2011. p. 302-317.

Figura 11. Regulador Tipo Delco Remy y Tipo Mag Marelli.



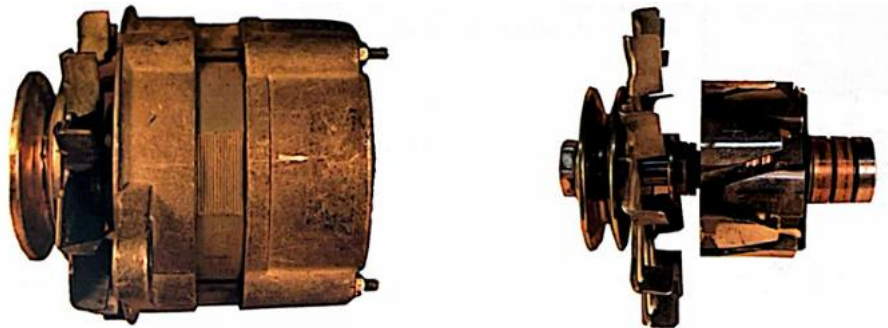
Fuente: TENA SÁNCHEZ, José Guillermo. *Sistemas de carga y arranque*. En: Transporte y mantenimiento de vehículos, electromecánica de vehículos automóviles. Madrid: Paraninfo ciclos formativos, 2011. p. 302-317.

5.3 TIPOS DE ALTERNADORES

Los componentes y los principios de funcionamiento que se han visto anteriormente son comunes para todo tipo de alternador, pero los distintos tipos de alternadores difieren en detalles en su construcción, como se ven a continuación.

5.3.1 Alternador Monobloc. Este tipo de alternador con inductor en forma de dedos entrelazados tiene una estructura compacta con una relación potencia/peso muy favorable, además de permitir una buena disipación de calor, siendo el más empleado hasta el momento (ver figura 12).

Figura 12. Alternador monobloc.



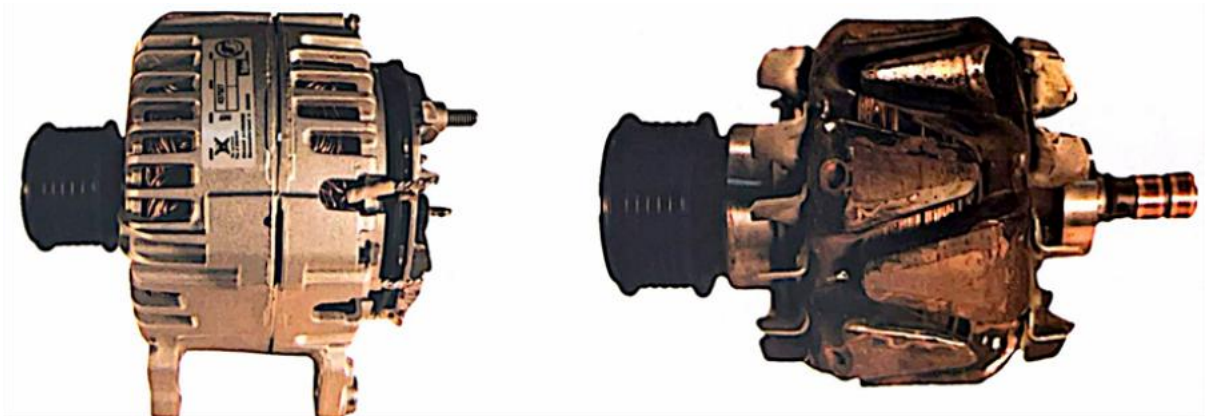
Fuente: TENA SÁNCHEZ, José Guillermo. *Sistemas de carga y arranque*. En: Transporte y mantenimiento de vehículos, electromecánica de vehículos automóviles. Madrid: Paraninfo ciclos formativos, 2011. p. 302-317.

5.3.2 Alternadores compactos. Siendo más evolucionado que los monoblocs, están sobresaliendo debido a la gran demanda de potencia. En este tipo de alternadores, las chapas magnéticas del estator están fijadas a tres chapas centrales, que sobresalen, acopladas entre las dos carcasas que cierran casi todo el alternador, permitiendo una gran precisión de montaje y una menor dispersión del flujo magnético (ver figura 13).

En estos alternadores los anillos rozantes tienen el diámetro más pequeño y disminuyen la velocidad periférica de las escobillas; por lo tanto, se produce un menor desgaste y

una mayor vida útil del alternador, que gira a mayor velocidad y desarrolla mayor potencia que los monoblocs, para ser exactos un 25% más⁶.

Figura 13. Alternador compacto.



Fuente: TENA SÁNCHEZ, José Guillermo. *Sistemas de carga y arranque*. En: Transporte y mantenimiento de vehículos, electromecánica de vehículos automóviles. Madrid: Paraninfo ciclos formativos, 2011. p. 302-317.

5.4 CIRCUITOS DE CARGA

Para los circuitos de carga se distinguen tres circuitos eléctricos:

- Circuito de carga o principal.

⁶ TENA SÁNCHEZ, José Guillermo. *Sistemas de carga y arranque*. En: Transporte y mantenimiento de vehículos, electromecánica de vehículos automóviles. Madrid: Paraninfo ciclos formativos, 2011. p. 302-317.

La corriente alterna inducida en el estator del alternador es rectificada por los seis diodos de potencia. Por los tres positivos, sale a través de B+ y un cable grueso al positivo de la batería.

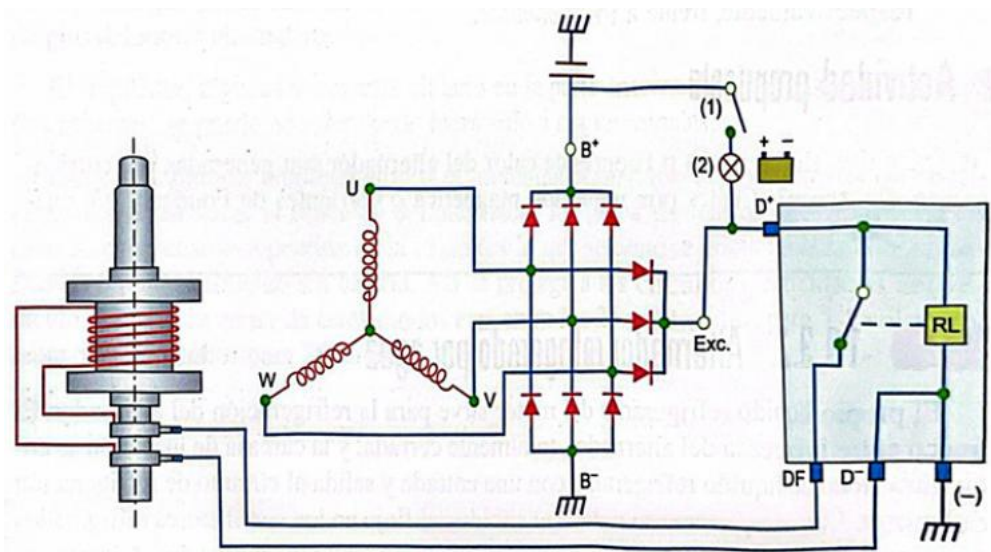
- Circuito de corriente de preexcitación.

Al pasar la corriente de preexcitación por la lámpara indicadora de carga, esta debe tener una resistencia lo suficientemente pequeña para permitir el paso de la corriente necesaria que inicie la preexcitación.

- Circuito de corriente de excitación (autoexcitación).

Cuando la f.e.m. (fuerza electromotriz) del alternador supera la tensión umbral, parte de la corriente generada se emplea en excitar el inductor (autoexcitación), a través de los tres diodos de excitación (ver figura 14).

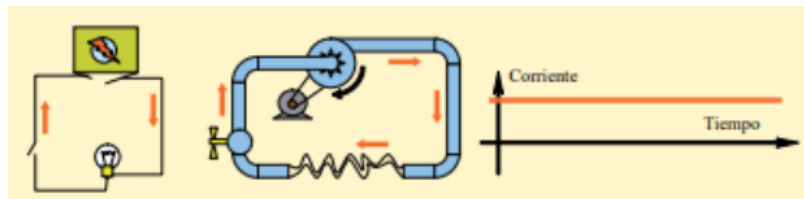
Figura 14. Circuito de carga con un regulador electromagnético básico



Fuente: TENA SÁNCHEZ, José Guillermo. *Sistemas de carga y arranque*. En: Transporte y mantenimiento de vehículos, electromecánica de vehículos automóviles. Madrid: Paraninfo ciclos formativos, 2011. p. 302-317.

5.4.1 Corriente Continua Y Corriente Alterna. Las baterías proveen una tensión aproximadamente constante, y siempre de la misma polaridad; son de tensión continua, y la corriente con la que la pila alimenta los circuitos también es continua, entonces se define como cuando el voltaje y polaridad se mantiene constante, es decir positivo y negativo no negativo no cambian⁷ (ver figura 15).

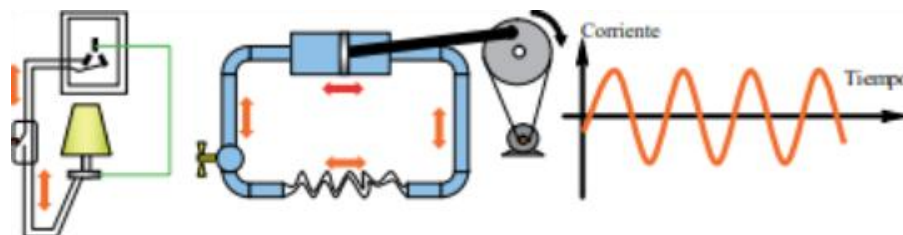
Figura 15. Corriente Continua.



Fuente: CALSINA FLETA, Margarita. *Sistemas de carga y arranque*. Madrid: Macmillan Profesional, 2011. p. 261-262.

En cambio, la red domiciliar de energía eléctrica provee tensión alterna, o alternada. Se caracteriza porque cambia de polaridad constantemente, es decir en un instante un polo es negativo y el otro es positivo (ver figura 16).

Figura 16. Corriente alterna.



Fuente: CALSINA FLETA, Margarita. *Sistemas de carga y arranque*. Madrid: Macmillan Profesional, 2011. p. 261-262.

⁷ RELA, Agustín. *Electricidad y electrónica*. Buenos Aires: Ministerio de Educación, Instituto Nacional de Educación Tecnológica, 2010. Colección: Las ciencias naturales y la matemática.

La corriente continua de una batería se asemeja a la circulación de agua en sentido constante, impulsada por una turbina rotativa. La alterna de la red es como el agua que circula en sentido cambiante, impulsada por una bomba alternativa. Naturalmente, y como en todas las comparaciones, está tiene sus límites⁸.

5.5 EL OSCILOSCOPIO

El osciloscopio es un instrumento electrónico de medición que permite visualizar señales eléctricas variables en el tiempo, representando gráficamente parámetros como voltaje, frecuencia, amplitud y forma de onda. Su principio de funcionamiento se basa en la captación de una señal eléctrica y su posterior representación en un eje temporal, lo que facilita el análisis del comportamiento dinámico de sistemas eléctricos y electrónicos (ver figura 17). A diferencia de instrumentos convencionales, como voltímetros o amperímetros, el osciloscopio no se limita a indicar valores promedio, sino que permite observar variaciones instantáneas, oscilaciones y perturbaciones presentes en la señal. Figura 17. Señal cuadrada pantalla osciloscopio.

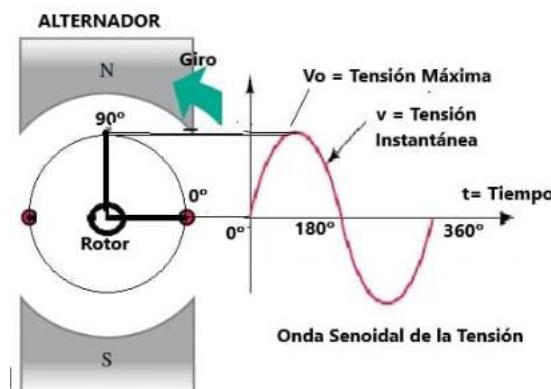


Fuente: pasionelectronica.com

⁸ RELA, Agustín. Electricidad y electrónica. Buenos Aires: Ministerio de Educación, Instituto Nacional de Educación Tecnológica, 2010. Colección: Las ciencias naturales y la matemática.

5.5.1 Osciloscopio como herramienta de análisis en el banco de pruebas. En el ámbito automotriz, el osciloscopio se ha consolidado como una herramienta fundamental para el diagnóstico avanzado de sistemas eléctricos, ya que permite evaluar la calidad de la energía suministrada por componentes como el alternador. En este dispositivo, la energía mecánica es convertida inicialmente en corriente alterna trifásica, la cual es posteriormente transformada en corriente continua mediante un rectificador de diodos. Cuando el alternador opera en condiciones normales, la señal de salida presenta una tensión continua relativamente estable, con un rizado reducido (ver figura 18). Sin embargo, ante fallas internas como diodos defectuosos, regulación inestable o desgaste de escobillas la forma de onda se ve alterada, evidenciando irregularidades que no pueden ser detectadas únicamente con instrumentos de medición estáticos.

Figura 18. Onda de tensión en un alternador.



Fuente: areatecnología.com

Por esta razón, la incorporación de un osciloscopio en el banco de pruebas propuesto permite analizar el comportamiento real de la señal eléctrica generada por el alternador, facilitando la detección de fallas asociadas al rectificador, al regulador de voltaje y al sistema de excitación. Esta capacidad representa una ventaja significativa frente a bancos de pruebas convencionales, los cuales generalmente se limitan a verificar la presencia de carga sin evaluar la calidad de la señal eléctrica.

En el contexto del presente proyecto, el uso del osciloscopio contribuye a un diagnóstico más preciso y confiable, permitiendo observar oscilaciones, rizado de voltaje y variaciones transitorias bajo condiciones controladas y fuera del vehículo, fortaleciendo así el alcance técnico del banco de pruebas diseñado.

5.6 MOTOR ELÉCTRICO.

Un motor eléctrico es una máquina electromecánica que transforma energía eléctrica en energía mecánica mediante la interacción de campos magnéticos, generando un movimiento rotatorio continuo en su eje (ver figura 19). En aplicaciones industriales y de laboratorio, los motores eléctricos se emplean ampliamente para accionar sistemas mecánicos que requieren velocidad controlada, funcionamiento estable y repetibilidad, características fundamentales en bancos de pruebas.⁹

Figura 19.Motor eléctrico.



Fuente: fussiona.com

⁹ TENA SÁNCHEZ, José Guillermo. *Sistemas de carga y arranque*. En: *Electromecánica de vehículos automóviles*. Madrid: Paraninfo, 2011. p. 302–317.

Para el presente proyecto, el motor eléctrico cumple la función de simular el accionamiento mecánico de un motor de combustión interna, proporcionando el par y la velocidad necesarios para el giro del alternador. A través del uso de un sistema de transmisión por poleas y correas, es posible reproducir las relaciones de velocidad reales entre el motor y el alternador, permitiendo evaluar su comportamiento eléctrico en condiciones controladas y fuera del vehículo.

A diferencia del motor de combustión, cuyo régimen de giro presenta variaciones bruscas y depende de múltiples factores operativos, el motor eléctrico ofrece una velocidad más estable y fácilmente regulable, lo que resulta ideal para la realización de pruebas repetitivas y confiables. Esta característica permite aislar el análisis del alternador, evitando interferencias externas y facilitando la observación precisa de variables como voltaje, corriente y oscilaciones de la señal eléctrica.

5.6.1 ¿Por qué motor trifásico? Para el accionamiento del alternador en el banco de pruebas se seleccionó un motor eléctrico trifásico, debido a que este tipo de motor ofrece un funcionamiento más estable y uniforme en comparación con un motor monofásico. El motor trifásico proporciona un mayor par disponible, menor nivel de vibraciones y una mejor eficiencia energética, características que resultan fundamentales para garantizar un giro continuo y confiable del alternador durante las pruebas.

Adicionalmente, el uso de un motor trifásico permite la implementación de un variador de frecuencia, lo cual facilita el control preciso de la velocidad de rotación. Esta capacidad de regulación hace posible simular diferentes regímenes de funcionamiento equivalentes a los de un motor de combustión interna, como el régimen de ralentí, velocidades intermedias y altas revoluciones.

5.7 VARIADOR DE FRECUENCIA

Un variador de frecuencia (VFD, Variable Frequency Drive) es un dispositivo electrónico de potencia utilizado para regular la velocidad y el par de un motor eléctrico de corriente alterna, mediante la variación controlada de la frecuencia y el voltaje de alimentación. Su principio de funcionamiento se basa en la conversión de la energía eléctrica de entrada en corriente continua y su posterior reconversión a corriente alterna con frecuencia y amplitud ajustables, lo que permite un control preciso del régimen de giro del motor (ver figura 20).

Figura 20. Variador de frecuencia.



Fuente: cncele.com

Para el banco de pruebas de alternadores de 12 V se seleccionó un variador de frecuencia acoplado a un motor trifásico, debido a que este conjunto permite un control fino y repetible de la velocidad de rotación del alternador. El uso del VFD posibilita ajustar la velocidad del motor en un amplio rango, simulando diferentes condiciones de operación equivalentes a las de un motor de combustión interna, como el régimen de ralentí, velocidades de crucero y regímenes elevados.

La integración del variador de frecuencia en el banco de pruebas resulta clave para el análisis del comportamiento eléctrico del alternador, ya que la velocidad de giro influye

directamente en la magnitud del voltaje generado, la corriente suministrada y la respuesta del regulador interno. Mediante el VFD es posible establecer puntos de operación definidos y reproducibles, lo que permite evaluar el desempeño del alternador bajo distintas velocidades y cargas, así como identificar fallas asociadas a regulación deficiente, rectificación incorrecta o inestabilidad en la señal eléctrica observada mediante el osciloscopio.

5.8 LA BATERÍA

La batería es un acumulador de electricidad, es decir, recibe energía eléctrica de una fuente exterior, la transforma en energía química y la almacena hasta que la transforma en energía eléctrica cuando sea requerida¹⁰ (ver figura 21).

Figura 21.La batería.



Fuente: chaz.com.co/product/autovan/bateria-mac

En el automóvil, el alternador es el encargado de facilitar la electricidad necesaria para los distintos servicios (chispa, alumbrado, radio, etc.), además de ser el que carga la

¹⁰ RELA, Agustín. Electricidad y electrónica. Buenos Aires: Ministerio de Educación, Instituto Nacional de Educación Tecnológica, 2010. Colección: Las ciencias naturales y la matemática.

batería. Cuando el alternador no está generando electricidad porque el motor del vehículo está parado, es la batería la encargada de suministrar esta electricidad. El conjunto que forma el alternador y la batería se denomina circuito de carga ¹¹.

Al estar en paralelo la batería y el alternador, la batería hace de estabilizador de la corriente compensando las sensibles variaciones de la tensión de salida del conjunto alternador-regulador. En cualquier caso, hay un consumo que nunca se podrá alimentar con el alternador, el motor de arranque, ya que es el encargado de colocar en funcionamiento el motor térmico del vehículo, necesita electricidad en unas condiciones donde el alternador nunca está generándola¹².

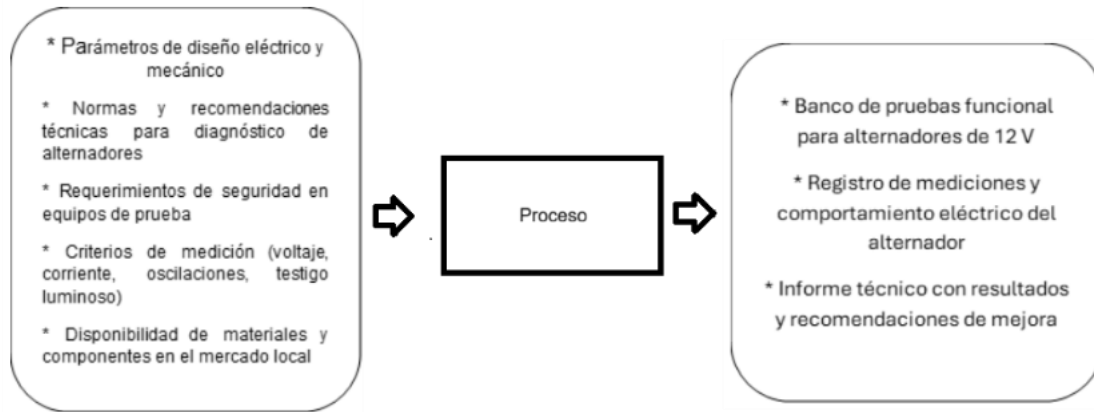
¹¹ ESTUDIOTECA. Funcionamiento y componentes esenciales de la batería del automóvil. [En línea]. [Consultado el 24 de enero de 2026]. Disponible en: <https://estudioteca.net/electronica/funcionamiento-y-componentes-esenciales-de-la-bateria-del-automovil/>

¹² COURSE HERO. Capítulo 02 Electiva 3 Parte E. [En línea]. [Consultado el 18 de enero de 2026]. Disponible en: <https://www.coursehero.com/file/65024160/Capitulo-02-Electiva-3-Parte-Eppt/>

6. DISEÑO CONCEPTUAL DEL BANCO DE PRUEBAS

6.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Figura 22. Descripción del proceso



El proceso inicia con la definición de los parámetros mecánicos y eléctricos requeridos para el banco de pruebas, considerando las variables que se evaluarán en los alternadores. Posteriormente, se realiza el diseño y modelado de la estructura, así como la selección de componentes, garantizando la disponibilidad de materiales en el mercado local. Luego, se procede al ensamblaje del sistema y la instalación de los equipos de medición. Finalmente, se ejecutan pruebas de validación para verificar el correcto funcionamiento del banco y se documentan los resultados junto con posibles mejoras para optimizar su desempeño en el futuro (ver figura 22).

6.2 QFD

6.2.1 Requerimientos del cliente:

Tabla 1. Requerimientos del cliente.

Importancia	Requerimientos del cliente
9	Seguridad durante las pruebas
8	Resultados de medición confiables
7	Compatibilidad con diferentes alternadores de 12V
6	Facilidad de uso
5	Durabilidad del equipo
4	Retroalimentación visual clara
3	Tamaño compacto
2	Costo accesible
1	Manual técnico o guía de operación

6.2.2 Requerimientos funcionales:

Tabla 2. Requerimientos funcionales.

#	Requerimientos funcionales
1	Tensión de salida operativa de 12 a 14.5 VDC \pm 0.2V.
2	Rango de corriente medida
3	Rango de velocidad del motor de prueba de 1500 hasta 6000 rpm.
4	Tamaño máximo del banco de 80 cm de largo, 50 cm de ancho y 60 cm de alto.
5	Peso total del sistema inferior a 50 kg.
6	Nivel de eficiencia del sistema de transmisión de 80%.
7	Fácil de trasladar.

8	Fácil de intercambiar sus componentes eléctricos, y mantenimiento.
---	--

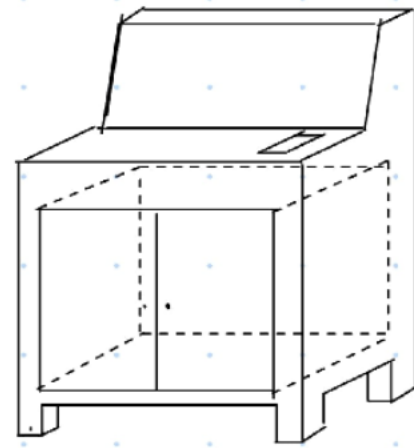
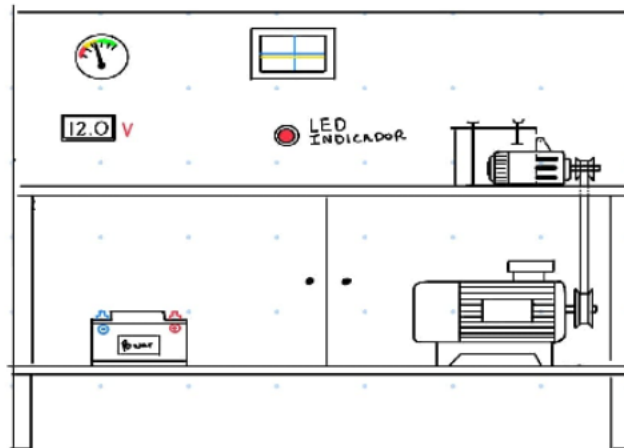
6.3 QFD DISEÑO

Tabla 3. QFD.

		IMPORTANCIA	Tensión de salida operativa de 12 a 14.5 VDC ± 0.2V.		Rango de corriente medida		Rango de velocidad del motor de prueba de 1500 hasta 6000 rpm.		Tamaño máximo del banco de 80 cm de largo, 50 cm de ancho y 60 cm de alto.		Peso total del sistema inferior a 50 kg.		Nivel de eficiencia del sistema de transmisión de 80%.		Fácil de trasladar.		Fácil de intercambiar sus componentes eléctricos, y mantenimiento.	
¿QUÉ?	Seguridad durante las pruebas	9	9	81	9	81	9	81	3	27	0	0	1	9	0	0	9	81
	Resultados de medición confiables	8	9	72	9	72	1	8	0	0	0	0	3	24	0	0	3	24
	Compatibilidad con diferentes alternadores de 12V	7	1	7	1	7	3	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Facilidad de uso	6	0	0	1	6	1	6	1	6	1	6	0	0	1	6	9	54
	Durabilidad del equipo	5	3	15	3	15	9	45	1	5	0	0	0	0	0	0	3	15
	Retroalimentación visual clara	4	1	4	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Tamaño compacto	3	0	0	0	0	3	9	9	27	3	9	1	3	9	27	0	0
	Costo accesible	2	3	6	3	6	3	6	3	6	1	2	3	6	1	2	3	6
	Manual técnico o guía de operación	1	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total		188		194		176		71		17		42		35		180	
	Total %		20.81949059		21.48394241		19.49058693		7.862679956		1.882613511		4.651162791		3.875968992		19.93355482	

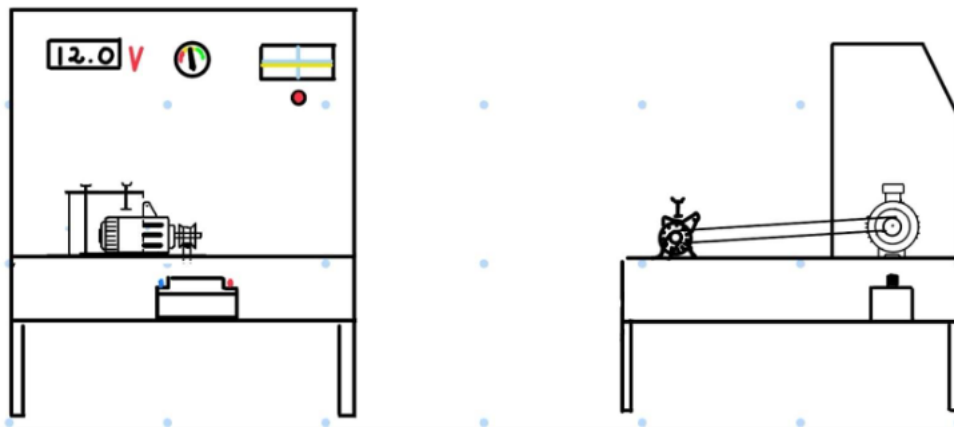
6.4 ALTERNATIVAS

Figura 23. Alternativa 1.



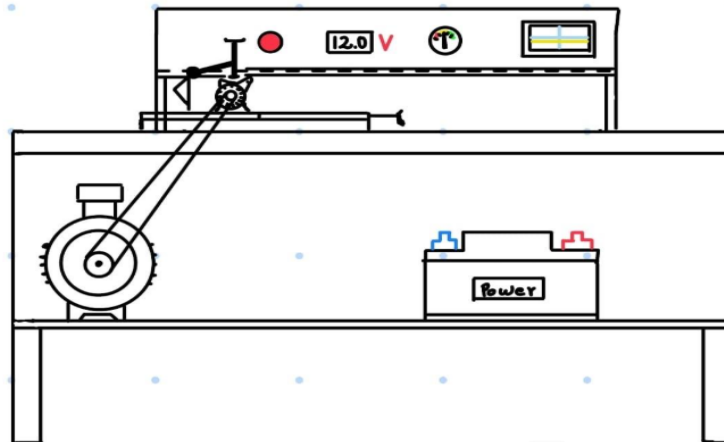
La propuesta consiste en un banco de pruebas compacto con estructura metálica y panel frontal que integra un voltímetro analógico, display digital, y testigo LED para monitorear el funcionamiento del alternador. El sistema usa un motor eléctrico acoplado al alternador mediante transmisión, alimentado por una batería de 12 V ubicada en la parte inferior. El gabinete cerrado ayuda a proteger los componentes y cuenta con puertas frontales y una cubierta superior abatible para facilitar el acceso. Este diseño permite medir voltaje, corriente, oscilaciones y estado de carga del alternador en condiciones controladas y fuera del vehículo (ver figura 23).

Figura 24. Alternativa 2.



Para esta alternativa se presenta un diseño en el que únicamente el motor eléctrico está cubierto por una carcasa protectora, mientras que el alternador, la transmisión por banda y la batería de 12 V permanecen al aire libre para facilitar su inspección y mantenimiento. En el panel frontal se encuentran los instrumentos para la medición de voltaje, corriente y oscilaciones, junto con un testigo luminoso que indica el estado de funcionamiento. Esta propuesta combina seguridad en la zona de mayor riesgo mecánico con accesibilidad para la toma de mediciones y ajustes rápidos (ver figura 24).

Figura 25. Alternativa 3.



Como última alternativa se presenta un diseño abierto, donde el motor eléctrico y la batería de 12 V están expuestos al aire libre, lo que facilita el acceso para conexiones y mantenimiento. El alternador es accionado mediante una transmisión por banda conectada al motor, y en la parte superior se ubican los instrumentos para medir voltaje, corriente y oscilaciones, junto con un indicador luminoso. Esta configuración permite una visualización directa de los componentes y las mediciones durante las pruebas (ver figura 25).

6.5 MATRIZ PUGH

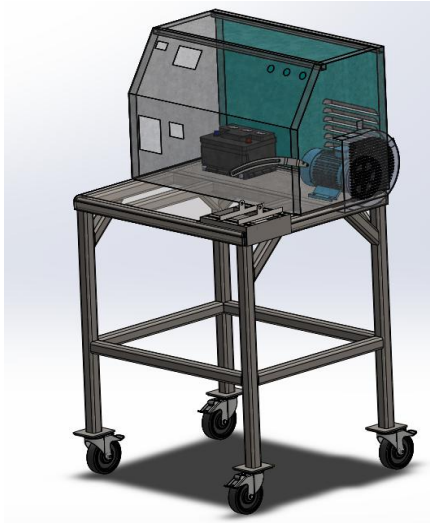
Tabla 4. Matriz Pugh.

	%	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3	
Tensión de salida operativa de 12 a 14.5 VDC \pm 0.2V.	0.21	5.00	1.04	5.00	1.04	5.00	1.04
Rango de corriente medida	0.21	5.00	1.04	5.00	1.04	5.00	1.04
Rango de velocidad del motor de prueba de 1500 hasta 6000 rpm.	0.21	1.00	0.21	2.00	0.42	1.00	0.21
Fácil de intercambiar sus componentes eléctricos, y mantenimiento.	0.20	1.00	0.20	5.00	1.00	5.00	1.00
Total			2.49		3.50		3.29

6.6 ALTERNATIVA GANADORA

La alternativa 2 es la ganadora ya que su diseño es más compacto, fácil de transportar, está más acorde a los requerimientos mostrados en la matriz de Pugh y el QFD. El soporte del alternador está pensado para que sea mucho más fácil de asegurar, sin importar el tamaño del alternador. Con un mismo tipo de correa se pueden probar diferentes tipos de alternadores, asegurando que la distancia entre centros sea la correcta. Es de fácil acceso para realizar los respectivos mantenimientos y el cambio de componentes eléctricos en caso de ser necesario. también es de fácil uso para el usuario (ver figura 26).

Figura 26. Alternativa Ganadora.



7. DISEÑO DEL BANCO DE PRUEBAS MEDIANTE SIMULACIÓN

Para el correcto funcionamiento de un alternador, se deben tener diversos factores en cuenta, cada uno con sus fallas asociadas. Es indispensable realizar una serie de verificaciones eléctricas. Para ello se deben hacer uso de los instrumentos adecuados como voltímetro, amperímetro y osciloscopio. Con los resultados arrojados de estas mediciones se determina si el alternador está funcionando de manera adecuada.

Una vez puesto en marcha el motor, sin cargas eléctricas adicionales, la tensión debe estar entre 13.7 V y 14.5V. En caso dado que la tensión se encuentre por debajo de estos valores se presenta una falla de carga, por otro lado, si la tensión está por encima de esos valores se presenta una sobrecarga, esta está generalmente asociada al regulador de voltaje.

Otra prueba de verificación para el correcto funcionamiento del alternador es la medición de voltaje bajo carga, activando consumidores eléctricos como las luces del vehículo. En estas condiciones el voltaje no debe estar por debajo de 13.5 V. Si la caída de tensión es mayor en el alternador indica que no es capaz de suministrar la corriente necesaria. Lo cual puede deberse a diodos dañados, bobinas del estator en mal estado o una correa de arrastre defectuosa.

Las principales fallas por las que el alternador no carga ocurren cuando el rotor no genera un campo magnético, esto evita que se genere energía. Las causas por las que esto sucede son:

- Escobillas desgastadas.
- Anillos rozantes dañados.
- Regulador de voltaje defectuoso.

- Lámpara de testigo quemada.
- No hay fuente de excitación.

Cuando el regulador de voltaje está defectuoso no se genera la carga de manera correcta, esto se puede presentar por las siguientes causas:

- Regulador dañado
- Falla electrónica interna

Estas fallas se detectan cuando se presenta un voltaje inestable con el motor encendido o el voltaje se mantiene fijo en los 12 voltios.

Una de las fallas más importantes en el alternador es el daño en el estator no generando la suficiente corriente alterna, esto puede ser debido a las siguientes causas.

- Bobina quemada
- Corto entre espiras
- Fase abierta

Esto se detecta cuando la resistencia entre las fases es desigual, esto varía si el estator está conectado en delta o estrella. En esta situación lo mejor es realizar el cambio del estator.

Uno de los fallos más sencillos de solucionar es cuando la correa de arrastre está defectuosa, esto causa que el alternador no gire a la velocidad adecuada, esto se debe

a que la correa esta floja, cristalizada o el tensor esta dañado, esto se detecta cuando el alternador presenta mejorías al acelerar el vehículo. En el caso del banco de pruebas se comprueba variando el rpm del motor.

7.1 CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS

Materiales

- Equipos y herramientas
- Elaboración de la estructura (parte mecánica)
- Elaboración del tablero de mando e instrumentos

7.2 PRUEBAS EN EL BANCO Y ANALISIS DE RESULTADOS

A continuación, se presentan las pruebas proyectadas para realizarse en el banco de ensayos diseñado para la evaluación del comportamiento del alternador, así como el análisis de los resultados obtenidos bajo diferentes condiciones de operación. Antes de realizar las pruebas físicas se desarrolló un modelo del sistema de carga. A partir de este enfoque se analizan variables eléctricas como tensión, corriente y potencia, en diferentes condiciones permitiendo validar el diseño del banco de pruebas y su capacidad de producir escenarios reales de funcionamiento.

Con el fin de diseñar y comprobar el banco de pruebas para alternadores para vehículos de 12 V, se desarrolló un modelo del sistema de carga que representa de manera simplificada pero funcional los principales componentes que se encuentran en el vehículo. Este modelo permite analizar el comportamiento del alternador bajo diferentes condiciones de operación, variando las revoluciones del motor, la conexión de cargas y el estado de la batería.

El modelo consta del alternador, rectificador, batería, testigo de batería y diferentes consumos de energía controlados mediante interruptores, esto permite probar diversos escenarios del sistema eléctrico.

Para el desarrollo del banco de pruebas se desarrolla en el entorno de MATLAB, haciendo uso de las herramientas de Simulink y Simscape Electrical, las cuales permiten la simulación dinámica de sistemas eléctricos con un alto nivel de realismo físico.

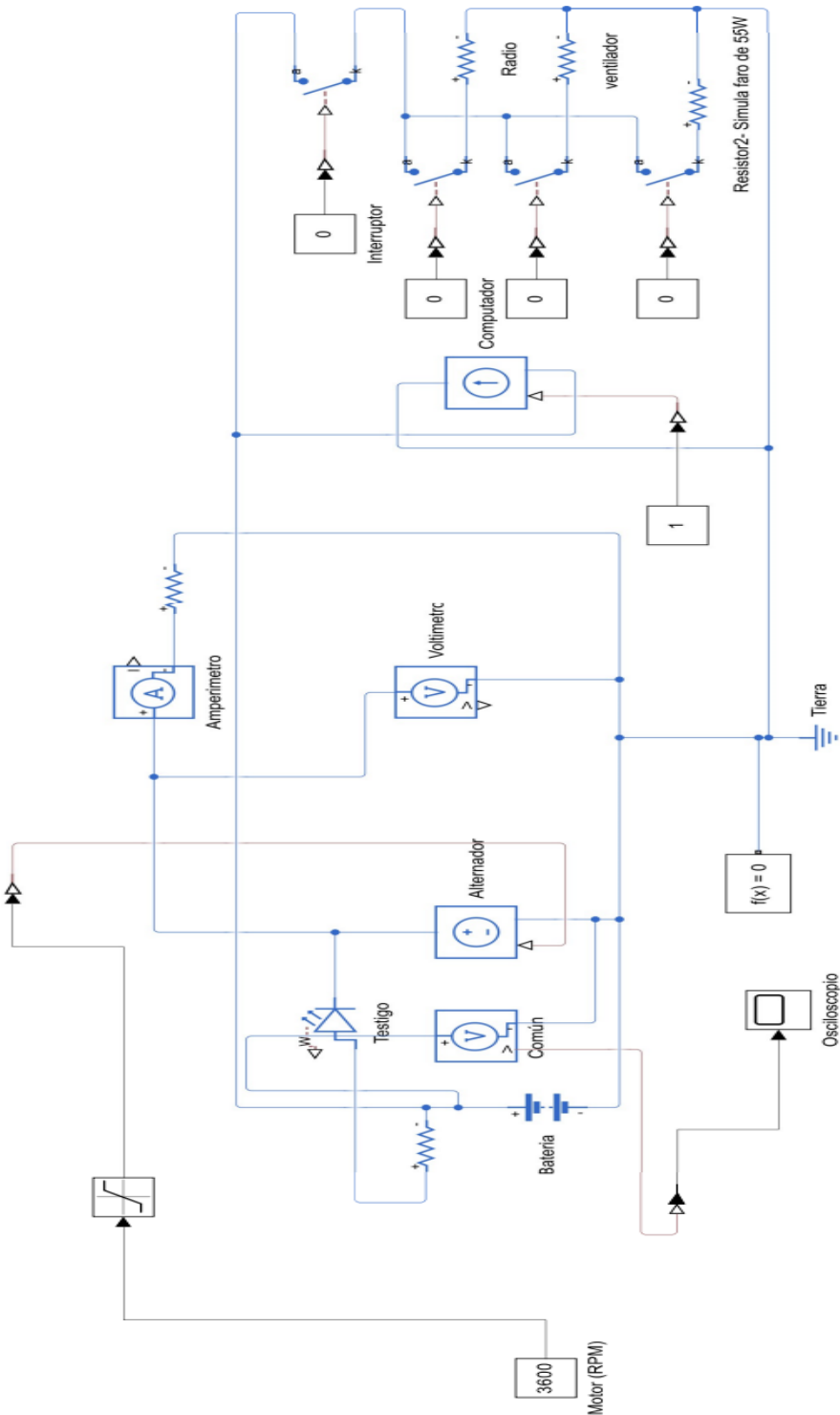
7.3 MATLAB

Este programa se utilizó como entorno principal de trabajo permitiendo la ejecución de simulaciones, el análisis de resultados mediante herramientas gráficas y la integración de señales. Su capacidad de cálculo numérico y visualización facilita la validación del comportamiento del sistema. (Ver figura 27)

7.3.1 Simulink. Actúa como el vehículo entre las variables de control del sistema y el comportamiento eléctrico del modelo.

7.3.2 Simscape electrical. Es la herramienta principal utilizada para el modelado físico del sistema eléctrico del banco de pruebas. Esta librería permite representar componentes reales mediante ecuaciones físicas, en lugar de modelos netamente matemáticos.

Figura 27. Modelo esquemático del sistema eléctrico del banco.



7.4 COMPONENTES

7.4.1 Controlled Voltaje Source. Es la fuente de voltaje controlada, representa el modelo equivalente del alternador incluyendo, la generación eléctrica, rectificador y regulador de voltaje. La tensión de salida depende de la velocidad del motor.

7.4.2 Constant Matlab. Representa las revoluciones del motor, permitiendo variar entre diferentes valores.

7.4.3 Battery Matlab. Representa la tensión nominal del sistema, la capacidad y la resistencia interna. Cumple su papel como elemento estabilizador del bus de la tensión y permite observar fenómenos como la caída de voltaje y suministro de energía.

7.4.4 PS-Simulink Matlab. Se utilizan para convertir señales físicas del dominio de Simscape a señales compatibles con Simulink, permitiendo visualizar señales en osciloscopios registrar resultados.

7.4.5 Sensores eléctricos. Los sensores permiten medir magnitudes eléctricas sin alterar el comportamiento del circuito tales como, voltaje y corriente. Estas medidas son importantes para el análisis del desempeño del banco de pruebas.

Los consumos están representados mediante resistencias y interruptores independientes para separar el encendido y apagado de cada carga. Reproduciendo el comportamiento de los sistemas reales del vehículo.

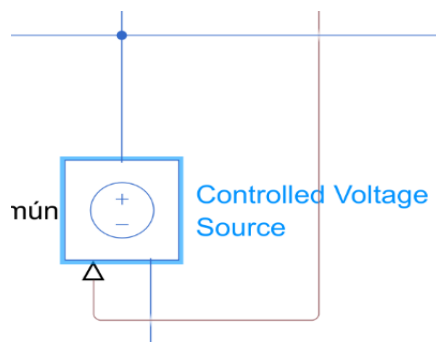
El uso combinado de MATLAB, Simulink y Simscape Electrical permitió desarrollar un modelo modular flexible y representativo del sistema eléctrico, validando el análisis para el diseño del banco de pruebas.

7.5 MODELADO DEL ALTERNADOR

El alternador se modela mediante una fuente controlada del voltaje, cuya salida depende de las revoluciones del motor. El uso de una fuente controlada permite simular distintos regímenes de operación sin necesidad de modelar el sistema electromagnético completo.

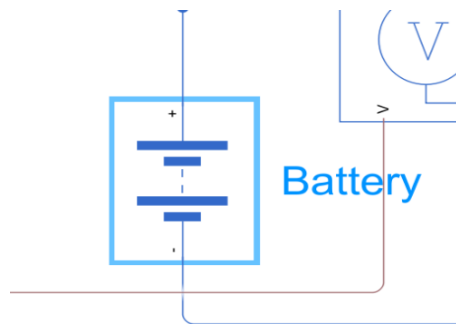
En el modelo desarrollado, el proceso de rectificado del alternador no se representa mediante un puente de diodos. Con el fin de la simplificación del modelo se emplea una fuente de voltaje controlada que entrega una tensión continua, reemplazando el conjunto de alternador y rectificador. Esto permite concentrar el análisis en el comportamiento del sistema de carga, la batería., enfocando el modelo solo en el banco de pruebas (ver figura 28).

Figura 28. Símbolo de la fuente en el software.



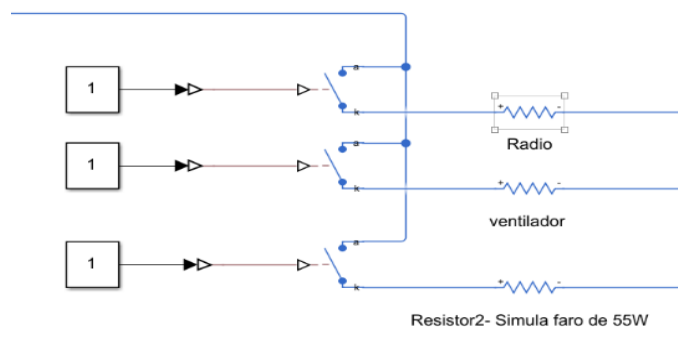
7.5.1 Batería. La batería se modela con una fuente de voltaje de 12.6 V, con una resistencia interna de 0.02 Ohm. La resistencia interna permite representar las caídas de tensión bajo carga, mostrando el comportamiento en condiciones de carga y descarga (ver figura 29).

Figura 29. Símbolo de la batería en el software.



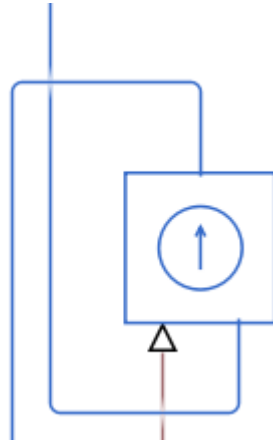
7.5.2 Consumo Eléctrico. Los consumos generales del vehículo se representan mediante resistencias equivalentes conectadas mediante interruptores independientes. Permitiendo simular el encendido y apagado de los consumos por individual, facilitando las condiciones de carga parcial o de carga máxima (ver figura 30).

Figura 30. Esquema de simulación del encendido y apagado de consumos.



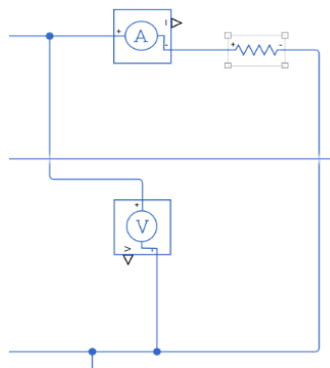
7.5.3 Computador. En los vehículos el computador es una fuente de consumo constante, además de ser variable según los consumos que tenga el vehículo (ver figura 31).

Figura 31. Símbolo del computador en el software.



7.5.4 Instrumentos de medición. El modelo incorpora sensores de corriente y de voltaje, así como un osciloscopio conectado mediante PS-Simulink para el análisis de señales. Los sensores de medidas son de vital importancia para el banco de pruebas permitiendo detectar fallas en el alternador (ver figura 32).

Figura 32. Esquema de sensores de medida.



7.6 APLICACIÓN

EL desarrollo del modelo es adecuado para el comportamiento del banco de pruebas, definiendo rangos de tensión y de corriente. Permitiendo evaluar condiciones de operación del alternador, ayudando al diseño del banco físico.

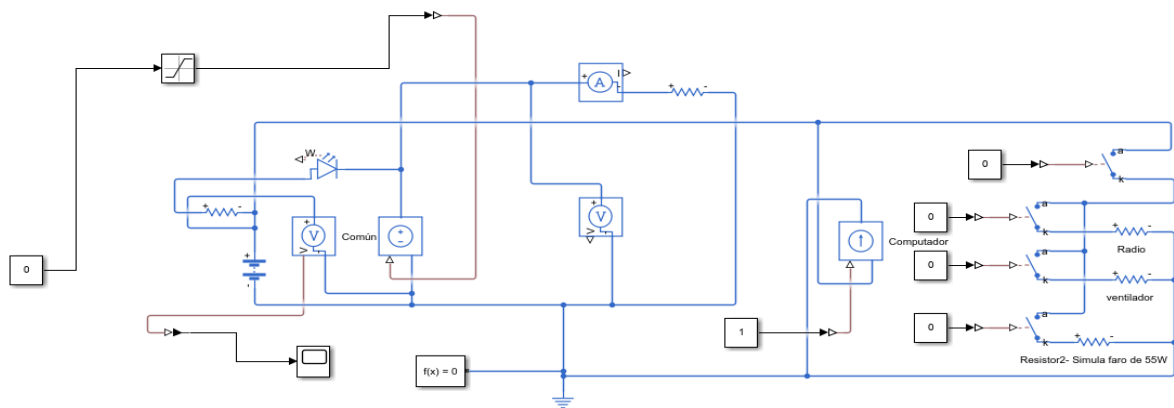
7.7 RESULTADOS DE SIMULACIÓN

Se presentan los resultados obtenidos a partir de la simulación del sistema desarrollado en el entorno de MATLAB. El objetivo principal del análisis es evaluar el comportamiento eléctrico bajo diferentes condiciones de operación, como variaciones en la velocidad y la conexión y desconexión de consumos eléctricos. Los resultados se enfocan en las variables clave como el voltaje y la corriente suministrada, permitiendo verificar el correcto funcionamiento del modelo y su coherencia con el alternador.

Para la validación del modelo se analizan diferentes escenarios, cada uno permite observar el comportamiento real del sistema bajo esas condiciones.

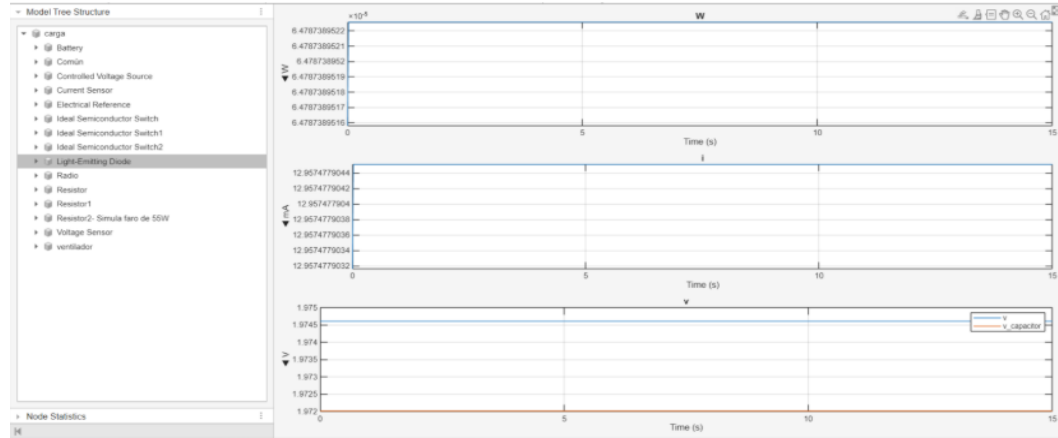
7.7.1 Motor apagado sin cargas adicionales. Cuando el alternador se encuentra detenido y las cargas no están encendidas se tiene la siguiente configuración (ver figura 33).

Figura 33. Esquema simulación motor apagado sin cargas.



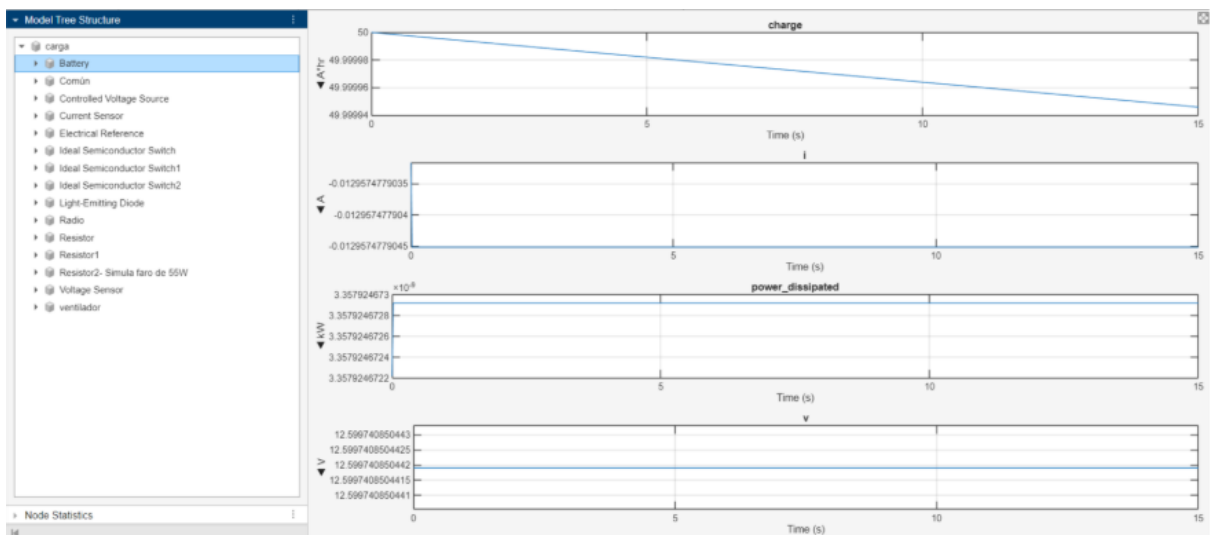
Con esta configuración del modelo, el alternador no se encuentra en funcionamiento y se presenta que:

Figura 34. Gráfico resultado de funcionamiento sin cargas adicionales.



Cuando el motor esta apagado el modelo presenta una corriente de baja magnitud a través del diodo, que en este caso representa el testigo de la batería, se presenta una caída de tensión cercana a los 2V y una potencia disipada muy baja, esto representa el correcto funcionamiento bajo estas condiciones (ver figura 34).

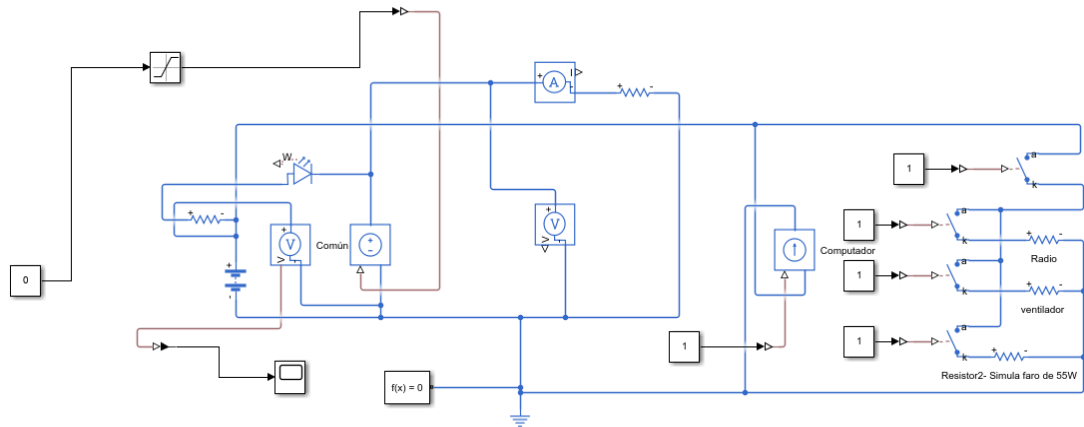
Figura 35. Gráfico resultado de funcionamiento con pérdidas mínimas.



Se observa una disminución mínima en el estado de carga, con una corriente de descarga del orden de los miliamperios, atribuida principalmente al circuito del testigo de batería y a las pérdidas internas del sistema. El voltaje se mantiene estable alrededor de 12.6 V durante todo el intervalo de simulación, lo cual evidencia que la resistencia interna de la batería no produce una caída significativa bajo condiciones de bajo consumo (ver figura 35).

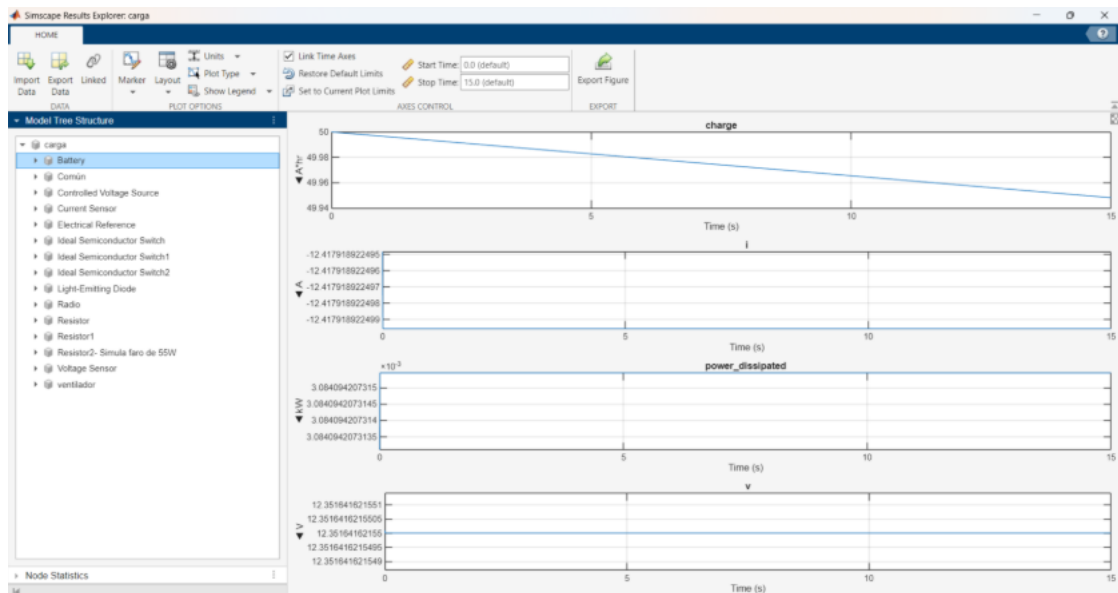
7.7.2 Motor apagado con cargas adicionales. Se activan los consumos eléctricos sin variar la velocidad del motor.

Figura 36. Esquema simulación motor apagado con cargas adicionales.



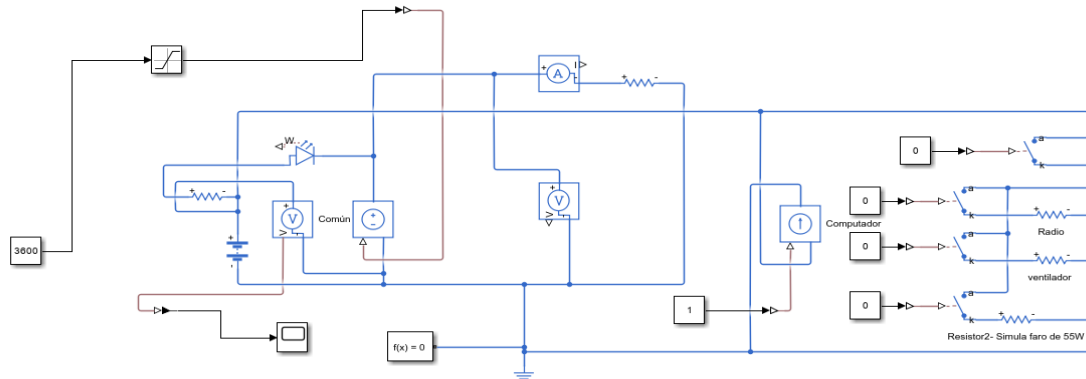
Si se analizan las resistencias correspondientes a cada consumo se puede observar que si se está presentando un mayor consumo (ver figura 36).

Figura 37. Gráfico resultado de funcionamiento con carga.



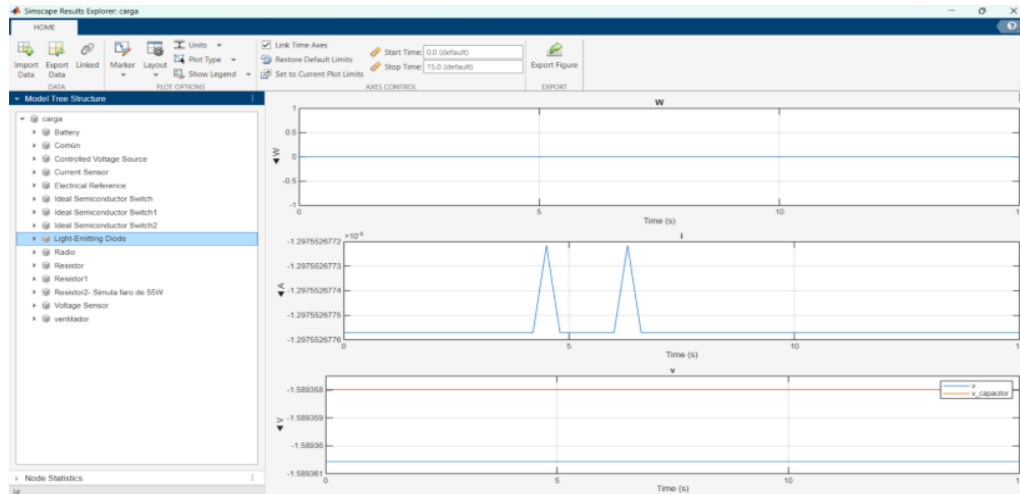
Se presenta una mayor caída de voltaje en la batería debido a que hay un mayor consumo de energía aparte del testigo de batería, como el aire, las luces del vehículo. Esto hace que después de un periodo de tiempo la batería se descargue (ver figura 37).

7.7.3 Motor encendido a 1700 RPM sin cargas adicionales. Se modifica la velocidad del motor hasta las 1700RPM, con el fin de comprobar el comportamiento del alternador en el modelado sin agregar cargas eléctricas adicionales de la siguiente manera: Figura 38. Esquema simulación motor encendido a 1700 rpm sin cargas adicionales.



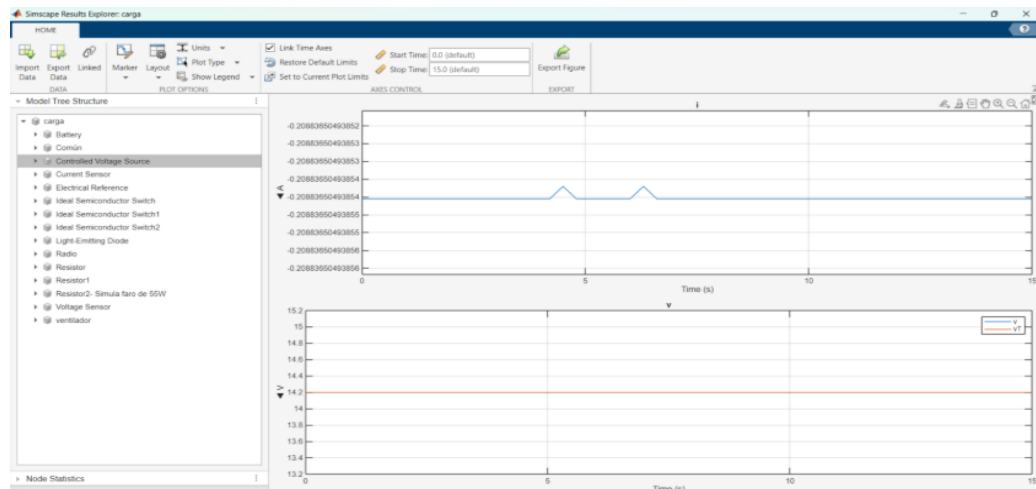
Se presentan condiciones típicas de operación, donde se observa la carga del sistema, también el testigo de batería se encuentra apagado, comprobando el correcto funcionamiento y la carga de los componentes (ver figura 38).

Figura 39. Gráfico resultado de funcionamiento motor encendido a 1700 rpm sin cargas.



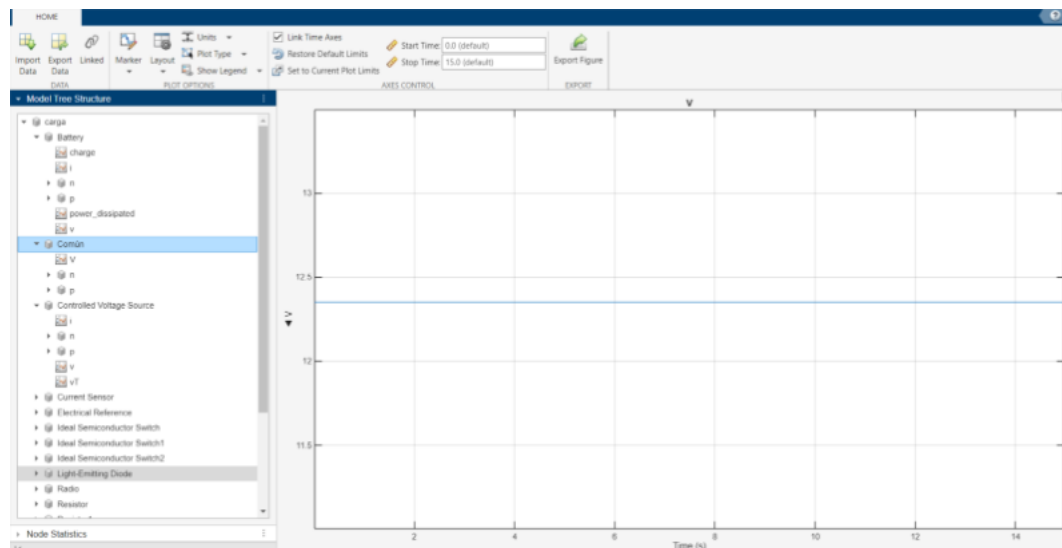
En la siguiente figura se observa la carga del sistema cuando el motor este encendido, se muestra una carga coherente con las condiciones dadas. Lo cual corresponde al valor típico de carga en sistemas automotrices. La corriente registrada presenta pequeñas variaciones asociadas a la interacción dinámica con la batería y su resistencia interna, sin afectar la estabilidad del voltaje. Estos resultados confirman el correcto funcionamiento del modelo del alternador como fuente regulada dentro del banco de pruebas (ver figura 39).

Figura 40. Diagrama de carga motor encendido.



7.7.4 Motor encendido a 1700 RPM con cargas adicionales. Con la comprobación de los consumos y el motor encendido se observa 14,2 V en régimen estacionario y se corrobora el correcto funcionamiento del modelo, para continuar con el diseño y la construcción del banco de pruebas.

Figura 41. Gráfico resultado de funcionamiento motor encendido a 1700 rpm con cargas.



En la batería se logra evidenciar la disminución de la tensión, debido a las cargas eléctricas adicionales activadas. Pero el alternador está realizando su función de manera correcta. El modelo desarrollado en MATLAB representa de manera adecuada y coherente el funcionamiento de un banco de pruebas para alternadores automotrices, ya que reproduce las principales condiciones eléctricas y operativas que se presentan en un sistema real de generación y consumo en vehículos.

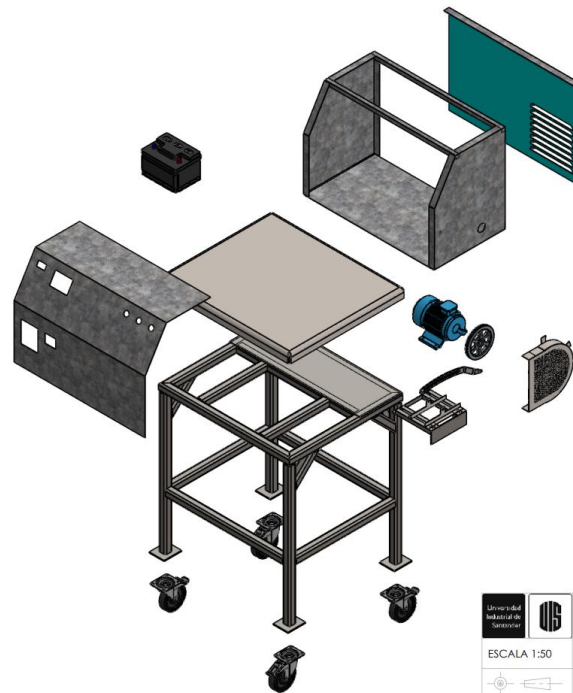
Además, el modelo desarrollado incorpora los elementos fundamentales del sistema de carga, tales como el alternador en este caso representado mediante una fuente de voltaje controlada por la velocidad del motor, la batería con resistencia interna y los diferentes consumos eléctricos. Esta estructura permite simular tanto el flujo de energía desde el alternador hacia las cargas como el comportamiento de la batería durante procesos de carga y descarga, de forma análoga a un banco de pruebas físico.

8. DISEÑO DE DETALLE Y DIMENSIONAMIENTO DEL BANCO DE PRUEBAS

En esta etapa se implementaron cálculos ingenieriles con el fin de dar dimensiones a los componentes estructurales y de potencia, entre los elementos calculados y seleccionados están, el diseño conceptual lleva lo siguiente (ver figura 42):

- Armadura de soporte de la estructura
- Sistema de transmisión (polea y correa)
- Análisis de vibraciones
- Motor, variador de frecuencia y osciloscopio.
- Soldadura

Figura 42. Vista explosionada del modelo.



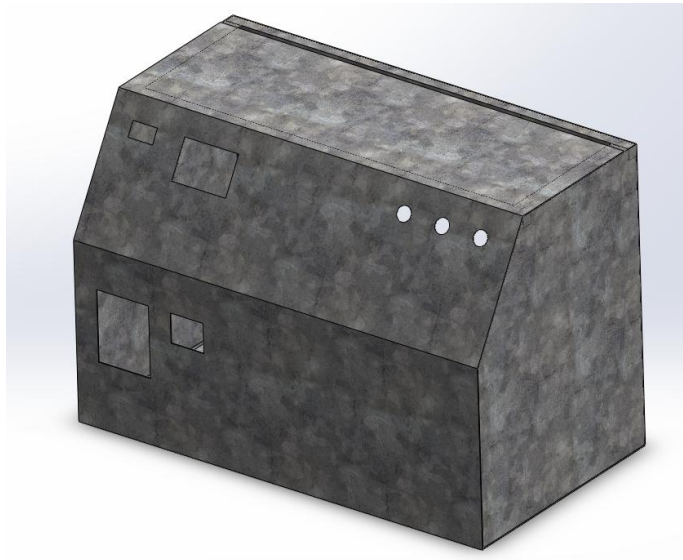
		ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA	
ESCALA 1:50	NOMBRE DEL ENSAMBLE: Explosionado Banco de pruebas		
	DIBUJADO POR: RIVERA - ARDILA	HOJA 2 DE 2	CLIENTE: UIS
FORMATO A3	REVISADO POR: Isnardo G		CANTIDAD: 1
MEDIDAS EN: cm	DESCRIPCIÓN: Explosionado Banco de pruebas para alternadores	PESO:	FECHA: 16/04/21

8.1 ARMADURA DE LA ESTRUCTURA:

8.1.1 Caja. La caja del banco fue diseñada con el propósito de alojar y proteger los componentes eléctricos del sistema, tales como los medidores, conexiones y dispositivos de control. Para su fabricación se empleó chapa metálica, la cual fue sometida a procesos de corte, conformado y doblado, permitiendo obtener una geometría adecuada que facilita la instalación y organización de los elementos internos (ver figura 43).

El diseño de la caja se desarrolló teniendo en cuenta criterios de accesibilidad, ventilación y seguridad, incorporando aberturas para la ubicación de los instrumentos de medición y ranuras que favorecen la disipación térmica.

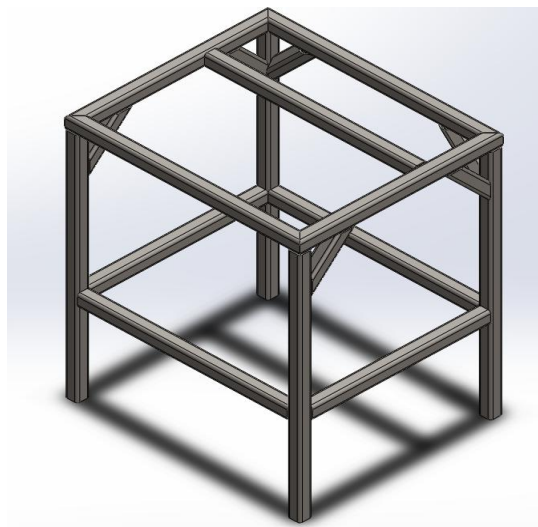
Figura 43. Caja del banco.



8.1.2 Bastidor. Con base en las cargas previamente calculadas, correspondientes al peso del motor, alternador y sistema de transmisión, se diseñó la estructura garantizando condiciones adecuadas de estabilidad y rigidez. Para ello, se seleccionó perfiles de acero AISI C1030 de 40 x 40 x 4 mm, debido a su buena resistencia mecánica y facilidad de fabricación (ver figura 44).

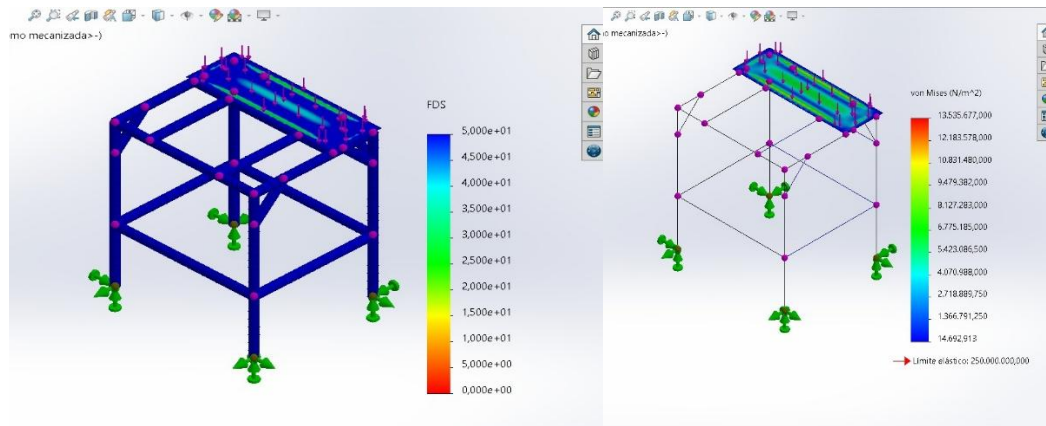
El modelado y ajuste dimensional se realizaron en el software SolidWorks, mediante un proceso iterativo que permitió determinar la geometría del bastidor y la correcta distribución de esfuerzos, asegurando un funcionamiento estable del banco de pruebas. La configuración final de la estructura se presenta en la figura correspondiente.

Figura 44. Modelado CAD para análisis de esfuerzos en SolidWorks.



Al ejecutar la simulación en SolidWorks se efectuó el respectivo análisis de independencia de la malla para garantizar resultados confiables.

Figura 45. Resultados para el factor de seguridad de la estructura

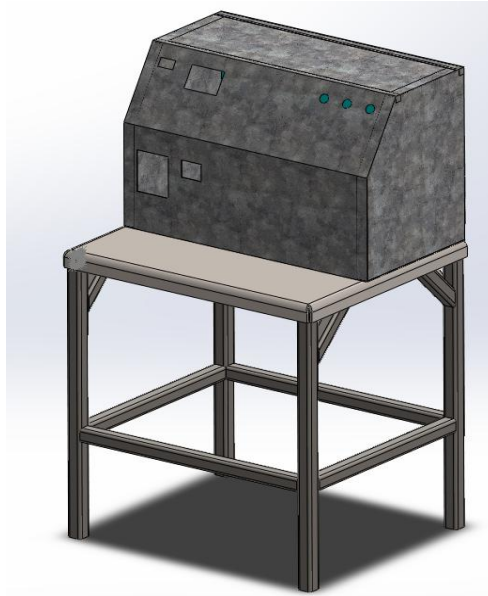


De la simulación se pudo obtener un alto factor de seguridad y una baja deformación absoluta menos al 0.02 mm, por lo tanto, se tiene la certeza de que la estructura cuenta con una resistencia superior, manteniendo confiabilidad frente a su uso en las pruebas que se realicen (ver figura 45).

8.1.3 Layout de la Estructura. La estructura completa del banco de pruebas se diseñó integrando la base, el soporte del motor y la caja superior, con el objetivo de conformar un sistema compacto, rígido y funcional. Se garantizó que la disposición de los elementos permitiera una adecuada distribución de cargas y una correcta alineación entre el motor, el sistema de transmisión y el alternador (ver figura 46).

Como resultado, se obtuvo una configuración que facilita tanto el funcionamiento del banco como su mantenimiento, además de permitir la integración eficiente de los sistemas mecánicos y eléctricos.

Figura 46. Dimensionamiento de toda la estructura del banco de pruebas.



8.2 SISTEMA DE TRANSMISIÓN:

Para el banco de pruebas el motor debe tener unas revoluciones mínimas de 600 revoluciones por minuto (RPM), dependiendo de las exigencias de la prueba debe alcanzar un punto máximo de 1700 revoluciones por minuto (RPM).

Un alternador de 12 V puede llegar a trabajar en un rango de operación de 1000 a 10000 revoluciones por minuto (RPM) dependiendo de las condiciones o la carga que tenga el motor de combustión del vehículo¹³ siendo lo más corriente un rango de 1500 a 3000 rpm. Para ello se selecciona la relación de transmisión 4:1, que daría el siguiente rango de operación (ver figura 47).

Para revoluciones mínimas se obtiene lo siguiente:

$$Rev\ Alter = 600 \cdot 4 = 2400\ Rpm$$

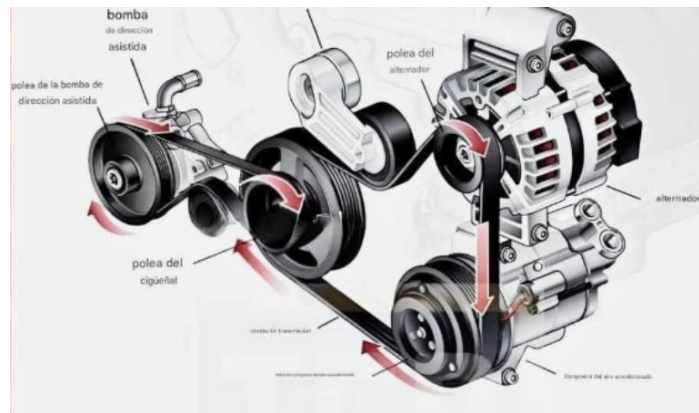
¹³ BOSCH MOTORSPORT. Alternator GCB1 120 A: Technical Sheet [en línea]. Gerlingen, Alemania: Robert Bosch GmbH, 2024. Disponible en: www.bosch-motorsport.com.

Y para revoluciones máximas:

$$Rev\ Alter = 1700 \cdot 4 = 6800\ Rpm$$

En este rango de operación se está cubriendo la zona mínima, media y mayor parte del alta, suficiente para evaluar los parámetros de medición como el voltaje, oscilaciones entre otros. Además, para garantizar seguridad mecánica y eléctrica se limita a esa velocidad máxima y a la vez representando de manera realista lo que pasa en la mayoría de los vehículos en operación normal.

Figura 47. Transmisión de potencia al alternador.



Fuente: <https://www.instagram.com/p/DOMItGJiDYR/>

8.2.1 Selección diámetro de polea para el motor eléctrico. Normalmente el diámetro de las poleas en los alternadores de 12V en el mercado se encuentran en un rango de 55 - 65 mm¹⁴. Por lo tanto, se toma el promedio para realizar los cálculos para la selección de la polea en el motor.

$$Dp = \frac{55 + 65}{2} = 60\ mm$$

¹⁴ ALTERNATOR BRUSH. Pulleys. [en línea]. [s.l.]: Alternator Brush, 2024. [consultado el 21 de enero, 2026]. Disponible en: <https://alternatorbrush.com/collections/pulleys>.

Donde:

D_p es el diámetro promedio.

Usando la ecuación de relación de transmisión se tiene:

$$R = \frac{n_{alt}}{n_{motor}} = \frac{D_{motor}}{D_{alt}}$$

Donde:

n_{alt} = RPM alternador

n_{motor} = RPM motor

D_{motor} = Diámetro polea motor

D_{alt} = Diámetro polea alternador

Al reemplazar en la ecuación se obtiene lo siguiente:

$$D_{motor} = \frac{n_{alt} * D_{alt}}{n_{motor}} = \frac{6800 * 60}{1700} = 240 \text{ mm}$$

Se obtiene un diámetro de polea para el motor de **240 mm**.

8.2.2 Selección de polea y correa de transmisión. A partir de la relación de transmisión previamente calculada, se obtuvo inicialmente un diámetro aproximado de 240 mm para la polea del eje principal. Sin embargo, considerando criterios prácticos de seguridad, estabilidad dinámica y reducción de vibraciones a altas velocidades, se optó por seleccionar un diámetro comercial ligeramente menor de 200 mm (8 pulgadas), el cual se encuentra disponible en el catálogo de Intermec dentro de la línea de poleas en V.

La polea seleccionada corresponde a un modelo tipo 3V de 1 canal, adecuada para aplicaciones de transmisión de potencia con correas en V de perfil estrecho, lo que garantiza una correcta transferencia de torque y menor deslizamiento. Adicionalmente, se eligió con un diámetro interno con cuñero de 1 pulgada, compatible con el diámetro

del eje del motor, asegurando un acople firme y alineado que contribuye a la estabilidad del sistema durante la operación (ver tabla 5).

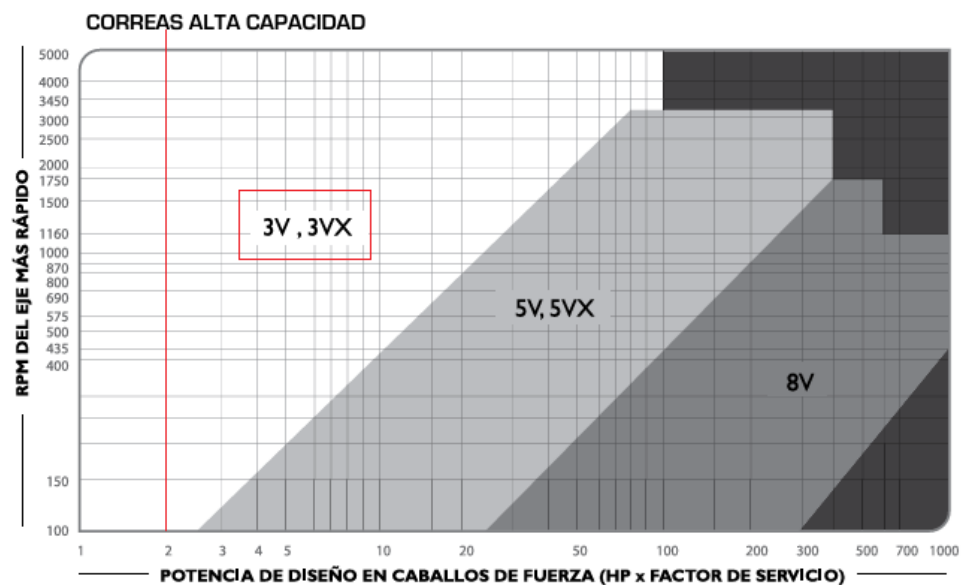
Tabla 5. Selección de la polea.

1 CANAL									
Ancho (F) = 17.5 mm									
Diámetro Exterior (D)		Referencia Polea	Ref. Buje	Huevo máximo con cuñero estándar [d]		Longitud del Buje en mm (L)	Diámetro del buje en mm (M)	Modelo	Peso sin Buje en Lb
pulg	mm			mm	pulg				
2.0	50	PQ 1-3V50	JA	25,4	1	27	50	T1	0,6
2,2	55	PQ 1-3V55	JA	25,4	1	27	50	T1	0,7
2,3	60	PQ 1-3V60	JA	25,4	1	27	50	T1	0,8
2,5	65	PQ 1-3V65	JA	25,4	1	27	50	T1	0,8
2,6	67	PQ 1-3V67	JA	25,4	1	27	50	T1	0,9
2,8	70	PQ 1-3V70	JA	25,4	1	27	50	T1	0,9
3,0	75	PQ 1-3V75	JA	25,4	1	27	50	T1	1,0
3,1	80	PQ 1-3V80	JA	25,4	1	27	50	T1	1,0
3,3	85	PQ 1-3V85	JA	25,4	1	27	50	T1	1,1
3,6	90	PQ 1-3V90	SH	34,9	1-3/8	33	70	T1	1,3
3,9	100	PQ 1-3V100	SH	34,9	1-3/8	33	70	T1	1,6
4,1	105	PQ 1-3V105	SH	34,9	1-3/8	33	70	T1	1,7
4,3	110	PQ 1-3V110	SH	34,9	1-3/8	33	70	T1	2,0
4,5	115	PQ 1-3V115	SH	34,9	1-3/8	33	70	T1	2,1
4,7	120	PQ 1-3V120	SH	34,9	1-3/8	33	70	T1	2,5
5,0	125	PQ 1-3V125	SH	34,9	1-3/8	33	70	T1	2,8
5,1	130	PQ 1-3V130	SH	34,9	1-3/8	33	70	T1	2,9
5,3	135	PQ 1-3V135	SH	34,9	1-3/8	33	70	T1	3,0
5,6	140	PQ 1-3V140	SH	34,9	1-3/8	33	70	T1	3,2
6,0	150	PQ 1-3V150	SH	34,9	1-3/8	33	70	T1	3,5
6,3	160	PQ 1-3V160	SH	34,9	1-3/8	33	70	T1	3,8
6,5	165	PQ 1-3V165	SH	34,9	1-3/8	33	70	T1	3,9
6,7	170	PQ 1-3V170	SH	34,9	1-3/8	33	70	T1	4,0
6,9	175	PQ 1-3V175	SH	34,9	1-3/8	33	70	T1	4,5
7,0	180	PQ 1-3V180	SDS	42,9	1-11/16	35	80	T1	4,6
7,8	198	PQ 1-3V198	SDS	42,9	1-11/16	35	80	T3	5,1
8,0	200	PQ 1-3V200	SDS	42,9	1-11/16	35	80	T3	5,5
8,8	220	PQ 1-3V220	SDS	42,9	1-11/16	35	80	T3	6,6
9,9	250	PQ 1-3V250	SDS	42,9	1-11/16	35	80	T3	7,8
10,6	270	PQ 1-3V270	SDS	42,9	1-11/16	35	80	T3	8,0
11,0	280	PQ 1-3V280	SK	54,0	2-1/8	50	100	T3	10,6
11,8	300	PQ 1-3V300	SK	54,0	2-1/8	50	100	T3	11,3
12,5	320	PQ 1-3V320	SK	54,0	2-1/8	50	100	T3	12,0
13,7	350	PQ 1-3V350	SK	54,0	2-1/8	50	100	T3	13,2
14,0	355	PQ 1-3V355	SK	54,0	2-1/8	50	100	T3	13,5
15,7	400	PQ 1-3V400	SK	54,0	2-1/8	50	100	T3	14,1
19,0	485	PQ 1-3V485	SK	54,0	2-1/8	50	100	T3	17,0

Fuente: INTERMEC S.A.S. *Poleas en V.* [en línea]. Colombia: Intermec, s. f. [consultado: 20 feb. 2026]. Disponible en: <https://intermec.co>

8.2.3 Selección de Correa de Transmisión. La selección de la correa se realizó con base en la velocidad máxima del eje más rápido del sistema, correspondiente al alternador, el cual puede alcanzar regímenes cercanos a 6000 rpm durante las pruebas. Asimismo, se consideró un diámetro promedio de la polea del alternador de aproximadamente 60 mm, parámetro fundamental para determinar la capacidad de transmisión de potencia por canal según el catálogo del fabricante.

Tabla 6. Selección del tipo de perfil o correa.



Fuente: Fuente: INTERMEC S.A.S. *Poleas en V*. [en línea]. Colombia: Intermec, s. f. [consultado: 20 feb. 2026]. Disponible en: <https://intermec.co>

De acuerdo con la tabla anterior, para una potencia de 2 HP y velocidad del eje más rápido superior a los 5000 rpm, los tipos de correas más adecuados son la 3V y la 3VX.

Tabla 7. Selección de la correa.

CORREAS TIPO 3VX		TABLA DE CAPACIDAD DE TRANSMISIÓN POR CANAL (EN HP)									
RPM del Eje más Rápido	Diámetro exterior de la Polea Motriz (en milímetros)										
	55	60	65	67	70	75	80	85	90	105	
100	0,12	0,14	0,16	0,18	0,19	0,22	0,23	0,26	0,29	0,35	
200	0,22	0,26	0,29	0,33	0,36	0,41	0,44	0,48	0,55	0,66	
300	0,31	0,37	0,42	0,47	0,52	0,58	0,63	0,70	0,80	0,95	
400	0,40	0,47	0,54	0,60	0,67	0,75	0,82	0,91	1,03	1,24	
500	0,49	0,57	0,65	0,73	0,81	0,92	1,00	1,10	1,27	1,50	
575	0,55	0,64	0,73	0,83	0,93	1,04	1,13	1,25	1,43	1,72	
600	0,57	0,66	0,76	0,86	0,95	1,08	1,18	1,30	1,50	1,78	
690	0,64	0,75	0,86	0,97	1,08	1,22	1,33	1,48	1,80	2,02	
700	0,65	0,76	0,87	0,98	1,10	1,24	1,35	1,50	1,70	2,05	
725	0,66	0,78	0,90	1,00	1,13	1,28	1,40	1,54	1,77	2,12	
800	0,72	0,85	0,98	1,10	1,23	1,40	1,52	1,68	1,93	2,30	
870	0,77	0,91	1,05	1,18	1,32	1,50	1,63	1,80	2,08	2,50	
900	0,80	0,94	1,08	1,22	1,36	1,54	1,68	1,87	2,14	2,57	
950	0,83	0,98	1,13	1,28	1,42	1,62	1,77	1,96	2,25	2,70	
1000	0,87	1,02	1,18	1,34	1,50	1,70	1,85	2,05	2,35	2,82	
1100	0,94	1,10	1,28	1,45	1,62	1,84	2,00	2,23	2,56	3,07	
1160	0,98	1,16	1,34	1,52	1,69	1,93	2,10	2,34	2,68	3,22	
1200	1,00	1,20	1,38	1,56	1,74	2,00	2,17	2,40	2,76	3,32	
1300	1,05	1,25	1,47	1,67	1,87	2,13	2,32	2,58	2,97	3,56	
1400	1,14	1,36	1,57	1,78	2,00	2,27	2,48	2,75	3,17	3,80	
1425	1,16	1,38	1,60	1,80	2,02	2,30	2,52	2,80	3,22	3,86	
1500	1,20	1,44	1,66	1,90	2,10	2,40	2,63	2,93	3,36	4,04	
1600	1,27	1,52	1,76	2,00	2,23	2,55	2,78	3,10	3,56	4,28	
1700	1,34	1,60	1,85	2,10	2,35	2,68	2,93	3,26	3,75	4,50	
1750	1,37	1,63	1,90	2,15	2,40	2,75	3,00	3,34	3,85	4,63	
1800	1,40	1,67	1,94	2,20	2,47	2,82	3,08	3,43	3,94	4,74	
1900	1,46	1,74	2,02	2,30	2,58	2,95	3,22	3,60	4,13	4,97	
2000	1,52	1,82	2,10	2,40	2,70	3,08	3,37	3,75	4,32	5,20	
2100	1,58	1,90	2,20	2,50	2,80	3,20	3,50	3,90	4,50	5,40	
2200	1,64	1,96	2,28	2,60	2,92	3,34	3,65	4,07	4,68	5,63	
2300	1,70	2,03	2,37	2,70	3,03	3,47	3,80	4,22	4,86	5,85	
2400	1,75	2,10	2,45	2,80	3,14	3,60	3,93	4,38	5,04	6,06	
2500	1,80	2,17	2,53	2,90	3,25	3,72	4,07	4,53	5,22	6,28	
2600	1,87	2,24	2,60	2,98	3,35	3,84	4,20	4,68	5,40	6,48	
2700	1,92	2,30	2,70	3,08	3,46	3,96	4,33	4,83	5,56	6,70	
2800	1,97	2,37	2,77	3,17	3,56	4,08	4,47	4,98	5,73	6,90	
2850	2,00	2,40	2,80	3,20	3,60	4,14	4,53	5,05	5,82	7,00	
2900	2,03	2,44	2,85	3,25	3,66	4,20	4,60	5,12	5,90	7,10	
3000	2,08	2,50	2,93	3,35	3,78	4,30	4,72	5,26	6,06	7,30	
3200	2,18	2,63	3,08	3,52	3,96	4,54	4,98	5,55	6,40	7,88	
3400	2,28	2,75	3,23	3,70	4,16	4,77	5,22	5,82	6,70	8,05	
3450	2,30	2,78	3,26	3,74	4,20	4,82	5,28	5,90	6,78	8,15	
3600	2,37	2,87	3,37	3,86	4,35	5,00	5,46	6,10	7,00	8,42	
3800	2,47	3,00	3,50	4,02	4,53	5,20	5,70	6,35	7,30	8,77	
4000	2,56	3,10	3,65	4,18	4,70	5,40	5,92	6,60	7,60	9,10	
4200	2,64	3,20	3,78	4,33	4,90	5,60	6,15	6,85	7,88	9,44	
4400	2,73	3,32	3,90	4,48	5,06	5,80	6,36	7,10	8,15	9,75	
4600	2,80	3,42	4,03	4,63	5,22	6,00	6,57	7,32	8,40	10,05	
4800	2,90	3,52	4,15	4,77	5,38	6,18	6,77	7,54	8,65	10,34	
5000	2,96	3,62	4,27	4,90	5,53	6,36	6,96	7,75	8,90	10,60	
5200	3,03	3,70	4,38	5,04	5,68	6,53	7,15	7,96	9,13	10,87	
5400	3,10	3,80	4,50	5,16	5,83	6,70	7,33	8,15	9,35	11,10	
5600	3,17	3,90	4,60	5,29	5,96	6,85	7,50	8,34	9,56	11,34	
5800	3,23	3,97	4,70	5,40	6,10	7,00	7,66	8,52	9,76	11,55	
6000	3,30	4,05	4,80	5,50	6,22	7,15	7,82	8,70	9,94	11,75	
6200	3,35	4,12	4,88	5,62	6,34	7,28	7,97	8,85	10,10	11,92	
6400	3,40	4,20	4,96	5,72	6,46	7,40	8,10	9,00	10,27	12,09	
6600	3,45	4,26	5,05	5,82	6,52	7,54	8,24	9,14	10,42	12,25	

Fuente: Fuente: INTERMEC S.A.S. *Poleas en V*. [en línea]. Colombia: Intermecc, s. f. [consultado: 20 feb. 2026]. Disponible en: <https://intermec.co>

De acuerdo con la tabla de capacidad de transmisión para correas tipo 3VX del catálogo de Intermecc, para velocidades del eje rápido del orden de 6000 rpm y diámetros de polea cercanos a 60 mm, cada canal de la correa puede transmitir potencias superiores a 4 HP, dependiendo del diámetro de la polea motriz. Considerando que el motor seleccionado para el banco es de 2 HP, la correa opera por debajo de su capacidad nominal, garantizando un margen adecuado de seguridad, menor esfuerzo mecánico y una transmisión estable sin riesgo de sobrecarga.

Para el cálculo de la longitud de la correa se usa la siguiente fórmula del catálogo de INTERMEC:

$$Lp = 2C + 1.57 [D + d] + \frac{[D - d]^2}{4C}$$

Donde:

Dp: Largo de la correa.

D: Diámetro de la polea mayor.

d: Diámetro de la polea menor.

C: Distancia entre centros.

Para el cálculo de la distancia entre centros se usan las siguientes ecuaciones:

Dist Recomendada: $C = 1,5 [D + d]$

Dist Máxima: $C = 2[D + d]$

Dist Mínima: $C = 0,7[D + d]$

Reemplazando los datos para Dist Recomendada se obtiene que:

$$C = 1,5 [200 + 60] = 390 \text{ mm}$$

Ahora para la longitud de correa reemplazamos y se obtiene:

$$Lp = 2(390) + 1,57(200 + 60) + \frac{(200 - 60)^2}{4(390)} = 1200 \text{ mm}$$

Dato: si se usa el c máximo de 520 mm Lp es 1458 mm

Por lo tanto, se obtiene una longitud de correa de **1200** mm aproximadamente.

8.3 MOTOR ELÉCTRICO, VARIADOR DE FRECUENCIA Y OSCILOSCOPIO.

8.3.1 Selección Del Motor. El banco de pruebas fue diseñado para realizar pruebas diagnósticas de alternadores de 12 V, sin aplicación de carga resistiva externa significativa, estando conectado únicamente a los instrumentos de medición.

La potencia eléctrica nominal de un alternador automotriz se determina mediante:

$$P = V \cdot I$$

Donde:

- $V = 12 \text{ V} - 14 \text{ V}$ (Voltaje de regulación)
- $I =$ Corriente de salida

Según el Bosch Automotive Handbook, el voltaje regulado del sistema de carga se encuentra típicamente entre 13.8 V y 14.4 V en sistemas de 12V.

Para las condiciones de operación del banco (ausencia de consumos), la corriente suministrada por el alternador es baja, usualmente inferior al 20 % de su capacidad nominal¹⁵.

Considerando un caso conservador de 15 A:

$$P_{eléctrica} = 14 \cdot 15 = 210 \text{ W}$$

La potencia mecánica requerida en el eje del alternador depende de su eficiencia.

¹⁵ BOSCH. *Bosch Automotive Handbook*. 10. ed. Hoboken (NJ, USA): Wiley, 2018.

Según Rizzoni, la eficiencia de alternadores automotrices convencionales se encuentra entre 55 % y 70 %, dependiendo del régimen de operación¹⁶.

Considerando una eficiencia promedio del 60 %:

$$P_{mecánica} = \frac{210}{0.6} = 350 \text{ W}$$

Esto equivale aproximadamente a:

$$0.47 \text{ HP}$$

Se aplica un factor de seguridad de **4** para compensación de pérdidas, margen de seguridad adecuado y operación estable se obtiene lo siguiente:

$$0.47 \cdot 4 = 1.88 \text{ HP}$$

Por lo tanto, el motor seleccionado es de **2 HP**.

Seguido a esto el motor seleccionado corresponde al modelo Siemens **1LA7 096-4YB60**, un motor trifásico de 2 HP y 4 polos, con velocidad nominal aproximada de 1720 rpm a 60 Hz. Su potencia y torque nominal (8.4 N·m) resultan adecuados para accionar alternadores automotrices de 12 V bajo diferentes condiciones de carga, garantizando estabilidad mecánica durante la prueba (ver tabla 8).

Adicionalmente, su diseño industrial permite operación continua, buena eficiencia energética ($\approx 82\%$) y compatibilidad con variadores de frecuencia, lo cual posibilita ajustar la velocidad de giro para simular distintos regímenes de operación del motor de combustión interna. Estas características aseguran un funcionamiento estable, seguro y repetible dentro del banco de pruebas.

¹⁶ RIZZONI, Giorgio. *Principles and Applications of Electrical Engineering*. 6. ed. New York (NY, USA): McGraw-Hill Education, 2015.

Tabla 8. Tabla de selección del motor.

ESPECIFICACIONES NOMINALES PARA MOTORES TRIFÁSICOS ESTÁNDAR 1LA7 Y 1LA5 60Hz														
Tipo	Frame IEC	Potencia	Factor de Servicio	Corriente Nominal [A]	Eficiencia η	Factor de Potencia	Velocidad Nominal	Torque Nominal	Torque de Arranque	Corriente de Arranque	Peso Neto (M3)	Rodamientos		
	HP	Kw	440V	220V	(%)	Cos ϕ	(rpm)	[Nm]	(Ta/Tn)	(Ia/In)	[kg]	AS/BS		
MOTORES DE 2 POLOS, 3600 RPM														
1LA7 070-2YA60	71	0.8	0.6	1.15	2.4	1.2	77.4	0.79	3430	1.56	2.7	6	6.0	6202 2Z C3 / 6202 2Z C3
1LA7 073-2YA60	71	1	0.7	1.15	3.5	1.75	62.8	0.89	3320	2.15	2.5	4.7	6.0	6202 2Z C3 / 6202 2Z C3
1LA7 080-2YA60	80	2	1.1	1.15	5.3	2.65	69.2	0.80	3370	3.17	1.8	3.7	8.4	6004 2Z C3 / 6004 2Z C3
1LA7 083-2YA60	80	2	1.5	1.15	6.2	3.1	73.4	0.86	3410	4.18	3.3	6.3	10	6004 2Z C3 / 6004 2Z C3
1LA7 090-2YB60	90 L	2.4	1.8	1.15	3.5	7	81.0	0.82	3460	4.9	2.4	5.5	11.7	6205 2Z C3 / 6004 2Z C3
1LA7 093-2YB60	90 L	3	2.2	1.1	4.5	9	82.3	0.79	3450	6.2	2.7	5.7	14.6	6205 2Z C3 / 6004 2Z C3
1LA7 097-2YB60	90 L	4	3.0	1.15	5.5	11	84.5	0.84	3460	8.2	2.4	5.9	16.4	6205 2Z C3 / 6004 2Z C3
1LA7 113-2YB60	112 M	5	3.7	1.15	7	14	85.2	0.82	3508	10.2	2.7	7.8	26.6	6206 2Z C3 / 6205 2Z C3
1LA7 113-2YC60	112 M	6	4.5	1.25	8.5	17	84.6	0.81	3492	12.3	2.6	7.5	26.6	6206 2Z C3 / 6205 2Z C3
1LA7 115-2YB60	112 M	7.5	5.6	1.15	9.5	19	86.0	0.89	3480	15.3	2.0	5.8	30	6206 2Z C3 / 6205 2Z C3
1LA7 132-2YB70	132 S/M	10	7.5	1.15	13.3	26.6	88.1	0.83	3525	20.5	2.7	6.8	52.8	6208 2Z C3 / 6208 2Z C3
1LA7 132-2YC70	132 S/M	12	9.0	1.05	15.2	30.4	87.5	0.88	3500	24.6	2.7	6.8	53.3	6208 2Z C3 / 6208 2Z C3
1LA7 133-2YB70	132 S/M	15	11.2	1.15	19	38	88.1	0.87	3515	30.5	2.0	6.5	56.5	6208 2Z C3 / 6208 2Z C3
1LA7 165-2YB70	160 M/L	20	14.9	1.15	26	52	88.5	0.85	3530	42.0	2.0	4.8	83.5	6209 2Z C3 / 6209 2Z C3
1LA7 165-2YC70	160 M/L	25	18.7	1.15	31.8	63.6	89.5	0.86	3510	50.8	2.1	5	84.5	6209 2Z C3 / 6209 2Z C3
1LA7 167-2YB70	160 M/L	30	22.4	1.15	38.6	77.2	89.6	0.84	3530	61.0	2.1	4.6	95.2	6209 2Z C3 / 6209 2Z C3
1LA5 183-2YB80	180 M	35	26.1	1.15	43.5	87	91.9	0.85	3545	70.5	2.1	6.6	135	6210 2Z C3 / 6210 2Z C3
1LA5 184-2YB80	180 M	40	29.8	1.05	52	104	91.5	0.82	3550	80.5	2.3	6.4	135	6210 2Z C3 / 6210 2Z C3
1LA5 206-2YB80	200 L	50	37.3	1.15	67	134	92.5	0.78	3554	101.0	2.4	6.6	189	6212 2Z C3 / 6212 2Z C3
1LA5 207-2YB80	200 L	60	44.8	1.15	76.6	153.2	92.4	0.82	3564	120.0	2.4	6.6	207	6212 2Z C3 / 6212 2Z C3
1LA5 223-2YB80	225 S/M	75	56.0	1.15	91.5	183	93.1	0.86	3550	151.0	1.9	6.8	229	6213 2Z C3 / 6212 2Z C3
MOTORES DE 4 POLOS, 1800 RPM														
1LA7 070-4YC60	71	0.4	0.3	1.05	1.6	0.8	63.3	0.77	1640	1.7	1.8	2.8	4.7	6202 2Z C3 / 6202 2Z C3
1LA7 070-4YA60	71	0.5	0.4	1.15	1.9	0.95	63.6	0.81	1590	2.24	1.3	2.7	4.7	6202 2Z C3 / 6202 2Z C3
1LA7 071-4YA60	71	0.6	0.4	1.15	2.2	1.1	70.2	0.76	1680	2.54	1.8	3.4	6.0	6202 2Z C3 / 6202 2Z C3
1LA7 073-4YA60	71	0.8	0.6	1.15	2.9	1.45	64.0	0.79	1650	3.24	1.9	3.7	6.0	6202 2Z C3 / 6202 2Z C3
1LA7 080-4YA60	80	1.0	0.7	1.15	3.5	1.75	64.2	0.87	1660	4.3	1.9	3.7	8.1	6004 2Z C3 / 6004 2Z C3
1LA7 081-4YA60	80	1.2	0.9	1.05	4.0	2.0	69.0	0.85	1675	5.1	2.2	3.7	9.3	6004 2Z C3 / 6004 2Z C3
1LA7 083-4YA60	80	1.5	1.1	1.15	5.0	2.5	65.9	0.89	1650	6.4	1.8	3.0	9.3	6004 2Z C3 / 6004 2Z C3
1LA7 096-4YB60	90 L	2	1.5	1.15	3.3	6.6	82.3	0.8	1720	8.4	2.2	4.4	15.2	6205 2Z C3 / 6004 2Z C3
1LA7 096-4YC60	90 L	2.4	1.8	1.15	3.7	7.4	81.5	0.78	1703	10.2	2.7	5.2	15.3	6205 2Z C3 / 6004 2Z C3
1LA7 097-4YB60	90 L	3.0	2.2	1.15	4.3	8.6	83.0	0.82	1730	12.3	1.8	3.6	16.4	6205 2Z C3 / 6004 2Z C3
1LA7 112-4YB60	112 M	4	3.0	1.15	6.1	12.2	85.5	0.74	1745	16.4	2.8	7.6	25.4	6206 2Z C3 / 6205 2Z C3
1LA7 112-4YC60	112 M	5	3.7	1.15	7.9	15.8	85.3	0.73	1740	20.5	2.3	6.5	25.4	6206 2Z C3 / 6205 2Z C3
1LA7 114-4YB60	112 M	6	4.5	1.05	9	18	85.7	0.76	1740	24.6	2.8	8.7	28.3	6206 2Z C3 / 6205 2Z C3

Fuente: SIEMENS S.A. *Motores eléctricos industriales y ventiladores axiales de alto caudal: alta eficiencia*. Colombia: Siemens S.A., 2012. pag. 4.

8.3.2 Selección Del Variador De Frecuencia. Para el control de velocidad del motor principal del banco de pruebas se seleccionó un variador de frecuencia con las siguientes características: potencia nominal de **2.2 kW**, entrada **220 V monofásica** y salida **220 V trifásica** de un Proveedor chino: CTRL-DRIVE Store (ver figura 48).

La selección se realizó considerando que el motor Siemens posee una potencia aproximada de **2 HP (≈ 1.5 kW)** y puede operar a **220 V trifásico** en configuración delta (Δ). Por esta razón, se eligió un variador con una potencia superior a la del motor, garantizando un margen de seguridad del 20–30%, lo cual permite soportar picos de corriente durante el arranque y condiciones de carga variable.

Figura 48. Variador de frecuencia adquirido.



Fuente: <https://www.aliexpress.com/>

8.3.3 Selección Del Osciloscopio Digital. Para el análisis de señales eléctricas del banco de pruebas se seleccionó un osciloscopio digital portátil **FNIRSI DSO152**, con ancho de banda de **10 MHz** y tasa de muestreo de **48 MS/s**.

Este equipo es adecuado para evaluar señales asociadas al alternador de 12 V, como variaciones de tensión, rizado (ripple) y señales pulsantes del sistema de excitación. Su capacidad de muestreo permite una correcta visualización de formas de onda y transitorios eléctricos. Además, su diseño portátil y alimentación USB facilitan su uso en el laboratorio, ofreciendo una solución funcional y económica para el diagnóstico del sistema (ver figura 49).

Figura 49. Osciloscopio Digital adquirido.



Fuente: <https://www.aliexpress.com/>

8.4 MODELADO Y PLANOS

El desarrollo del diseño del banco de pruebas se llevó a cabo mediante herramientas de modelado asistido por computadora (CAD), empleando el software SolidWorks. A través de este entorno se realizó el modelado tridimensional de cada uno de los componentes del sistema.

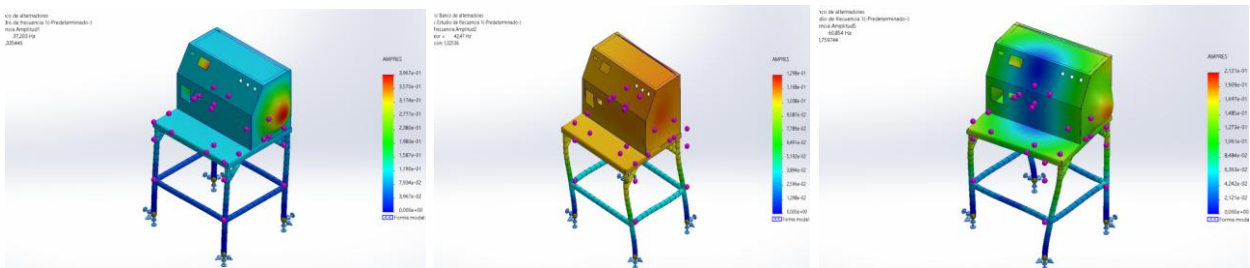
A partir del modelo 3D se generaron los planos técnicos de fabricación y ensamble, en los cuales se definieron dimensiones, tolerancias y detalles constructivos necesarios para la correcta elaboración de las piezas (ver figura 50).

Figura 50. Modelo CAD banco de pruebas de alternadores de 12V.



8.5 ANÁLISIS DE VIBRACIONES:

Figura 51. Modelado análisis de vibraciones (modo 1, modo 2 y modo 5 respectivamente)



Se realizó un análisis modal del marco, donde la interpretación de los resultados se basa en la escala AMPRES, la cual representa la amplitud relativa de deformación en cada modo de vibración (ver figura 51).

- **Modo 1**, identificado a una frecuencia de **37,20 Hz**, evidencia una respuesta dinámica caracterizada por una oscilación controlada en los paneles de cobertura lateral, lo que demuestra la eficiencia de la estructura principal para disipar energía en superficies no críticas. El hecho de que el bastidor inferior y los apoyos mantengan una estabilidad absoluta bajo esta frecuencia validando así la idoneidad del anclaje seleccionado.

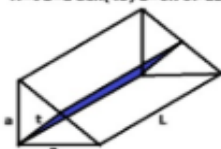
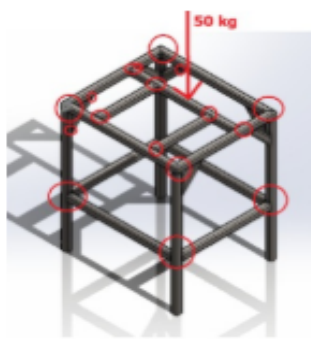
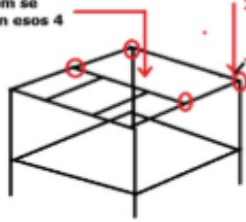
- **Modo 2**, registrado a los **42,47 Hz**, se aprecia un comportamiento de respuesta integral donde el conjunto manifiesta una transición armónica de sus cargas dinámicas hacia la estructura de soporte. Esta característica es indicativa de una construcción cohesiva, donde la interacción entre la mesa de trabajo y los elementos verticales de apoyo permite una distribución equilibrada de los esfuerzos.
- **Modo 5**, que se sitúa en los **60,85 Hz**, resalta la elevada rigidez estructural del proyecto al desplazar los patrones de deformación más complejos hacia un espectro de alta frecuencia. La morfología de este modo refleja una notable resistencia torsional del chasis superior, asegurando la estabilidad del plano de trabajo incluso bajo condiciones de exigencia dinámica superior.

8.6 ANÁLISIS DE SOLDADURA.

Tomando como referencia la norma AWS D1.1/D1.1M:2015 para soldaduras estructurales. El análisis se realizó considerando cordones de filete ejecutados con electrodo E6013 de 3/32", material comúnmente utilizado en procesos de fabricación metálica por su adecuada resistencia mecánica y facilidad de aplicación.

Para la evaluación se asumió una carga de 50 kg aplicada en la parte superior de la estructura, correspondiente a las sollicitaciones generadas por el peso del motor, alternador y esfuerzos operativos durante el funcionamiento. Dicha carga se distribuyó en los nodos principales del bastidor, determinando la fuerza actuante sobre cada punto crítico de soldadura. Con base en el esfuerzo cortante admisible establecido por norma, se calculó la longitud mínima requerida del cordón para garantizar condiciones seguras de resistencia. Los resultados indican que la longitud mínima necesaria por nodo es considerablemente menor a la longitud real ejecutada en la fabricación, la cual corresponde al perímetro de contacto entre perfiles estructurales.

Tabla 9. Cálculos de Soldadura.

Cálculos de Soldadura	
Norma: AWS D1.1 D1.1M - 2015	
<p>Electrodo: 6013 Tamaño: 3/32" ← Estética del cordón $A = t \cdot L = a \cdot \text{Sen}(45^\circ) \cdot L = 0.707 \cdot a \cdot L$</p> 	
<p>El esfuerzo admisible por la soldadura de filete es de 0.3 veces el esfuerzo ultimo de tension del electrodo (por norma)</p>	
<p>$60.000 \cdot 0.3 = 18.000 \text{ lb/pulg}$</p>	
<p>La resistencia del cordón es: $P = \tau \cdot A$ $P = 18.000 \cdot 0.707 \cdot a \cdot L$ $P = 12.726 \cdot a \cdot L$</p> <p>50 Kg = 110.23 lbf $110.23 / 4 = 27.56 \text{ lbf}$ lbf = lbf → El factor de 2.2 que se utilizo ya tiene en cuenta la gravedad, cumple con la norma</p> <p>asumimos a de 3 mm (Un tamaño típico de filete) $3 \text{ mm} = 0.118 \text{ pulg}$ $27.56 = 12.726 \cdot 0.118 \cdot L$ $L = \frac{27.56 \text{ lbf}}{1.501,67 \text{ lbf/pulg}} = 0.018 \text{ pulg}$ → Longitud mínima del cordón</p>	<p>P = Fuerza cortante admisible a = Tamaño de soldadura en pulgadas L = Longitud de la soldadura en pulgadas</p> <p>Las 110.23 lbf se distribuyen en esos 4 nodos</p> 
<p>Si se aplican 50 kg a cada nodo</p>	
<p>$110.23 \text{ lb} = 12.726 \text{ lb/pulg} \cdot a \cdot L$ $a = 0.118 \text{ pulg}$ $L = \frac{110.23 \text{ lbf}}{1.501,67 \text{ lbf/pulg}} = 0.07 \text{ pulg} = 1.78 \text{ mm}$</p>	<p>1.78 mm es la distancia mínima del cordón en cada nodo. Teniendo en cuenta que la longitud de la soldadura en cada uno de los puntos es de 6.29 pulgadas, ya que el cordón va por el perímetro del perfil, se garantiza que tenga la resistencia adecuada.</p>

8.7 FABRICACIÓN DE COMPONENTES

El proceso de manufactura se ejecutó en una serie de fases, colocando en prácticas técnicas de fabricación para cada sistema de la máquina.

8.7.1 Soldadura. Se emplearon procesos de soldadura para la unión de los perfiles estructurales previamente cortados, permitiendo la conformación del bastidor principal del banco de pruebas. La soldadura se aplicó en las uniones de las secciones de perfil cuadrado de 40 x 40 x 4 mm, asegurando un ensamblaje firme, resistente y alineado según el diseño establecido.

Tabla 10. Fabricación de estructura principal.

NOMBRE	Estructura	MATERIAL	Aleación Hierro - Carbón
OPERACIÓN		DETALLE	
Corte	Cortado de los perfiles según las dimensiones de los planos		
Soldadura	Unión de cada perfil para la estructura principal		
PLANO			
DISEÑO CAD		RESULTADO	

8.7.2 Doble de chapa. Para la fabricación del cajón superior, se empleó una chapa metálica a la cual se le realizaron los recortes y dobleces necesarios mediante herramientas de conformado, con el fin de obtener la geometría requerida y asegurar un ajuste adecuado de las piezas. Este cajón cumple la función de alojar los instrumentos de medición y proteger parte del sistema eléctrico del banco.

Una vez conformada la estructura del cajón, se procedió a realizar las perforaciones correspondientes para la instalación de los medidores, así como la apertura del orificio destinado al paso del eje del motor, permitiendo su correcta alineación con el sistema de transmisión del banco de pruebas.

Adicionalmente, en la parte posterior del cajón se realizaron ranuras de ventilación, cuya finalidad es facilitar la circulación de aire dentro del compartimiento del motor. Estas aberturas contribuyen a mejorar la disipación de calor durante la operación del equipo, ayudando a prevenir posibles sobrecalentamientos del motor y favoreciendo un funcionamiento más seguro del sistema.

Tabla 11. Fabricación de la estructura con chapas metálicas.

NOMBRE	Cajón Superior	MATERIAL	Acero galvanizado
OPERACIÓN	DETALLE		
Corte	Cortado de las láminas según dimensiones en los planos		
Doblado	Dobles de la lámina según las dimensiones en el plano		
Corte de agujeros	Corte de los agujeros para cada componente y salida de eje		
PLANO			
DISEÑO CAD	RESULTADO		

8.7.3 Ensamblaje eléctrico. Se realizaron las conexiones eléctricas entre el variador de frecuencia y el motor trifásico, garantizando una correcta alimentación y control de velocidad del sistema. Asimismo, se integró el sistema de medición compuesto por la batería de 12 V, el indicador de voltaje y amperaje y el osciloscopio, permitiendo el monitoreo de las variables eléctricas durante las pruebas del alternador.

Además, se dispusieron conexiones adecuadas y de fácil acceso que permiten la instalación y retiro rápido de los alternadores a evaluar, considerando que estos se reemplazan constantemente durante el proceso de pruebas. Esto garantiza agilidad operativa, correcta polaridad en las conexiones y seguridad en el procedimiento de los ensayos.

Tabla 12. Conexiones eléctricas del alternador.

NOMBRE	Conexión de todo el sistema eléctrico
OPERACIÓN	DETALLE
Conexiones	Sistema de conexiones eléctrico motor a variador; testigos, voltímetro y osciloscopio a bornes
PLANO	
RESULTADO	

8.8 PROCESO DE ENSAMBLAJE

El ensamble para el prototipo se realizó siguiendo los diseños establecidos, integrando cada uno de los subsistemas de manera efectiva.

8.8.1 Montaje de la estructura mecánica. Se integró el cajón superior a la base estructural, verificando la correcta ubicación de los puntos de anclaje para los componentes eléctricos y de medición. Además, se revisó la nivelación y estabilidad del conjunto, con el propósito de reducir vibraciones durante la operación del banco de pruebas.

En la parte inferior de la estructura se instalaron ruedas de soporte tipo industrial, con el objetivo de mejorar la movilidad del equipo dentro del área de trabajo. Estas ruedas cuentan con sistema de freno, lo que permite inmovilizar el banco cuando se encuentra en operación, evitando desplazamientos involuntarios y aportando mayor seguridad durante las pruebas (ver figura 52).

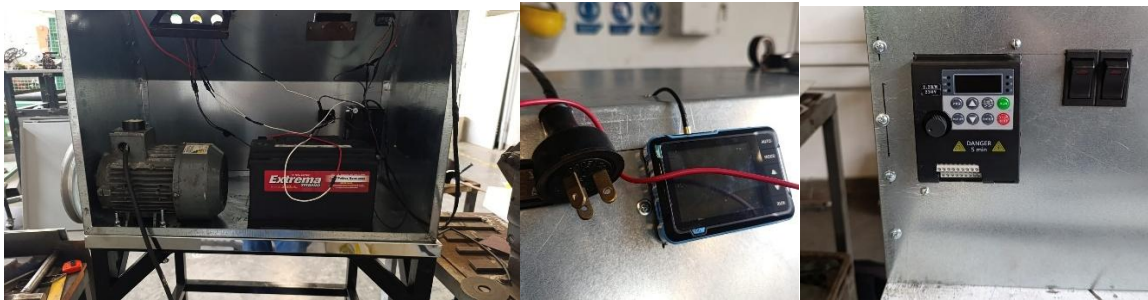
Figura 52. Montaje de los sistemas estructurales y de movilización.



8.8.2 Montaje de sistemas eléctricos. Se procedió a la instalación y conexión de los sensores del banco (osciloscopio, voltímetro, amperímetro y testigos led) en el panel frontal del cajón superior, ubicándolos en las perforaciones previamente realizadas en la etapa de fabricación.

Posteriormente, se llevó a cabo la instalación y conexión del motor eléctrico dentro de la estructura, fijándolo a la base mediante los puntos de anclaje diseñados para tal fin, con el objetivo de asegurar una correcta sujeción y alineación con el sistema de transmisión y por último la integración del variador de velocidad, dispositivo que permite regular la velocidad de giro del motor eléctrico y, por consiguiente, controlar las revoluciones a las que opera el alternador durante el proceso de diagnóstico (ver figura 53).

Figura 53. Montaje del sistema eléctrico y control.



8.9 PRUEBAS FUNCIONALES

Con el banco de pruebas completamente ensamblado, se realizaron diferentes ensayos operativos con el propósito de verificar el correcto funcionamiento de los sistemas mecánico, eléctrico e instrumental, así como validar que el equipo cumpliera con los criterios de diseño establecidos. Las pruebas se desarrollaron utilizando un alternador de 12 V en óptimas condiciones operativas, con el fin de garantizar seguridad, confiabilidad en las mediciones y repetibilidad de los resultados.

8.9.1 Validación del sistema eléctrico e instrumentación. Durante la puesta en marcha del banco se comprobó el funcionamiento adecuado de los instrumentos instalados, entre ellos voltímetro, amperímetro, osciloscopio y testigo de consumo. El voltímetro registró valores de salida acordes con el comportamiento esperado de un alternador en buen estado, alcanzando tensiones cercanas a 14,1 V, valor consistente con los rangos reportados en bibliografía técnica para sistemas de carga automotriz de 12 V.

El amperímetro permitió visualizar la entrega de corriente bajo distintas condiciones de carga, mientras que el testigo de consumo respondió correctamente ante incrementos de demanda eléctrica, evidenciando disminuciones momentáneas de tensión y comportamiento dinámico normal del sistema.

El osciloscopio mostró señales estables y formas de onda coherentes con la operación del alternador, permitiendo incluso detectar variaciones de voltaje desde condiciones iniciales previas al arranque total del banco. Lo anterior confirma la utilidad del equipo como herramienta de diagnóstico avanzado para la evaluación del estado interno del alternador.

8.9.2 Pruebas del sistema de accionamiento. El variador de frecuencia presentó un desempeño satisfactorio durante todas las pruebas, permitiendo regular de manera progresiva la velocidad del motor eléctrico y facilitando la simulación de diferentes condiciones de operación. El motor respondió de forma estable, sin sobrecalentamientos, ruidos anormales ni pérdidas apreciables de torque.

El sistema de transmisión compuesto por poleas y correa operó correctamente, manteniendo sincronismo entre el motor y el alternador. No se evidenciaron deslizamientos, desgaste prematuro ni desviaciones durante los ensayos.

8.9.3 Evaluación estructural y comportamiento mecánico. La estructura metálica del banco mostró un comportamiento robusto y estable durante la operación. Las vibraciones observadas fueron prácticamente nulas, lo cual evidencia una adecuada alineación de ejes, correcta distribución de masas y rigidez suficiente del bastidor.

Asimismo, las uniones soldadas, soportes y elementos de fijación mantuvieron su integridad durante las pruebas, confirmando la capacidad del conjunto para resistir las cargas estáticas y dinámicas generadas durante el funcionamiento del equipo.

8.9.4 Pruebas eléctricas. Para realizar las pruebas eléctricas del alternador, se realizaron en el banco de pruebas previamente construido, con el propósito de evaluar su comportamiento bajo diferentes condiciones de operación (ver figura 54).

Figura 54. Tableros de medida.



Una vez realizado el montaje del alternador y sus respectivas conexiones, se energiza el sistema, con el alternador en reposo se observa que el bombillo correspondiente al testigo del tablero encendiera correctamente, indicando la circulación de corriente hacia el rotor. De esta manera se confirma que el circuito de excitación estaba correctamente alimentado.

Luego se procede a accionar el alternador mediante el motor acoplado, aumentando la velocidad de giro de manera progresiva. Se observa el comportamiento del testigo y la

estabilidad mecánica del sistema. Se verifica que, al alcanzar la velocidad adecuada, el testigo disminuye su intensidad o se apaga, indicando el inicio de la generación eléctrica (ver figura 55).

Figura 55. Conexiones del montaje.



Una vez se pone en funcionamiento el banco de pruebas, se realizó la medición de voltaje en la terminal de salida. Una vez tomadas las lecturas en diferentes velocidades de giro, verificando la estabilización del voltaje dentro del rango de operación esperado (ver figura 56).

Figura 56. Resultados.



Observando la figura 56, se puede apreciar un voltaje constante de 14.1 V, esto comprobado con el osciloscopio, que nos muestra que el voltaje es constante, sin

importar la velocidad del motor. Durante las pruebas realizadas se obtuvieron datos de voltaje, el comportamiento del testigo y la respuesta del sistema de carga. Estos datos permitieron analizar el desempeño del alternador y detectar posibles fallas. Los datos obtenidos durante las pruebas fueron comparados con los valores de referencia establecidos en normativas técnicas, ver tabla de resultados

8.9.3 Resultados.

Tabla 13. Resultados de operación.

FUNCIONAMIENTO A BAJAS REVOLUCIONES	
Sistema estructural	El banco de pruebas acciona el alternador mostrando estabilidad en el alternador bueno y en alternadores defectuosos, en uno de los defectuosos se muestran vibraciones en modelos que incluye bomba de aceite defectuosa.
Sistema eléctrico	En alternadores que generan carga se muestran valores de 13,7 V a 14,2V cumpliendo con la normativa de BOSCH.
FUNCIONAMIENTO A MAXIMAS REVOLUCIONES	
Sistema estructural	El sistema sigue presentando estabilidad a altas revoluciones, sin importar si el alternador esta bueno o presenta defectos. No hay presencia de exceso de ruido mientras el equipo está en operación.
Sistema eléctrico	El sistema muestra valores de 14,0V, los cuales son correspondientes con BOSCH, mientras que los alternadores defectuosos no presentan ningún valor, solo

	el voltaje presente en la batería. Los datos que nos permite tomar el osciloscopio son correctos con la literatura, como la estabilidad de la corriente.
--	--

Como se observa en la tabla 13, el comportamiento del banco y de los instrumentos de medición. Los resultados fueron comparados con los valores de referencia establecidos por los manuales BOSCH¹⁷ para sistemas de carga automotriz, evidenciando que el alternador está en buen estado y cumple con los parámetros eléctricos requeridos, mientras que el alternador defectuoso presenta daños significativos y desviaciones en el voltaje y la calidad de la señal. Los valores establecidos por los manuales y los obtenidos por el banco de pruebas se observan en la tabla 14.

Tabla 14. Comparación con BOSCH

Parámetro	Bosch	Alternador Bueno	Alternador Defectuoso
Voltaje mínimo rpm	13.5 – 14.8 V	13.8 V	12.6 – 12.8 V
Voltaje altas rpm	13.8 – 14.8 V	14.0 V	Inestable
Rizado	< 0.5 V	0.01 – 0.50 V	Alto / distorsionado
Forma de onda	DC estable	Correcta	Distorsionada

¹⁷ BOSCH. Bosch Automotive Handbook. 10. ed. Hoboken (NJ, USA): Wiley, 2018.

9. ANÁLISIS ECONÓMICO

En este capítulo se desarrollará el análisis de viabilidad económica y financiera del banco de pruebas para alternadores de 12 voltios, diseñado con el propósito de optimizar los procesos de diagnóstico en sistemas eléctricos automotrices, reducir tiempos de evaluación y mejorar la confiabilidad de los resultados. Se estimarán los costos asociados a la inversión inicial, los costos de operación y los beneficios potenciales derivados de su implementación en talleres del área metropolitana de Bucaramanga, considerando su aplicación en un entorno real de mantenimiento automotriz.

Actualmente, muchos talleres realizan la verificación de alternadores directamente en el vehículo o mediante pruebas básicas con instrumentos convencionales, sin contar con un banco de pruebas especializado. Dado que estas prácticas forman parte de su operación habitual y no requieren una inversión adicional en equipos específicos, el análisis económico se enfocará en determinar si la implementación del banco de pruebas representa una alternativa técnicamente superior y financieramente justificable frente a los métodos tradicionales empleados en el contexto local.

9.1 ANÁLISIS DE COSTOS

Para la evaluación económica del banco de pruebas se realizó un análisis detallado de los costos asociados a su diseño y construcción. En la Tabla 15 se presenta el presupuesto total del proyecto, el cual se encuentra dividido en tres categorías principales: materiales, mano de obra y costos adicionales correspondientes a papelería y transporte.

En la sección de materiales se incluyen todos los componentes necesarios para la fabricación y funcionamiento del banco de pruebas, tales como instrumentos de

medición, elementos eléctricos, sistema de transmisión, estructura metálica y equipos principales como el motor y el variador de frecuencia. Esta categoría representa la mayor parte de la inversión, dado que agrupa los elementos fundamentales para la operación del sistema.

A partir de este análisis, se obtiene un costo total de inversión de 6.049.300 COP, valor que será tomado como base para el desarrollo del análisis financiero del proyecto, incluyendo el cálculo de indicadores como el Valor Presente Neto (VPN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el periodo de recuperación de la inversión.

Tabla 15. Desglose de inversión inicial

PRESUPUESTO		
MATERIALES	Voltmetro	\$ 40,000
	Ampermetro	\$ 40,000
	Osiloscopio	\$ 1,300,000
	Luz de pruebas	\$ 15,000
	Cable [m]	\$ 2,300
	Cinta aislante	\$ 26,000
	Termoencogible	\$ 12,000
	Terminal de enchufe	\$ 10,000
	Fusibles	\$ 3,000
	Lamina	\$ 285,000
	Perfiles	\$ 150,000
	Tornillos	\$ 30,000
	Motor	\$ 1,000,000
	Poleas	\$ 180,000
	Correa	\$ 80,000
	Variador de frecuencia	\$ 1,000,000
SUBTOTAL		\$ 4,173,300
MANO DE OBRA	Horas de trabajo	\$ 320,000
	Consultorias	\$ 800,000
	Soldador	\$ 100,000
	Servicio de doblado	\$ 250,000
	Recurso computacional	\$ 350,000
SUBTOTAL		\$ 1,820,000
PAPELERIA	Impresiones	\$ 6,000
TRANSPORTES	Pasajes	\$ 50,000
TOTAL		\$ 6,049,300

9.2 VALOR PRESENTE NETO

Para la evaluación económica del proyecto se emplea el método del Valor Presente Neto (VPN), el cual permite determinar la viabilidad financiera del banco de pruebas considerando los flujos de caja generados durante su operación.

El cálculo se realiza a partir de ingresos y egresos periódicos mensuales, empleando la expresión correspondiente al valor presente de una renta uniforme. En este caso, se consideran como ingresos los valores generados por la prestación del servicio de diagnóstico de alternadores, mientras que los egresos corresponden a los costos de mantenimiento del sistema.

Como variables de entrada se establece un ingreso mensual de 420.000 COP, un costo mensual de 100.000 COP de egreso de mantenimiento, una tasa de interés del 0,892 % mensual, equivalente a una tasa anual del 11,25 %, tomada como referencia del sistema financiero colombiano reportada por el Banco de la República¹⁸, y un periodo de evaluación de 24 meses.

Tabla 16. Cálculo del valor presente Neto

Cálculo de VPN			
$P = A \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right]$			
Variables de entrada			
Ag	100,000	\$	Gasto periódico mensual
Aa	420,000	\$	Ahorro periódico mensual
i	0,893	%	Tasa de interés mensual
n	24	Meses	Periodo de evaluación
Resultado			
Pg	-2,151,644	\$	Valor presente gastos
Pa	9,036,904	\$	Valor presente ahorro
VPN	835,960	\$	Valor presente neto

¹⁸ BANCO DE LA REPÚBLICA. Tasa de interés de política monetaria [en línea]. Bogotá: Banco de la República, 2026. Disponible en: <https://www.banrep.gov.co/es>. Consultado: 14 de abril de 2026.

Aplicando el factor de valor presente, se obtiene un valor presente de los ingresos de aproximadamente 9.036.904 COP y un valor presente de los egresos de -2.151.644 COP. Considerando la inversión inicial de 6.049.300 COP, el Valor Presente Neto del proyecto es:

VPN = 835.960 COP

Este resultado indica que el proyecto es económicamente viable, ya que los beneficios generados durante el periodo de evaluación superan la inversión inicial requerida, incluso bajo un escenario conservador de operación.

9.3 TASA INTERNA DE RETORNO

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es un indicador financiero que permite evaluar la rentabilidad de un proyecto, definiéndose como la tasa de interés para la cual el Valor Presente Neto (VPN) es igual a cero.

Para su determinación, se consideran los flujos de caja generados durante el periodo de operación del banco de pruebas, tomando como valor inicial la inversión requerida para su construcción y como flujos positivos los ingresos netos obtenidos mensualmente por la prestación del servicio. El cálculo de la TIR se realiza mediante herramientas computacionales, debido a que su obtención implica resolver una ecuación de grado superior. Para el presente proyecto, se empleó una hoja de cálculo en la cual se ingresaron los flujos de caja correspondientes a un periodo de 24 meses.

Tabla 17. Cálculo de TIR

Calculo TIR			
$TIR = \sum_{T=0}^n \frac{Fn}{(1+i)^n} = 0$			
Variables de entrada			
<i>n</i>	2	años	Periodo de evaluación
<i>i</i>	11,25	%	Tasa de interés EA
<i>fn</i>	3,840,000	\$	Flujo de caja anual
Resultado			
<i>TIR</i>	26.9	%	<i>TIR</i>

A partir de estos datos, se obtiene una Tasa Interna de Retorno aproximada de:

TIR = 2 % mensual

lo que equivale a una tasa efectiva anual cercana al 26.9 %.

Este valor es superior a la tasa de descuento utilizada en el análisis económico (11,25 % anual), lo que indica que el proyecto no solo recupera la inversión inicial, sino que genera una rentabilidad adicional. En consecuencia, el banco de pruebas se considera económicamente viable bajo las condiciones evaluadas.

9.4 PERIODO DE RECUPERACIÓN

El periodo de recuperación de la inversión corresponde al tiempo requerido para que los flujos de caja generados por el proyecto permitan recuperar el capital inicial invertido, sin considerar el valor del dinero en el tiempo.

Tabla 18. Cálculo de Payback.

Cálculo de Payback			
$Payback = a + (i0 - b) / Ft$			
Variables de entrada			
i0	6,049,300	\$	Inversión Inicial
a	1		Periodo de evaluación
b	3,840,000	\$	Flujo de caja en a
Ft	3,840,000	\$	Flujo de caja anual
Resultado			
Pb	1.58	Años	Periodo de Payback

A partir de estos valores, el periodo de recuperación se calcula como la relación entre la inversión inicial y el flujo neto mensual, obteniendo:

$$PR = 18.9 \text{ meses}$$

Es decir, la inversión se recupera aproximadamente en 19 meses, lo cual indica que el proyecto presenta un tiempo de retorno relativamente corto dentro del periodo de evaluación establecido. El proyecto resulta económicamente viable y rentable, con recuperación de la inversión en un plazo moderado.

9.5 COSTOS DEL PROTOTIPO

Se dan a conocer los costos de los materiales y servicios usados para la fabricación del prototipo. Dentro de esos materiales y servicios se puede destacar el motor, la batería, el variador de frecuencia, el osciloscopio y el voltímetro, los cuáles son los materiales más destacados para el funcionamiento del banco de pruebas, estos implementos fueron seleccionados con el fin de asemejar en lo más posible al diseño final, para dar la mayor capacidad del prototipo.

Tabla 19. Costos de prototipo

Material	Unidad	Cantidad	Total
Perfiles	\$ 45.000	2	\$ 90.000
Polea	\$ 65.000	1	\$ 65.000
Bombillo	\$ 18.200	1	\$ 18.200
Cable	\$ 2.500	2	\$ 5.000
Toma	\$ 7.500	1	\$ 7.500
cable	\$ 2.700	2	\$ 5.400
Taco	\$ 15.000	1	\$ 15.000
Soldadura	\$ 22.000	1	\$ 22.000
Disco de corte	\$ 5.000	3	\$ 15.000
Envio	\$ 23.000	1	\$ 23.000
Lamina	\$ 110.000	1	\$ 110.000
Soldadura [lb]	\$ 13.000	1	\$ 13.000
Terminales de enchufe	\$ 350	12	\$ 4.200
Termo encogible [m]	\$ 1.000	1	\$ 1.000
LLantas	\$ 25.000	4	\$ 100.000
Bombillo y cable	\$ 22.700	1	\$ 22.700
Tornillos	\$ 1.075	16	\$ 17.200
Terminales de enchufe	\$ 4.000	2	\$ 8.000
Carboflax n°80	\$ 350	12	\$ 4.200
Lamina+ Trabajo	\$ 300.000	1	\$ 300.000
Soket H7	\$ 6.000	3	\$ 18.000
Interruptores	\$ 15.000	2	\$ 30.000
Terminales de enchufe	\$ 4.000	2	\$ 8.000
Termoencogible	\$ 1.000	10	\$ 10.000
Tornillos	\$ 3.000	1	\$ 3.000
Pintura	\$ 30.000	1	\$ 30.000
Thiner	\$ 15.000	1	\$ 15.000
Cable	\$ 30.000	1	\$ 30.000
Bombilla+soket	\$ 10.000	1	\$ 10.000
Pinzas	\$ 10.000	1	\$ 10.000
Terminales	\$ 3.000	1	\$ 3.000
Tautoperforantes	\$ 5.000	1	\$ 5.000
Motor	\$ 1.200.000	1	\$ 1.200.000
Variador de frecuencia	\$ 320.000	1	\$ 320.000
Voltimetro - Amperimetro	\$ 40.000	1	\$ 40.000
Correa	\$ 41.000	1	\$ 41.000
Osciloscopio Digital	\$ 250.000	1	\$ 250.000
Bateria	\$ 400.000	1	\$ 400.000
Total			\$ 3.269.400

El costo total del prototipo fue de \$3.266.840 (COP) el cuál fue asumido por los integrantes de este proyecto en su totalidad.

10. CONCLUSIONES

- Se diseñó y construyó exitosamente un prototipo funcional de banco de pruebas para alternadores de 12 voltios, capaz de evaluar el desempeño de estas máquinas eléctricas fuera del vehículo mediante la medición de variables operativas como voltaje, corriente y velocidad de giro. La integración de los sistemas mecánico, eléctrico y estructural permitió obtener un equipo confiable, seguro y adaptable a condiciones reales de trabajo, constituyéndose en una solución técnica orientada al diagnóstico eficiente de alternadores automotrices.
- La selección de los componentes principales del sistema, tales como el motor eléctrico de 2 HP, el conjunto de transmisión por poleas y correa, la estructura metálica y los instrumentos de medición, demostró ser adecuada para las exigencias operativas del banco de pruebas. El modelado previo en software CAD y el proceso de fabricación desarrollado permitieron optimizar el montaje, garantizar estabilidad mecánica y asegurar condiciones apropiadas de funcionamiento durante las pruebas realizadas.
- El análisis económico evidenció la factibilidad financiera del proyecto, al obtenerse indicadores favorables como un Valor Presente Neto positivo, una Tasa Interna de Retorno superior a la tasa de referencia y un periodo de recuperación de la inversión competitivo. En consecuencia, el banco de pruebas representa una alternativa viable para talleres automotrices e instituciones de formación técnica, al mejorar los procesos de diagnóstico, reducir tiempos de servicio y aportar valor tecnológico al sector de mantenimiento eléctrico vehicular.

BIBLIOGRAFÍAS

BANCO DE LA REPÚBLICA. Tasa de interés de política monetaria [en línea]. Bogotá: Banco de la República, 2026. Disponible en: <https://www.banrep.gov.co/es>. Consultado: 14 de abril de 2026.

BOSCH. Bosch Automotive Handbook. 10. ed. Hoboken (NJ, USA): Wiley, 2018.

CALSINA FLETA, Margarita. Sistemas de carga y arranque. Madrid: Macmillan Profesional, 2011. p. 205-223, 261-262.

COURSE HERO. Capitulo 02 Electiva 3 Parte E. [En línea]. [Consultado el 18 de enero de 2026]. Disponible en: <https://www.coursehero.com/file/65024160/Capitulo-02-Electiva-3-Parte-Eppt/>

DONALD. Exploring If a Bad Alternator Can Cause Engine Codes (Insights and Facts). EngineAnswers.com, 04 de junio de 2025. Disponible en: [Can a Bad Alternator Cause Engine Codes? Insights and Facts \[en línea\]](#).

ESTUDIOTECA. Funcionamiento y componentes esenciales de la batería del automóvil. [En línea]. [Consultado el 24 de enero de 2026]. Disponible en: <https://estudioteca.net/electronica/funcionamiento-y-componentes-esenciales-de-la-bateria-del-automovil/>

INTERMEC S.A.S. Poleas en V. [en línea]. Colombia: Intermec, s. f. [consultado: 20 feb. 2026]. Disponible en: <https://intermec.co>

RIZZONI, Giorgio. Principles and Applications of Electrical Engineering. 6. ed. New York (NY, USA): McGraw-Hill Education, 2015.

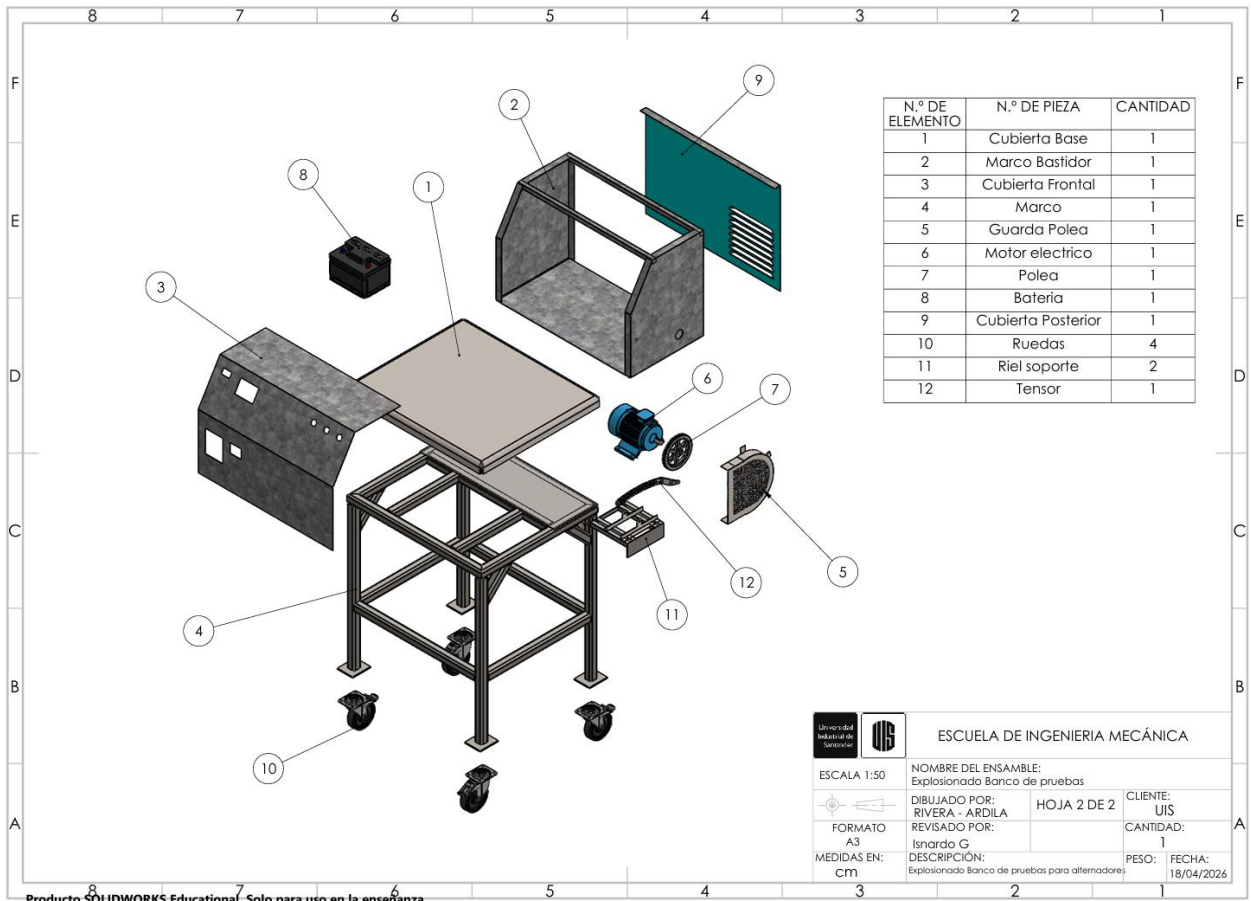
RELA, Agustín. Electricidad y electrónica. Buenos Aires: Ministerio de Educación, Instituto Nacional de Educación Tecnológica, 2010. Colección: Las ciencias naturales y la matemática. p. 50-51.

TENA SÁNCHEZ, José Guillermo. Sistemas de carga y arranque. En: Transporte y mantenimiento de vehículos, electromecánica de vehículos automóviles. Madrid: Paraninfo ciclos formativos, 2011. p. 302-317.

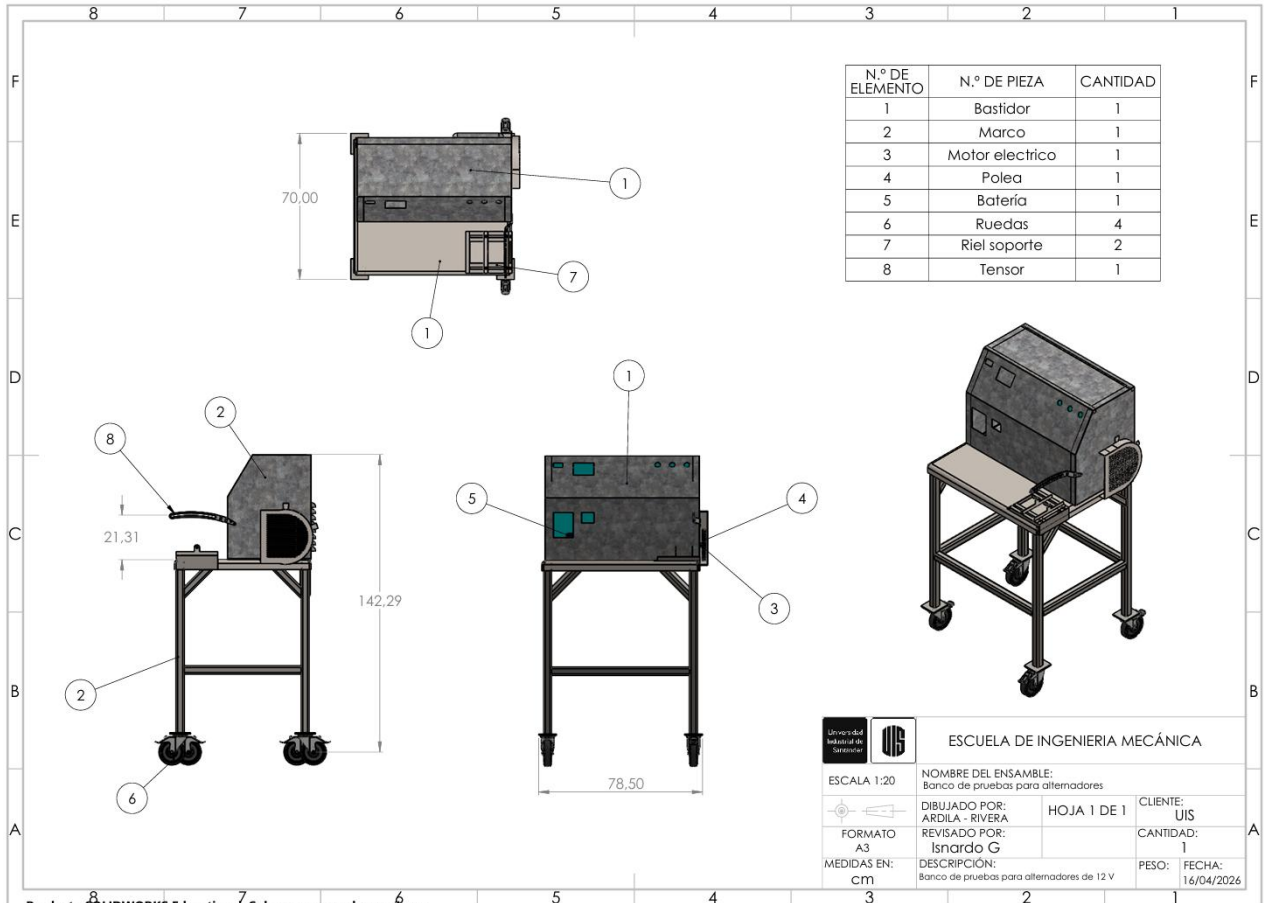
UCAR, Murat; BAYIR, Raif; ÖZER, Mahmut. Real time detection of alternator failures using intelligent control systems. En: 6th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO 2009), Bursa, Turquía, 5-8 de noviembre de 2009.

ANEXOS

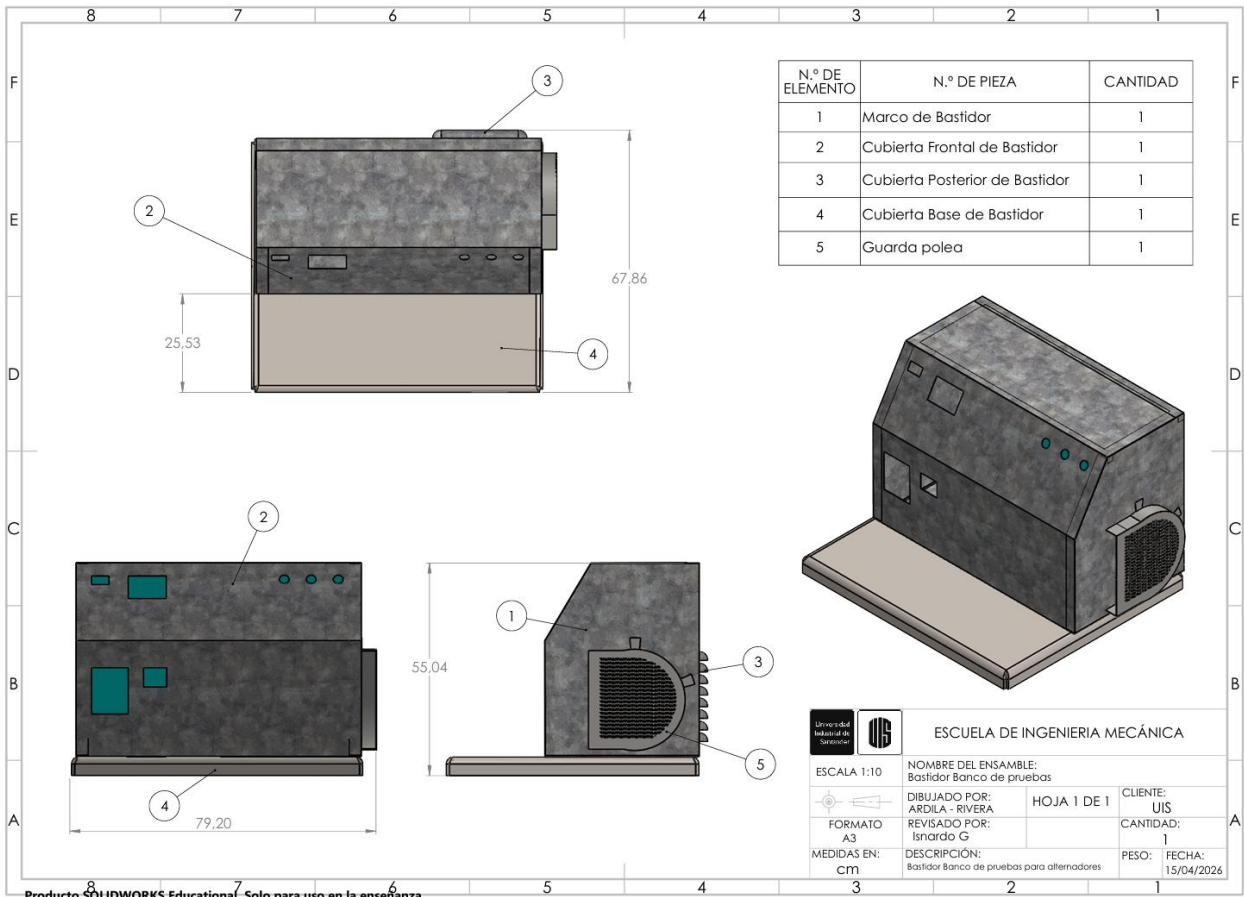
Anexo A. Plano explosionado banco de alternadores.



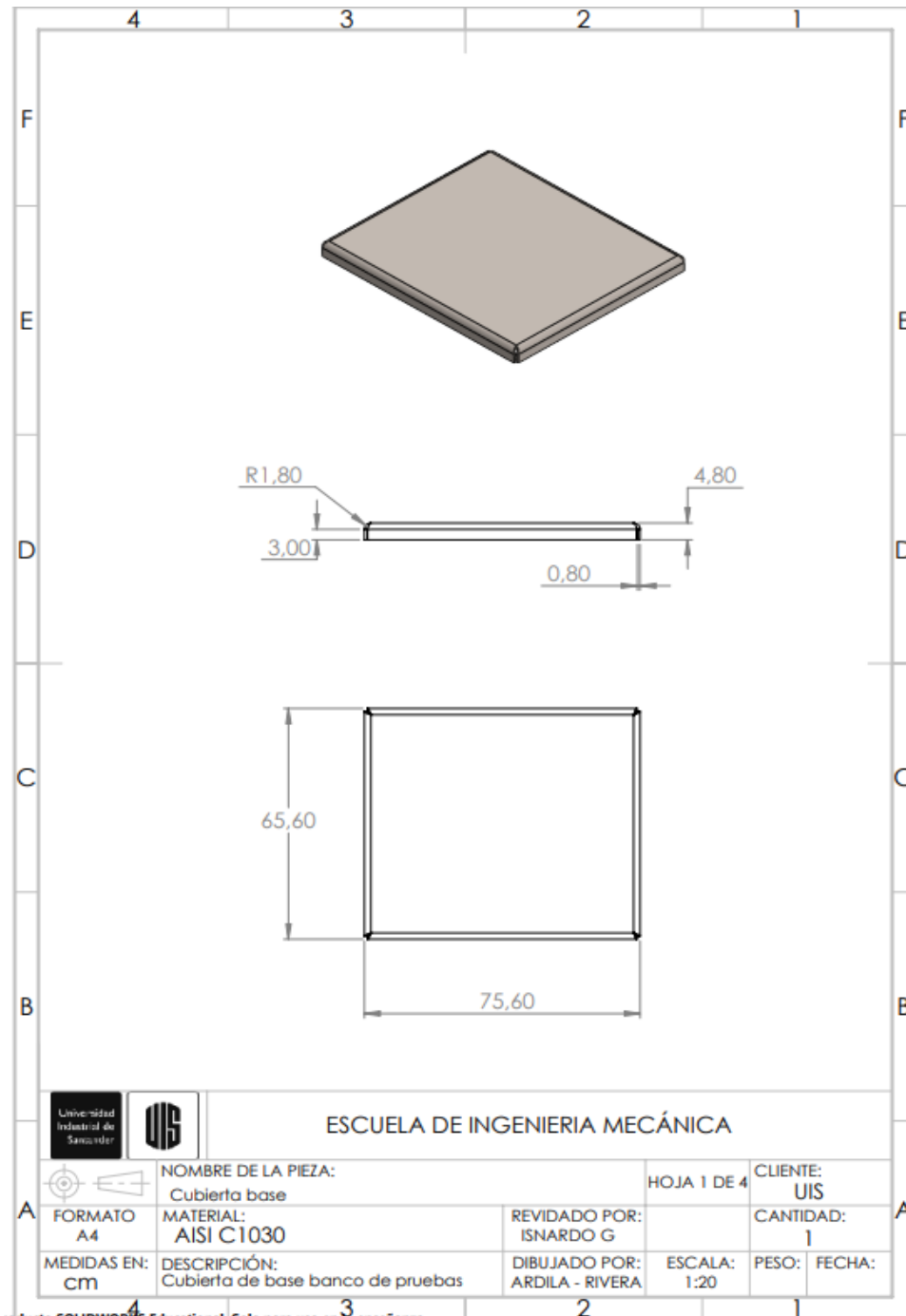
Anexo B. Plano Ensamble Banco de Alternadores.



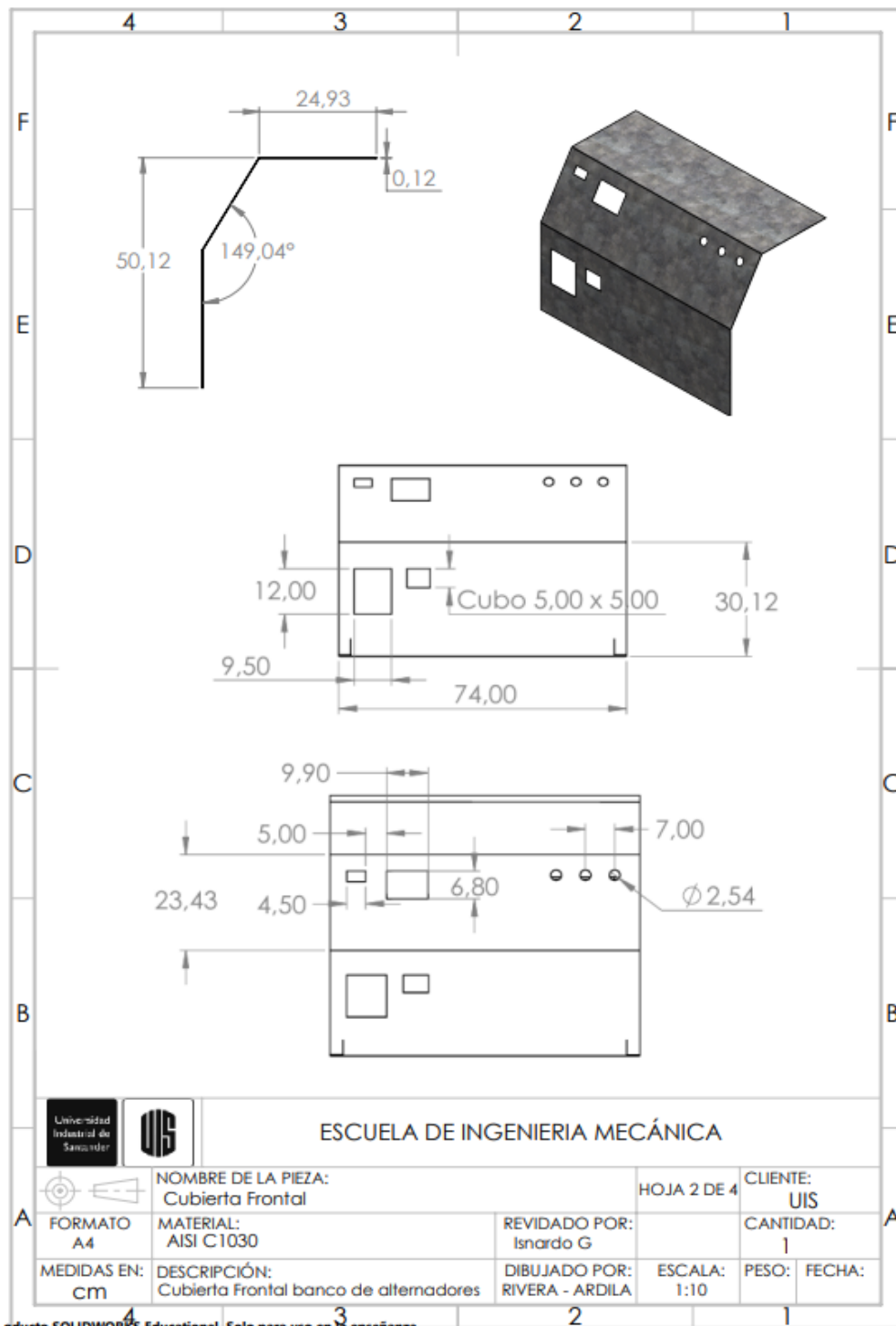
Anexo C. Plano Ensamble Bastidor



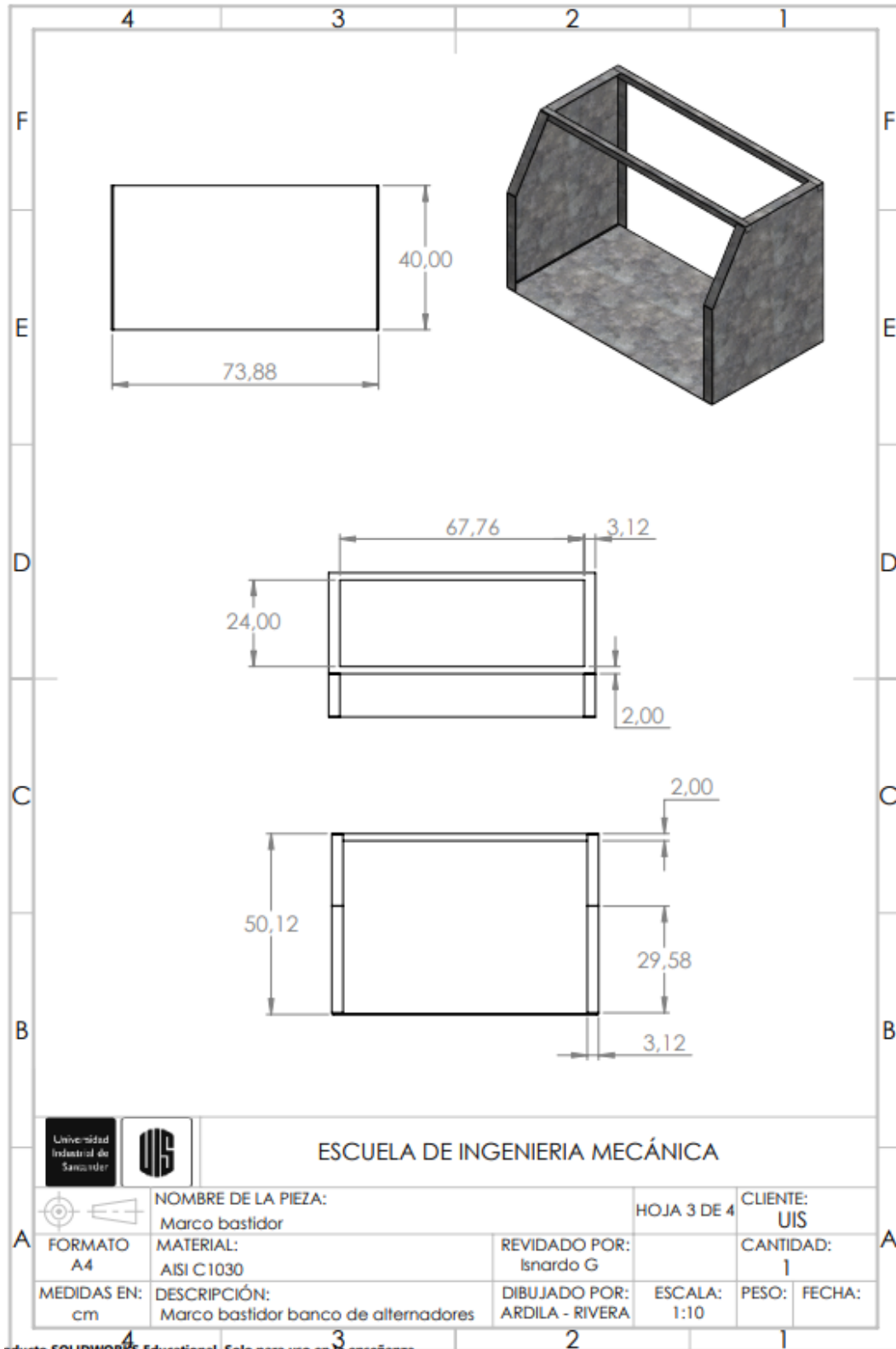
Anexo D. Plano Cubierta Base



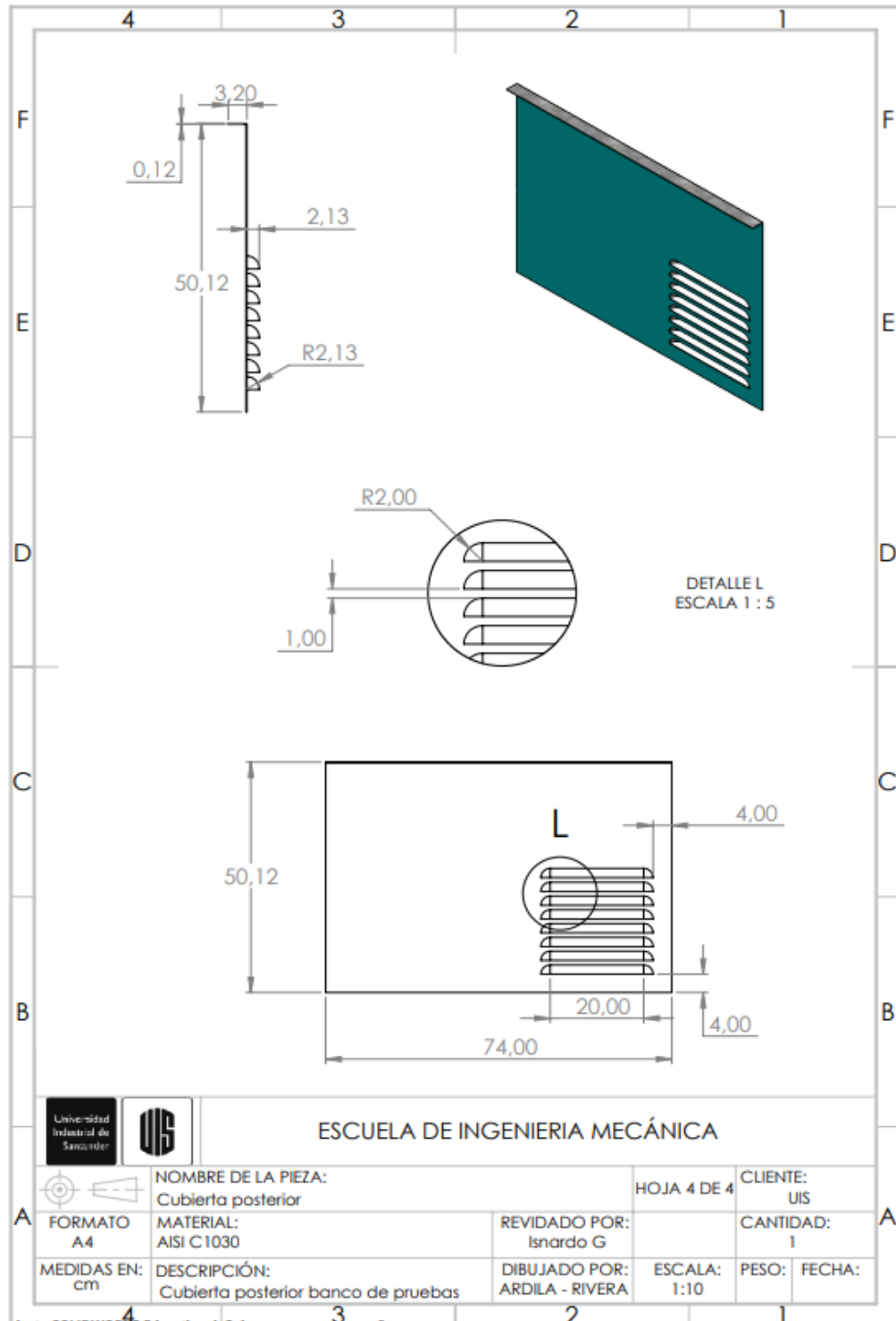
Anexo E. Plano Cubierta Frontal.



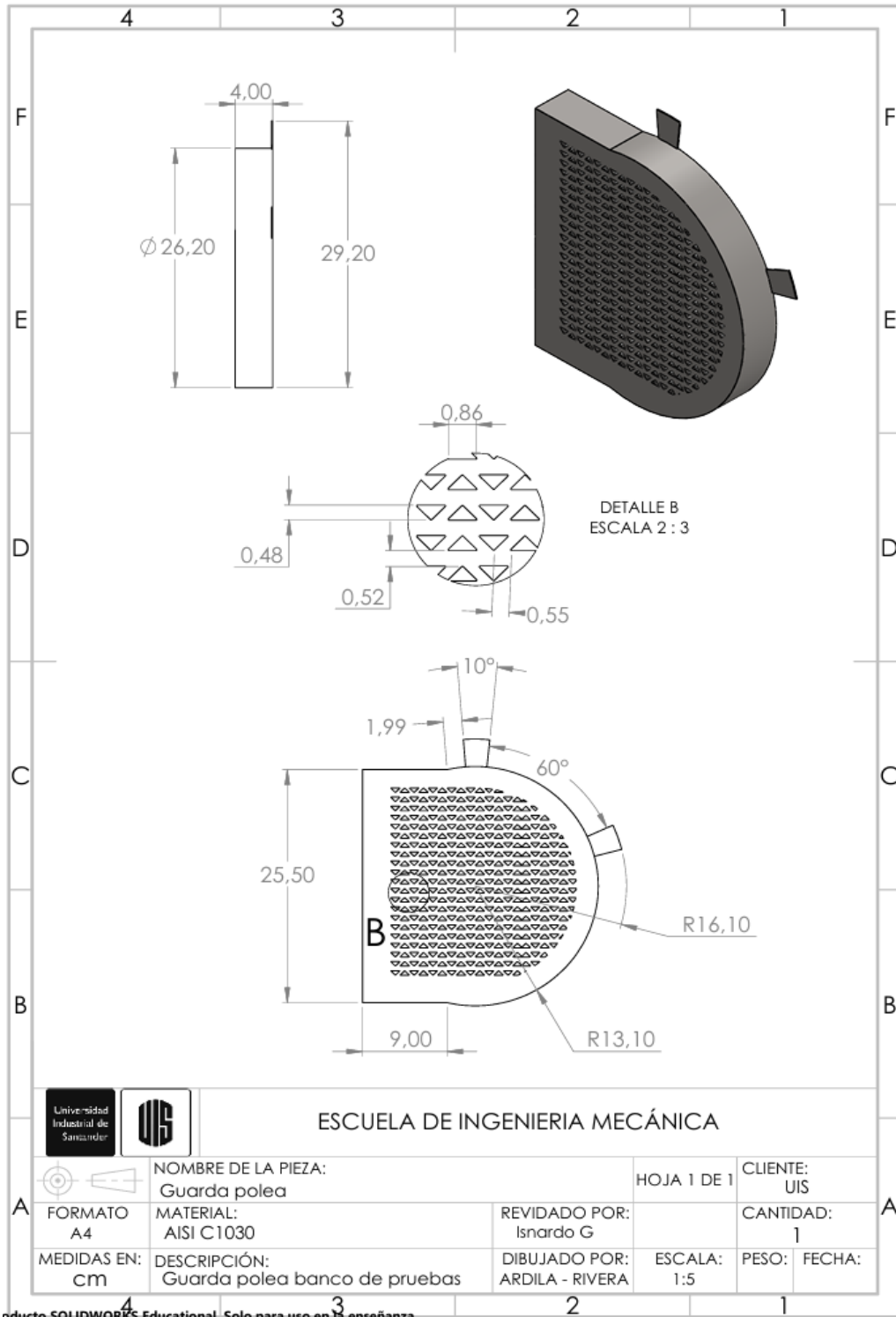
Anexo F. Plano Marco Bastidor



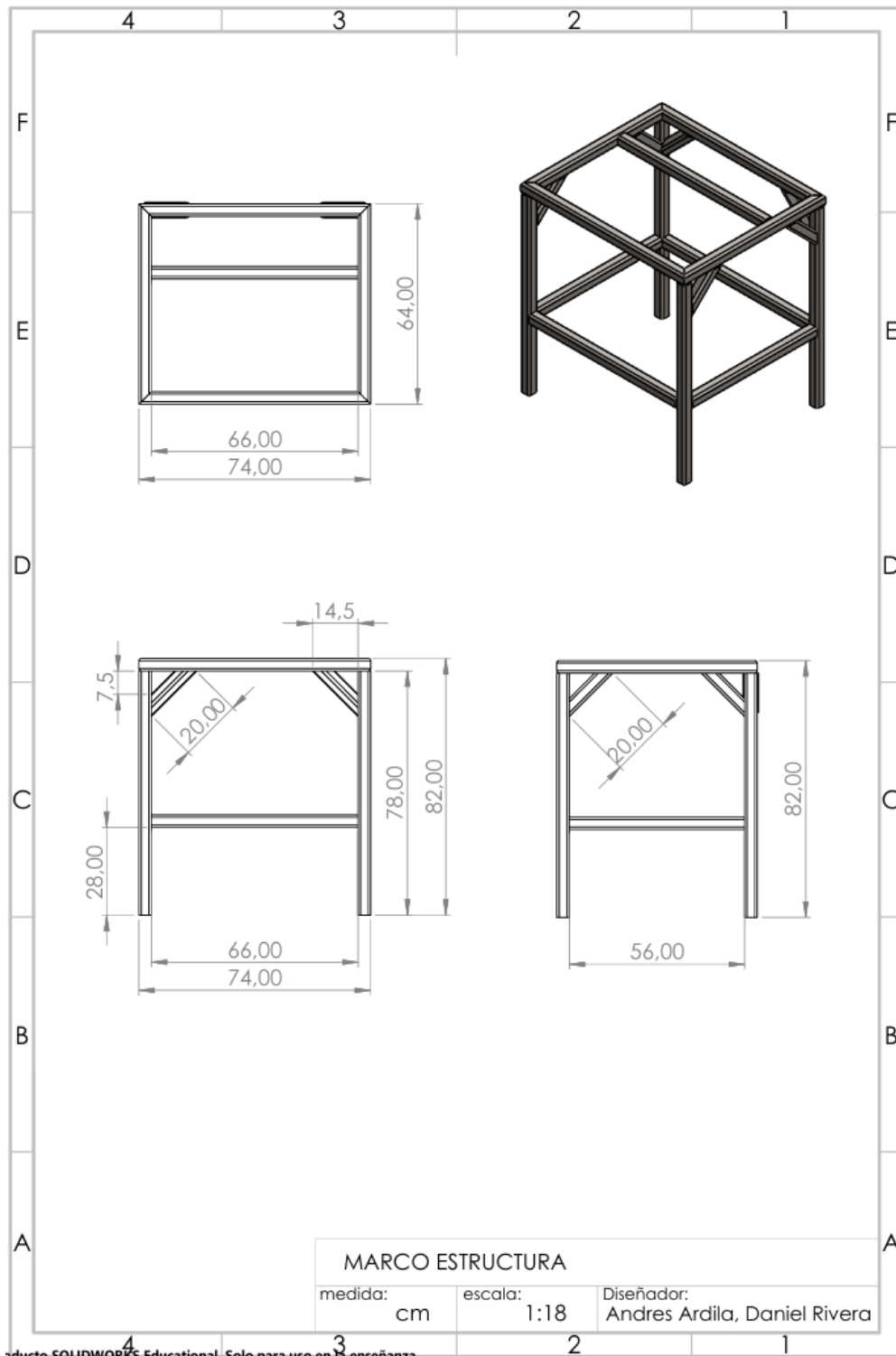
Anexo G. Cubierta Posterior.



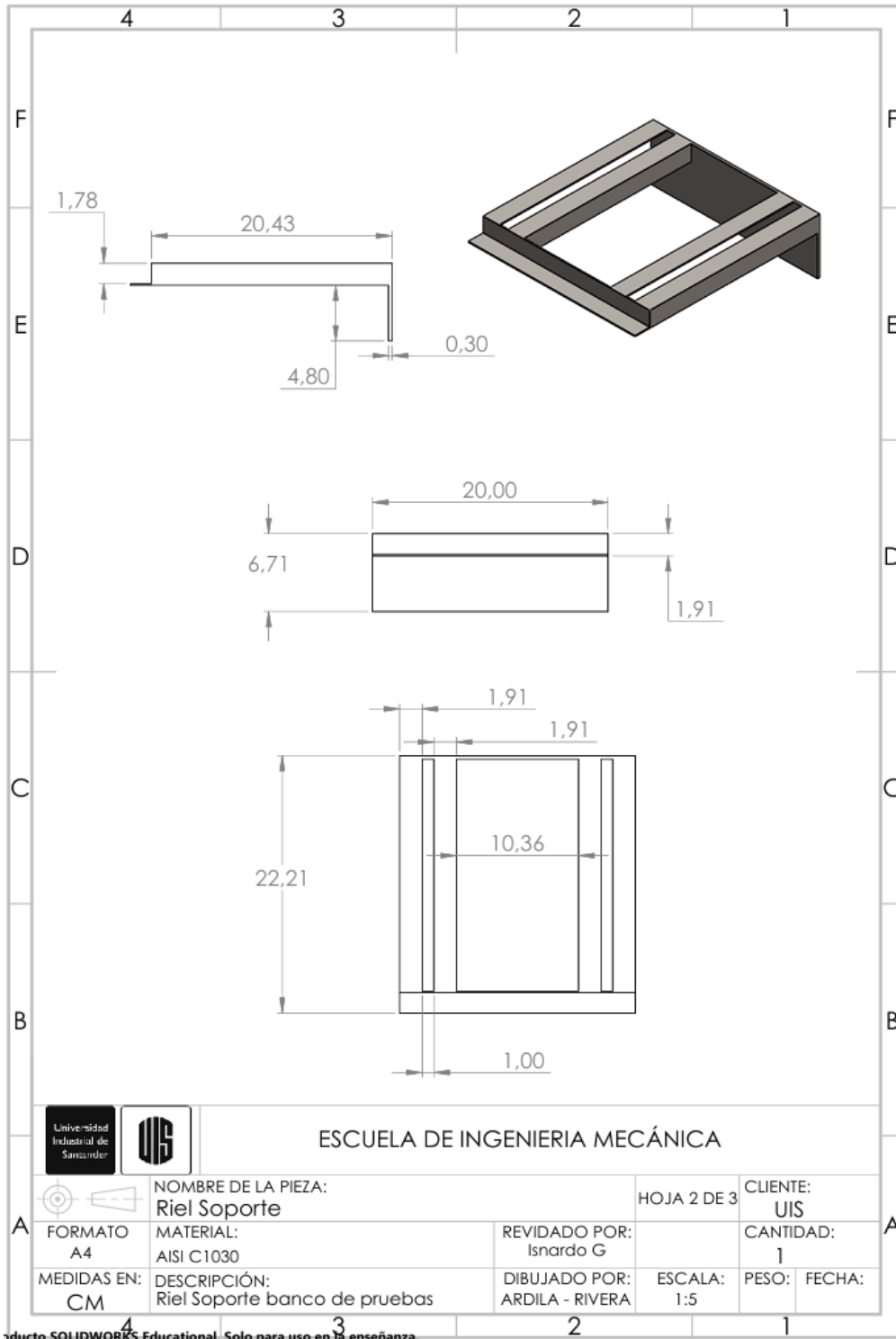
Anexo H. Plano Guarda Polea.



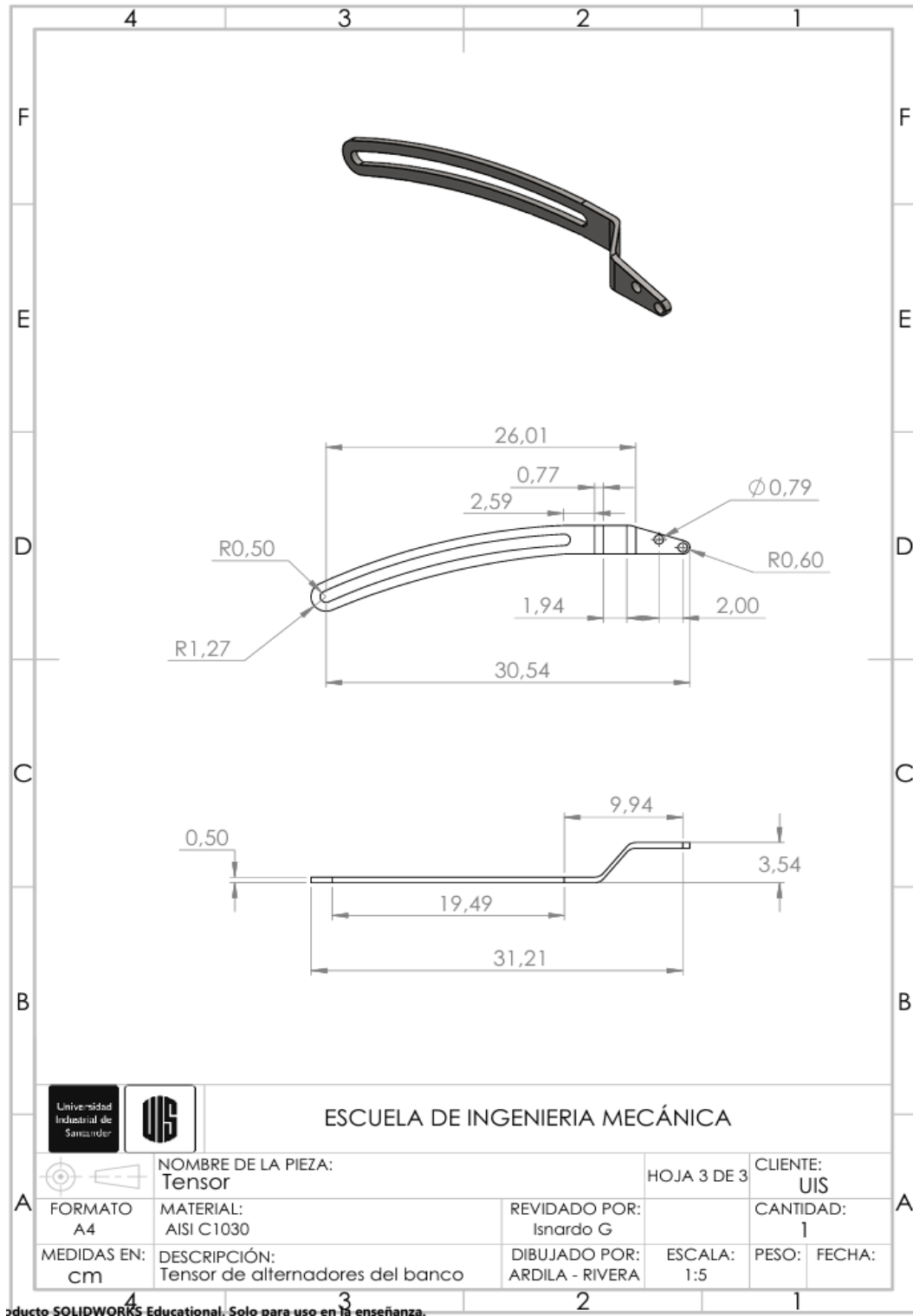
Anexo I. Plano Marco Base.



Anexo J. Plano Riel Soporte.

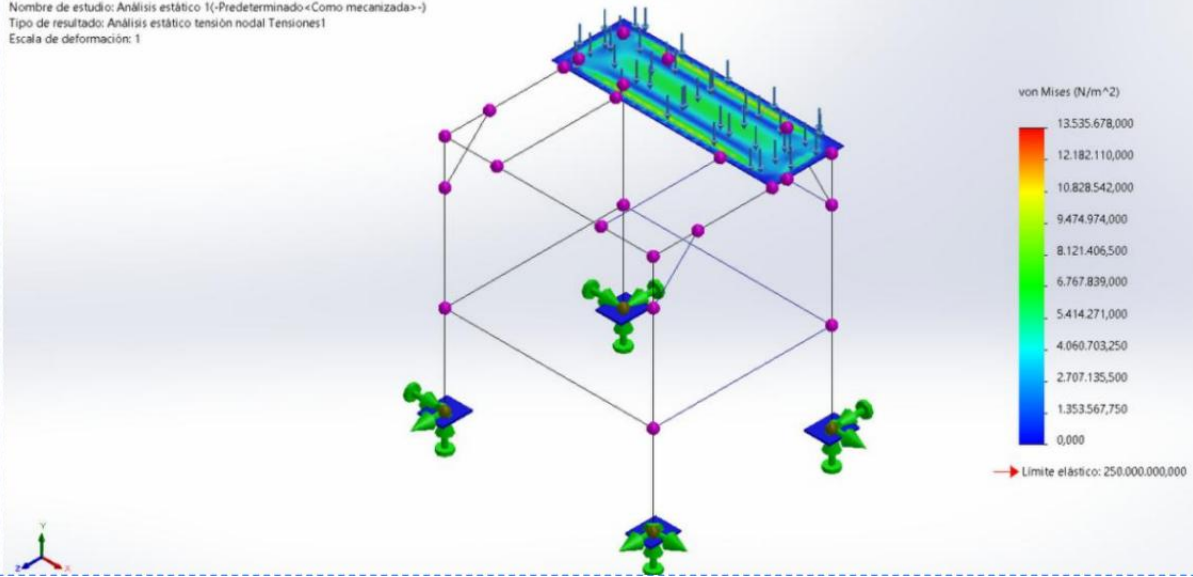


Anexo K. Plano Tensor.

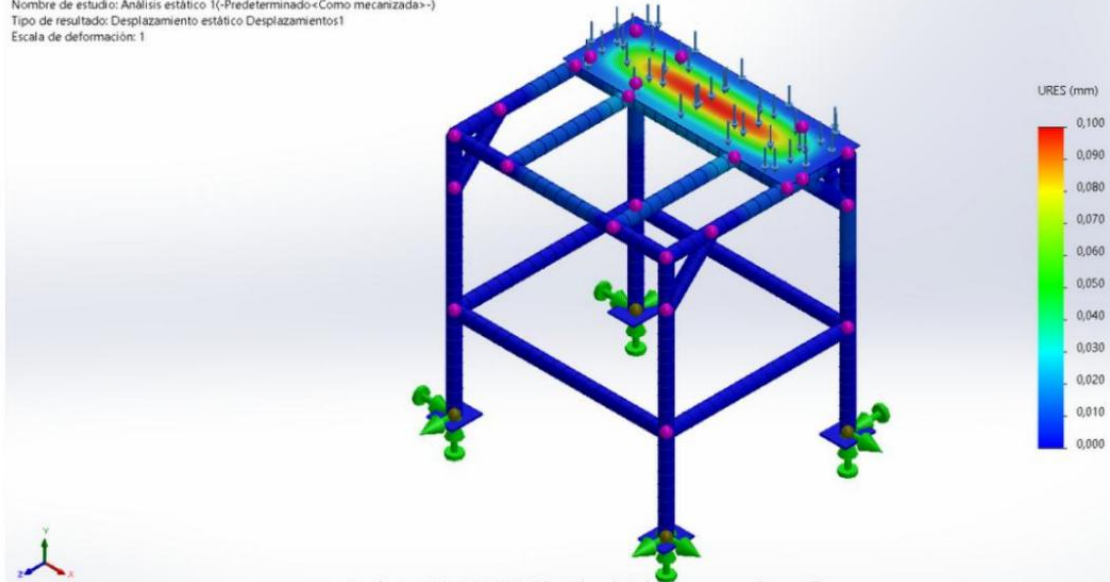


Anexo L . Análisis estático 1.

Nombre del modelo: Marco
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado<Como mecanizada>-)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 1



Nombre del modelo: Marco
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado<Como mecanizada>-)
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
Escala de deformación: 1



Anexo M. Análisis estático 2.

