

MONTAJE Y PUESTA EN MARCHA DE UN BANCO DE ENSAYOS PARA
PRUEBAS DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

RICARDO ANDRÉS SANTANDER ORTIZ
YELTSIN REINALDO JIMÉNEZ CASTELLANOS

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2019

MONTAJE Y PUESTA EN MARCHA DE UN BANCO DE ENSAYOS PARA
PRUEBAS DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

RICARDO ANDRÉS SANTANDER ORTÍZ
YELTSIN REINALDO JIMÉNEZ CASTELLANOS

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO

DIRECTOR
JORGE LUIS CHACÓN VELASCO
Dr. EN INGENIERÍA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2019

DEDICATORIAS

A mis padres, Euclides Santander y Helena Ortiz por su apoyo, su incondicional amor y su confianza en mí, porque ellos son el motor de mi vida.

A mi hermano Juan Sebastián Santander por su apoyo, por confiar en mí y darme la motivación de nunca rendirme a pesar de las dificultades.

A mi novia, confidente y gran amiga Marcela por todos los momentos vividos, por su apoyo e incondicionalidad al compartir esta etapa de crecimiento conmigo.

A mis tías Juna Ortiz Duran y Cecilia Ortiz Duran por su incondicional amor, paciencia y confianza en mí.

A mis primas Laura y Leidy por su aliento y confianza en mí.

A mi tío Jorge Santander por su apoyo, sus consejos y mi mejor ejemplo.

A el señor Servilio Quiroga por brindarme su ayuda y apoyo en esta etapa.

A mis amigos Omar, Julián, Wilmer por su incondicional apoyo y buenos consejos.

A todas aquellas personas que tuve la oportunidad de conocer durante este proceso de formación.

Ricardo Andrés Santander Ortiz

A mis padres Lucia Castellanos y Reinaldo Jiménez Villamarin por su amor, su apoyo incondicional, sus esfuerzos, sus consejos, su gran constancia y trabajo por mí.

A mis hermanos Nadya Astrid Jiménez Castellanos y Arley Cipriano Jiménez Castellanos por su apoyo, por su confianza, por confiar en mí y darme la motivación de nunca rendirme a pesar de las dificultades.

A mis tías Blanca Cecilia Parra Mojica y Alix Jiménez Villamarin por su incondicional amor, paciencia, su ejemplo y confianza en mí.

A todas aquellas personas que tuve la oportunidad de conocer durante este proceso de formación.

Yeltsin Reinaldo Jiménez Castellanos.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer primeramente a DIOS TODO PODEROSO y a la VIRGEN MARIA, por permitirnos culminar esta etapa de nuestras vidas con éxito.

A nuestro director, el doctor Jorge Luis Chacón, por ser nuestra guía, por su constante apoyo, respaldo, confianza, motivación y orientación recibida para la culminación de ese proyecto.

Al Ph. D Heller Guillermo Sánchez Acevedo por su orientación y colaboración.

Al ingeniero Samuel e ingeniero William Moreno por su gestión, apoyo y tener siempre abiertas las puertas de su taller de metal mecánica IDIMCOL.

A la Ingeniera Judith Macias por su orientación a la hora de redactar el libro.

A los docentes de la UIS, por la colaboración académica y ética, pues con sus enseñanzas forman profesionales de alta calidad.

A nuestro compañero de proyecto, por su calidad humana y amistad.

Ricardo Andrés Santander Ortiz.
Yeltsin Reinaldo Jiménez Castellanos.

CONTENIDO.

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	20
1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	21
1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.	21
1.2 JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA.	24
2. OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO.....	25
2.1 OBJETIVO GENERAL.	25
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	25
3. MARCO TEORICO.....	26
3.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.	26
3.1.1 A nivel internacional:	26
3.1.2 A nivel nacional:	28
3.1.3 A nivel local:	30
3.2 REFERENTES TEÓRICOS.	31
3.2.1 El motor de combustión interna de dos tiempos.....	31
3.2.2 Banco de pruebas de MCI.....	38
3.2.3 Ensayos para MCI.....	45
3.2.4 Norma SAE J1349.....	46
3.3 MARCO CONCEPTUAL.	47
4. DISEÑO METODOLÓGICO.....	48
4.1 ANÁLISIS DOFA.....	48
4.2 REALIZACIÓN DE LOS DISEÑOS PERTINENTES A LA SALA DE ENSAYOS.	48
4.3 MONTAJE DE LOS DIFERENTES SISTEMAS AUXILIARES DE LA SALA DE ENSAYOS.....	48
4.4 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS Y CONCLUSIONES.....	48
5. MATRIZ DOFA.	49

5.1 SELECCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS PARA LA ESTRUCTURA SOPORTE.	51
5.1.1 Primera alternativa	51
5.1.2 Segunda alternativa.....	52
5.1.3 Tercera alternativa.....	53
6. DISEÑOS PERTINENTES AL BANCO DE PRUEBAS.	54
6.1 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA SOPORTE.	54
6.1.1 Análisis CAD-CAE de la estructura soporte	55
6.1.2 Análisis de frecuencias de vibración de la estructura.	59
7. DISEÑO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DEL DINAMÓMETRO.	62
7.1 DETERMINACIÓN DEL CAUDAL DE AGUA DE REFRIGERACIÓN.....	63
7.2.2 Especificaciones técnicas del dinamómetro en Tándem.	65
7.2.3 Diseño y cálculos de la tubería para el sistema de refrigeración.....	66
7.2.4 Dimensionamiento del tanque de almacenamiento del agua.	66
7.2.5 Selección de la bomba hidráulica para el suministro de agua.....	67
7.2.6 Sistema de enfriamiento por agua.....	69
7.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DE COMBUSTIBLE PARA EL MOTOR.....	75
7.2.1 Cortador de concreto Dolmar PC-7414	78
7.2.2 Medición del consumo de combustible en motores	81
7.2.3 Gasolina corriente	81
7.2.4 Precauciones para el manejo de los combustibles.....	83
7.2.5 Determinación de las generalidades para la medición de combustible ..	83
7.2.6 Determinación de flujo másico de combustible	84
7.2.7 Selección del tanque de almacenamiento para combustibles líquidos...85	
7.2.8 Selección del filtro de combustible	86
7.2.9 Selección mangueras de suministro de combustible.....	86
7.2.10 Sistema de suministro de combustible para el banco de pruebas.....	88
8. SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS NECESARIOS PARA EL BANCO.	89
8.1 SELECCIÓN DE LOS AISLADORES DE VIBRACIÓN PARA ÉL MCI.	89

8.2 SELECCIÓN DEL ACOPLE DINAMÓMETRO-MOTOR.	95
9. MONTAJE E INSTALACIÓN.	99
9.1 BLOQUEO DEL DINAMÓMETRO DURANTE EL TRANSPORTE.	99
10. PRESUPUESTO.	101
10.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS RECURSOS FUNDAMENTALES.	101
10.2. GASTO OPERACIONAL.....	101
10.2.1 Salarios	101
10.2.2 Equipamiento.....	102
10.2.3 Costos indirectos.....	102
10.3 COSTOS MATERIALES E INSUMOS.	103
10.4 COSTOS SUMINISTRO DE AGUA.	103
10.5 COSTOS SUMINISTRO DE COMBUSTIBLE.....	104
10.6 COSTOS TABLERO DE CONTROL.....	104
10.7 COSTOS ADQUISICIÓN DE DATOS.....	105
10.8 COSTOS TOTALES.....	105
11. ANALISIS DE RESULTADOS.	106
11.1 TORQUE AL FRENO.....	107
11.1.1 Análisis de la curva de torque del freno vs rpm. Cuando se realizaron las pruebas, se observa que a medida que se disminuyen las velocidades el torque empieza a caer y luego vuelve a aumentar hasta su valor máximo como se observa en la figura 52.	108
11.2 POTENCIA DE FRENO.	108
11.2.1 Análisis de la gráfica de potencia vs rpm. Como se observa en la figura 53 la caracterización de la potencia utilizando el método experimental si la velocidad aumenta la potencia también se eleva por lo que podemos decir que son directamente proporcionales.	110
11.3 CONSUMO ESPECIFICO DE COMBUSTIBLE.....	110
11.3.1 Análisis de la gráfica de consumo específico de combustible vs velocidad. En la gráfica 54, se observa que a altas revoluciones el consumo	

de combustible es menor entre 1500 y 3000 rpm se encuentra el menor gasto y a bajas rpm el consumo nuevamente aumenta.	111
12. CONCLUSIONES.....	112
13. RECOMENDACIONES.	114
BIBLIOGRAFÍA.	117

LISTA DE TABLAS.

Tabla 1. Matriz DOFA realizada para el laboratorio.	50
Tabla 2. Modos de vibración de la estructura soporte.	61
Tabla 3. Cargas de enfriamiento para algunas maquinas.	65
Tabla 4, Características del Dinamómetro en tándem.	66
Tabla 5. Especificaciones técnicas del cortador de concreto Dolmar PC-7414.	78
Tabla 6. Relación de los diferentes parámetros para Dolmar PC-7414.	79
Tabla 7. Propiedades de la gasolina corriente	82
Tabla 8. Especificaciones manguera.	87
Tabla 9. Acoplamientos Serie Jaw Lovejoy-Martin- Rathi.	98
Tabla 10. Salarios	101
Tabla 11. Equipamiento.	102
Tabla 12. Costos indirectos.....	102
Tabla 13. Costos de la estructura y sistema de amortiguación.....	103
Tabla 14. Suministro de agua.	103
Tabla 15. Suministro de combustible	104
Tabla 16. Tablero de control	104
Tabla 17. Adquisición de datos	105
Tabla 18. Costos del diseño y montaje del banco de pruebas para MCI	105
Tabla 19. Torque del freno vs velocidad	107
Tabla 20. Potencia de freno	109
Tabla 21. Consumo específico de combustible vs velocidad.....	110

LISTA DE FIGURAS.

Figura 1. Esquema general de un laboratorio de ensayos para MCI.	23
Figura 2. Motor de dos tiempos.	32
Figura 3. Primer tiempo del motor de dos tiempos.	34
Figura 4. Segundo tiempo del motor de dos tiempos.	36
Figura 5. Curva de potencia y torque para un motor de combustión interna.	37
Figura 6. Diagrama del dinamómetro que mide el par con la carga de celda.	40
Figura 7. Banco de pruebas de motores de combustión interna.	44
Figura 8. Primera alternativa para el banco de pruebas.	51
Figura 9. Segunda alternativa para el banco de pruebas.	52
Figura 10. Tercera alternativa para el banco de pruebas.	53
Figura 11. Estructura soporte.	54
Figura 12. Modelo de carga de la estructura soporte.	55
Figura 13. Mallado solido de la estructura soporte.	56
Figura 14. Análisis de pandeo para la estructura soporte.	56
Figura 15. Análisis de deflexión para el soporte del dinamómetro.	57
Figura 16. Análisis de pandeo del soporte para el motor.	57
Figura 17. Análisis de pandeo para el sistema móvil del banco.	58
Figura 18. Primer modo de vibración.	59
Figura 19. Segundo modo de vibración.	59
Figura 20. Tercer modo de vibración.	60
Figura 21. Cuarto modo de vibración.	60
Figura 22. Quinto modo de vibración.	61
Figura 23. Sistema de agua de enfriamiento con sumidero dividido.	62
Figura 24. Dinamómetro Magtrol modelo 2WB115+EK+2PB115.	63
Figura 25. Curva de la bomba hidráulica sumergible EVANS.	68
Figura 26. Bomba sumergible AQUA-45W.	69
Figura 27. Circuito cerrado de refrigeración.	70
Figura 28. Radiador ATOS.	72

Figura 29. Circuito cerrado de refrigeración.....	73
Figura 30. Termostato digital XH-W1209.....	74
Figura 31. Comportamiento en marcha de un motor OTTO a flujo de combustible constante.	77
Figura 32. Cortador de concreto Dolmar PC-7414.....	78
Figura 33. Gráfica de potencia vs velocidad de rotación del motor Dolmar PC-7414.....	80
Figura 34. Gráfica del consumo específico de combustible vs velocidad de rotación para el motor DOLMAR PC-7414.	80
Figura 35. Torque vs velocidad de rotación para el motor DOLMAR PC-7414.....	81
Figura 36. Consumo de combustible en un motor de Dolmar PC 7414 de 5 kW...85	
Figura 37. Tanque de 5 galones para gasto diario.....	85
Figura 38. Filtro de gasolina.....	86
Figura 39. Esquema del sistema de medición del flujo de combustible.	88
Figura 40. Diagramas esquemáticos de los sistemas de aislamiento de vibraciones.....	89
Figura 41. Relación de frecuencia requerida para lograr varios valores de eficiencia de aislamiento de vibración.....	90
Figura 42. Velocidades angulares del cigüeñal para las cuales hay resonancia. ..	91
Figura 43. Deflexión del aislador según la carga aplicada.....	92
Figura 44. Frecuencias propias según la carga aplicada.	93
Figura 45. Aislador de vibraciones AMC 25-B.	94
Figura 46. Dimensiones del aislador de vibraciones AMC 25-B.	94
Figura 47. Acoplamiento dinamómetro-motor.	96
Figura 48. Factores de servicio.....	97
Figura 49. Sistema de bloqueo de la celda de carga WB/PB serie 115.	100
Figura 50. Torque y Potencia vs rpm.	106
Figura 51. Torque y Potencia máxima vs rpm.....	107
Figura 52. Torque vs rpm.....	108
Figura 53. Potencia de freno.....	109

Figura 54. Consumo específico de combustible vs velocidad.....	111
--	-----

LISTA DE ANEXOS.

(Ver anexos adjuntos en el CD y pueden visualizarlos en la base de datos de la Biblioteca UIS)

Anexo A. Estructura soporte del banco de pruebas.

Anexo B. Análisis estático de la estructura soporte.

Anexo C. Estudio de vibración de la estructura soporte.

Anexo D. User's Manual Dynamometers WB and PB.

Anexo E. Datasheet dinamómetro serie 2WB115+EK+2PB115.

Anexo F. Sistema de refrigeración para el dinamómetro.

Anexo G. Código sensor de flujo YF-S201.

Anexo H. Características de la cortadora de concreto PC-7414

Anexo I. Evidencia montaje del banco de pruebas.

Anexo J. Alineamiento de los ejes.

Anexo K. Manual fuente de alimentación 411.

Anexo L. Manual del controlador DSP-7000.

Anexo M. Manual del software M-TEST-7.

Anexo N. Estructura auxiliar para el banco de pruebas.

Anexo Ñ. Test certificate calibration.

RESUMEN.

TITULO: MONTAJE Y PUESTA EN MARCHA DE UN BANCO DE ENSAYOS PARA PRUEBAS DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA.*

AUTORES: RICARDO ANDRÈS SANTANDER ORTIZ
YELTSIN REINALDO JIMÉNEZ CASTELLANOS**

PALABRAS CLAVES: Banco de pruebas, Motores de combustión interna, Torque, Potencia.

DESCRIPCIÓN

Este proyecto contribuye con el desarrollo académico de la Escuela de Ingeniería Mecánica (EIM) de la Universidad Industrial de Santander (UIS) con el montaje y puesta en marcha de un banco de pruebas para Motores de Combustión Interna (MCI), que pueda utilizarse como complemento de las actividades realizadas en la asignatura Maquinas Térmicas Alternativas (MTA), a partir de la interacción con los principios y fenómenos involucrados en la combustión interna y dar la posibilidad de aplicar, comprender y evaluar los aspectos básicos del soporte teórico del proceso.

El documento describe del diseño y construcción de la estructura soporte y los diferentes sistemas auxiliares, tales como el sistema de suministro de combustible, sistema de refrigeración del freno, además del montaje del acople dinamómetro motor, absorbedores de vibración y puesta en marcha del banco de pruebas para MCI, utilizando dinamómetros de corrientes de Foucault y polvos magnéticos, montados en tándem de la casa Magtrol modelo 2WB115+EK+2PB115 que utiliza las características únicas de cada tipo de freno, para así permitir que la unidad bajo prueba se aplique con un par nominal de frenado desde la velocidad cero hasta la rotación máxima.

Se diseñó y monto un BMCI para que los estudiantes de pregrado, posgrado y profesores de la EIM dispongan de un ambiente adecuado para la investigación y la profundización académica en el campo de las Maquinas Térmicas Alternativas (MTA), ya que es indispensable contar con un banco de ensayos que cumpla con las especificaciones y normativas requeridas para brindar información confiable y veraz.

* Trabajo de grado.

**Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Ph.D. Jorge Luis Chacón Velasco.

ABSTRACT.

TITLE: ASSEMBLY AND START-UP OF A TEST BANK FOR INTERNAL COMBUSTION MOTOR TESTS.*

AUTHORS: RICARDO ANDRÈS SANTANDER ORTIZ
YELTSIN REINALDO JIMÉNEZ CASTELLANOS**

KEY WORDS: Test bench, Internal combustion engines, Torque, Power.

DESCRIPTION:

This project contributes to the academic development of the School of Mechanical Engineering (EIM) of the Industrial University of Santander (UIS) with the assembly and commissioning of a test bench for Internal Combustion Engines (MCI), which can be used as Complement of the activities carried out in the subject Alternative Thermal Machines (MTA), based on the interaction with the principles and phenomena involved in internal combustion and giving the possibility to apply, understand and evaluate the basic aspects of the theoretical support of the process.

The document describes of the design and construction of the support structure and the different auxiliary systems, such as the fuel supply system, brake cooling system, in addition to the assembly of the engine dynamometer coupling, vibration absorbers and start-up of the test bench for MCI, using eddy current dynamometers and magnetic powders, mounted in tandem of the Magtrol house model 2WB115 + EK + 2PB115 that uses the unique characteristics of each type of brake, in order to allow the unit under test to be applied with a pair rated braking from zero speed to maximum rotation.

A BMCI was designed and mounted so that undergraduate, postgraduate and professors of the EIM have an adequate environment for research and academic deepening in the field of Alternative Thermal Machines (MTA), since it is essential to have a test bench that meets the specifications and regulations required to provide reliable and truthful information.

* Project of grade.

** Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Mechanical Engineering. Director: Ph.D. Jorge Luis Chacón Velasco.

INTRODUCCIÓN.

El Motor De Combustión Interna Alternativos (MCIA) ha sido desde su creación uno de los artefactos más relevantes en nuestra sociedad, ya que ha permitido el transporte y la industrialización del mundo hasta volverse esencial en la vida cotidiana. Sin embargo, en la actualidad los altos costos en su fabricación, montaje, reparación y las nuevas normativas, hacen necesario el desarrollo de entidades que se dediquen a estos procesos y al estudio de estas máquinas con el objetivo de mejorar su diseño y efectividad. Esto debido a que el MCI que se usan en gran parte en las motocicletas de todas las cilindradas, automóviles, también en pequeñas motosierras y cortadoras de concreto, es necesario profundizar en el conocimiento de MCI para así mejorar los costos y el rendimiento de estos. Por lo tanto, el MCI es tan indispensable como lo fueron la rueda y el martillo para el hombre primitivo.

Una parte esencial del análisis del funcionamiento de un MCI es la medición del consumo de combustible, consumo de aire, medición de los gases de escape, la potencia, el torque, la velocidad rotacional, por lo cual, la relación aire-combustible en el proceso de combustión es la base para cálculos como: la eficiencia térmica, el consumo específico de combustible, el flujo másico de combustible y otros parámetros de operación como la potencia efectiva y el torque a diferentes condiciones de operación y carga.

Con base en estas condiciones de funcionamiento del MCI, el diseño y construcción del banco de pruebas, que contará con un motor acoplado a un dinamómetro de inducción electromagnética, soportados por una estructura-soporte de acero estructural que facilita su acceso y manipulación a los diferentes sistemas auxiliares del banco, a la hora de hacer las respectivas pruebas.

A partir de este banco de pruebas, se realizaron ensayos necesarios para la obtención de los datos característicos del funcionamiento del MCI.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.

1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.

En la actualidad el ser humano depende aun del funcionamiento de los MCI, de combustibles derivados del petróleo y por ende de la utilización de los MCIA. Estos motores están evolucionando ampliamente debido a que su uso va desde la utilización en automotores hasta diferentes aplicaciones industriales, por lo tanto, es indispensable un mejor aprovechamiento energético y control del impacto ambiental que producen.

Para satisfacer estas necesidades se debe contar con laboratorios técnicamente certificados según las normas internacionales creadas por los organismos como:

- SAE-International (SAE-Society of Automotive Engineers).
- SAE J1349, ISO-International Organization for Standardization (ISO 1585).
- DIN- Deutsches Institut für Normung (DIN 4150).

Para evaluar y garantizar el desempeño de estas máquinas determinando sus parámetros efectivos de funcionamiento como los son potencia, torque, consumo de combustible y análisis de emisiones para luego proponer y realizar mejoras al MCI en los parámetros antes mencionados.

Como dice Moncada y Calderón¹, una sala de ensayos para motores puede contar hasta con más de 10 subsistemas necesarios para un funcionamiento ideal del laboratorio, entre estos subsistemas se pueden encontrar:

¹ MONCADA, Cesar Augusto y CALDERÓN, Marlo Jahir. Diseño del aislamiento acústico y térmico para los bancos de pruebas del centro de investigación de motores en Guatiguarà. Trabajo de grado para optar el título de ing. Mecánico. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Facultada de ingenierías físico-mecánicas, 2014. 217 p.

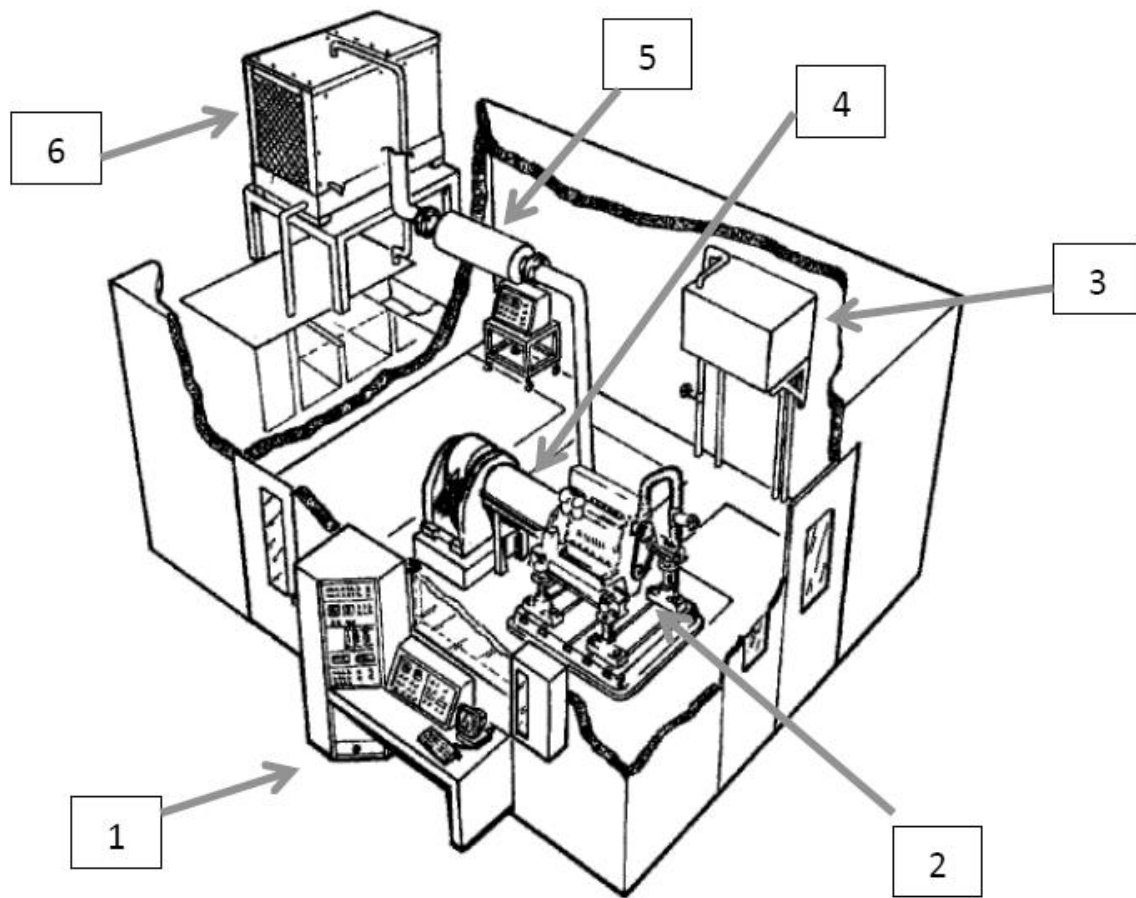
1. Sistema de amortiguación de las vibraciones.
2. Sistema de aislamiento acústico.
3. Sistema de aislamiento de la celda de ensayos.
4. Sistema de control de la celda desde una sala de control principal.
5. Sistema de ventilación y aire acondicionado.
6. Sistema de agua de enfriamiento de la celda de ensayos.
7. Sistema de extracción y tratamiento de los gases de escape.
8. Sistema de suministro y tratamiento de combustible.
9. Sistema eléctrico de la celda y la sala de control.
10. Sistema de suministro y climatización del aire de la combustión.

Por lo tanto, es necesario el diseño de los subsistemas antes mencionados para la construcción de un laboratorio de ensayos de MCIA, que cumpla con los estándares internacionales para la emisión de resultados válidos.

En la figura 1 se pueden apreciar los artefactos y sistemas principales que componen una sala de ensayos para pruebas de MCI los cuales se listan así:

1. Sala de control.
2. Motor de combustión interna
3. Sistema de aire acondicionado para la sala de control.
4. Dinamómetro (Freno de inducción electromagnética).
5. Sistema de extracción y tratamiento de gases de la combustión.
6. Sistema de refrigeración del MCI.

Figura 1. Esquema general de un laboratorio de ensayos para MCI.



Fuente: Engine Testing Theory and Practice. A.J. Martyr, M.A. Plint.

1.2 JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA.

Para dar continuidad al proceso de remodelación de laboratorios de la Universidad Industrial de Santander (UIS) y brindar a los estudiantes de pregrado, posgrado y profesores de la EIM un ambiente adecuado para la investigación y la profundización académica en el campo de las Maquinas Térmicas Alternativas (MTA), es indispensable contar con un banco de ensayos que cumpla con las especificaciones y normativas que brinde información confiable desde el diseño, puesta en marcha y control de MCI en la línea de sistemas térmicos, energías alternativas y el Grupo de Investigación en Energía y Medio Ambiente, que garanticen procesos industriales sostenibles y que den un aporte al desarrollo, económico, social y ambiental del país.

2. OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO.

2.1 OBJETIVO GENERAL.

Diseñar, construir y poner en funcionamiento un banco de ensayos para pruebas de MCI.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- 1.** Realizar un diagnóstico mediante análisis DOFA para el montaje y puesta en marcha del banco de ensayos.
- 2.** Realizar el diseño y el montaje del banco de ensayos de MCI utilizando un freno de inducción electromagnética de 30 KW.
 - Diseñar y montar la estructura soporte y sistema de amortiguación del banco de ensayos.
 - Instalar el acople tipo araña L-150 para la unión entre el dinamómetro y el motor de combustión interna a utilizar.
 - Diseñar y montar el sistema de suministro de combustible y agua para el banco de ensayos.
- 3.** Puesta a punto y pruebas del banco de ensayos.
 - Hacer las pertinentes pruebas de potencia, torque y consumo de combustible para el motor 2T DOLMAR PC-7414 de 3.8 KW según la norma SAE J1349.

3. MARCO TEORICO.

Los aspectos teóricos para tratar reúnen información de investigaciones previas y diseños anteriormente planteados en los proyectos adelantados por la EIM de la UIS y de otras fuentes a nivel internacional, regional y local, para así dar un mayor soporte a los diseños y montajes a desarrollar en el proyecto.

3.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.

3.1.1 A nivel internacional:

3.1.1.1 “Diseño de un banco de pruebas para motores de combustión interna.”² Este trabajo de grado propuso el diseño de un banco de pruebas para MCI el cual iba desarrollado por fases de sistemas de operación del banco de ensayos las cuales se estuvieron analizando y optimizando en el transcurso del diseño, para así dar con el resultado de que es una herramienta indispensable para los técnicos mecánicos, ingenieros mecánicos e ingenieros mecánicos industriales, por otro lado el montaje y operación del banco debe realizarse en una área adecuada de acuerdo a las regulaciones de la instituciones ambientales especialmente con emisiones de gases toxico y ruidos.

Este trabajo de grado nos sirve como guía para nuestros diseños de sistemas auxiliares como para el funcionamiento del banco de pruebas debido a que su estructuración está muy completa, por lo tanto, hay cosas muy valiosas de este trabajo de grado como lo es buscar un buen acople de motor-dinamómetro que minimice o elimine la desalineación angular y paralelismo entre ellos.

² GÁLVEZ, Edgar de Jesús. Diseño de un Banco de Pruebas para Motores de Combustión Interna. Trabajo de grado para conferir el título de Ingeniero Mecánico. Guatemala. Universidad San Carlo de Guatemala. Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería, 2003. 166 p.

3.1.1.2 “Determinación de torque y potencia de un motor de combustión interna utilizando mezclas parciales de biodiesel.”³ Esta investigación tuvo como objetivo determinar el torque y potencia de un motor de combustión interna utilizando diferentes mezclas parciales de biodiesel a 2800 m.s.n.m. según la norma SAE J1349 y la INEN RTE 017, realizada por el grupo de investigación de la Facultad de Ingeniería Automotriz de la Universidad Internacional del Ecuador. La investigación determinó el comportamiento del biodiesel a una altitud determinada específicamente a 2800 m.s.n.m. con mezclas parciales de biodiesel, junto con el diésel colombiano y ecuatoriano.

La metodología utilizada en esta investigación fue la del análisis matemático comparativo de las muestras de biocombustibles en porcentajes B5, B10 Y B30, proporcionado por la empresa La fabril, tomando en cuenta factores propios ambientales del lugar donde se realizaron las pruebas, pues los datos obtenidos en el laboratorio fueron comparados cuantitativamente con las mezclas parciales de biodiesel y entonces de esa manera obtuvieron curvaturas de Torque, Potencia y también de las emisiones de material particulado que con las características de los combustible locales y sus respectivas mezclas parciales de biocombustible, se obtuvo una disminución del material particulado y valores eficientes de Torque y Potencia con el biocombustible B30, siendo este el más estable y regular, ya que no tuvo picos en los datos obtenidos.

Esta investigación le aporta al proyecto la importancia de tener en cuenta los factores ambientales del lugar donde se realizarán las pruebas pertinentes de dicho banco para MCI.

³ G. G. Reyes-Campaña, J. A Castillo-Reyes, A. J. Escalante-Quezada, “Determinación de torque y potencia de un motor de combustión interna utilizando diferentes mezclas parciales de biodiesel”, *Ingeniería Solidaria*, vol. 12, no. 20, pp. 23-31, oct. 2016. doi: <http://dx.doi.org/10.16925/in.v19i20.1413>.

3.1.1.3 “Instalación de un banco de motores estacionarios para estudio de emisiones (E65-PO) CIEMAT.”⁴ El objetivo general de este trabajo es el de disponer de un documento de consulta en cualquier estudio, modificación, mejora y mantenimiento que implique a la instalación “banco de motores estacionarios para estudios de emisiones” por lo que se va a exponer el procedimiento de selección de equipos basados en cálculos previos, estudios de mercado y adaptación adecuada al resto de sistemas dando también a conocer una información detallada de distintos manuales y característica de los elementos empleados.

3.1.2 A nivel nacional:

3.1.2.1 “Diseño de un banco de pruebas para motores PT6T-3.”⁵ Este proyecto se fundamentó en realizar el diseño, de un banco de motores, su estructura, acople entre el motor y el dinamómetro, como también la incorporación del suministro de combustible, adquisición de datos y la realización del análisis de costos así mismo como la realización de análisis de protección contra ruido.

El diseño comprenderá el desarrollo de los componentes principales instalados como: sistemas de arranque para el encendido del motor, la estructura que soporta el motor y los equipos de medición, el sistema de lubricación del motor, panel de control y sistema de suministro de combustible.

⁴ GARCIA, M, S.; MEJIA, L, N. Instalación “Banco de Motores Estacionarios para Estudios de Emisiones (E65-PO) CIEMAT”. Departamento de Medio Ambiente, España, 2007, 38 p.

⁵ FERREIRA, Rene.; JURADO, Edwin.; AYALA, José. Diseño de un banco de pruebas para motores PT6T-3. Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Aeronáutico. Universidad De San Buenaventura de Bogotá. Facultad de Ingeniería Aeronáutica, 2008, 348 p.

3.1.2.2 “Diseño y construcción de un banco de pruebas para un motor de combustión interna de Renault Twingo.”⁶ Poner en funcionamiento un motor de combustión interna, realizar el diseño y la construcción de un banco de pruebas para este, que permita desarrollar ensayos de rendimiento, obteniendo diferentes variables relativas al funcionamiento del motor; así como conocer las técnicas de ensayo de los MCI utilizadas en los bancos de pruebas, la instrumentación necesaria para la medición de variables y la teoría referente a estas mediciones y por ultimo ejecutar el respectivo montaje acondicionado al motor en el banco de pruebas y evaluar su funcionamiento.

3.1.2.3 “Proceso de fabricación de un dinamómetro hidráulico para prueba de motores.”⁷ El objetivo principal de este proyecto consistió, en la fabricación de un dinamómetro hidráulico para realizar pruebas de motores de hasta 200 Hp (aproximadamente 150 KW) de potencia, como también la selección de materiales y elementos necesarios para la fabricación de un banco de pruebas considerando los medios tecnológicos disponibles para así llegar al ensamble del dinamómetro y su banco de pruebas a partir de los planos realizados en la fase de diseño y modelado.

⁶ GARCIA, Sebastián.; MEJIA, Nicolás. Diseño y construcción de un banco de pruebas para un motor de combustión interna de Renault twingo. Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Mecánico. Universidad EAFIT Medellín. Departamento de Ingeniería Mecánica, 2008, 113 p.

⁷ CASTRO, Julia. Proceso de fabricación de un dinamómetro hidráulico para pruebas de motores. Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Mecánico. Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ingeniería Mecánica, 2017, 78 p.

3.1.3 A nivel local:

3.1.3.1 “Diseño y construcción de un banco de pruebas de un motor diésel”.⁸

El objetivo del presente proyecto fue diseñar, construir y poner en funcionamiento un banco de pruebas de un motor diésel mono cilíndrico para caracterizar su desempeño, mediante el uso de sensores de velocidad de giro y un sistema de frenado para el torque así como determinar la velocidad de giro del eje del motor utilizado otro aspecto importante derivado de la creación de este tipo de equipos es el desarrollo futuro de nuevos trabajos de grados que impulsen fuertemente en este campo del conocimiento.

3.1.3.2 “Diseño del aislamiento acústico y térmico para los bancos de pruebas del centro de investigación de motores en Guatiguarà.”⁹ Este trabajo de grado tuvo como objetivo plantear los diseños pertinentes al aislamiento acústico y térmico para los bancos de ensayos del centro de investigaciones de motores, con el objetivo de realizar pruebas y diseños de motores para así contribuir con máquinas más eficientes con el fin de dar seguridad al personal, cumplir con las normas y seleccionar la puerta contraincendios a fin de evitar accidentes. Entonces como resultado de la investigación se seleccionaron materiales con buenas propiedades térmicas y acústicas, logrando así reducir el ruido en el exterior de la celda a niveles convencionales y reduciendo la temperatura en la sala que en combinación con la puerta contraincendios brindaran una completa protección.

⁸ PORTILLO, Cristian.; HERNANDEZ, Alexander. Diseño y construcción de un banco de pruebas de un motor diésel. Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Mecánico. Universidad Pontificia Bolivariana de Bucaramanga. Facultad de Ingeniería Mecánica, 2011, 113 p.

⁹ MONCADA, Cesar Augusto y CALDERÓN, Marlo Jahir. Diseño del aislamiento acústico y térmico para los bancos de pruebas del centro de investigación de motores en Guatiguarà. Trabajo de grado para optar el título de ing. Mecánico. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultada de ingenierías físico-mecánicas, 2014. 217 p.

3.1.3.3 “Banco de pruebas de motores para el laboratorio de máquinas térmicas alternativas, diseño del puesto de trabajo y propuesta de modernización del laboratorio.”¹⁰ Con esta tesis se buscó que la EIM de la Universidad de Industrial dispusiera de un laboratorio de motores alternativos que permitirá una óptima preparación de sus estudiantes y además ofrecer servicios a las empresas locales y nacionales del diagnóstico de sus motores.

El desarrollo del proyecto se orientó con tres facetas, todas orientadas al laboratorio, en primera instancia se realizó un estudio y una propuesta de modernización al laboratorio; en segundo se desarrolló el puesto de trabajo para el equipo DIGMA D-100 que corresponde con un proyecto de investigación bajo convenio [COLCIENCIAS-CINTEL y por último se desarrollaron actividades encaminadas a poner en funcionamiento del banco de pruebas para MCI.

Entonces al dar inicio al proyecto de grado, el Laboratorio de Máquinas Térmicas Alternativas (LMTA), se encontró con varias partes funcionando a media marcha y otras fuera de operación y así las actividades se encaminaron al análisis del estado actual del LMTA para luego proceder con la implementación de la normatividad correspondiente a los laboratorios de máquinas de combustión interna.

3.2 REFERENTES TEÓRICOS.

3.2.1 El motor de combustión interna de dos tiempos.¹¹ En un motor de dos tiempos hay componentes similares al de cuatro tiempos, sin embargo, el número de piezas es más reducido. Por ello este tipo de motor es más sencillo.

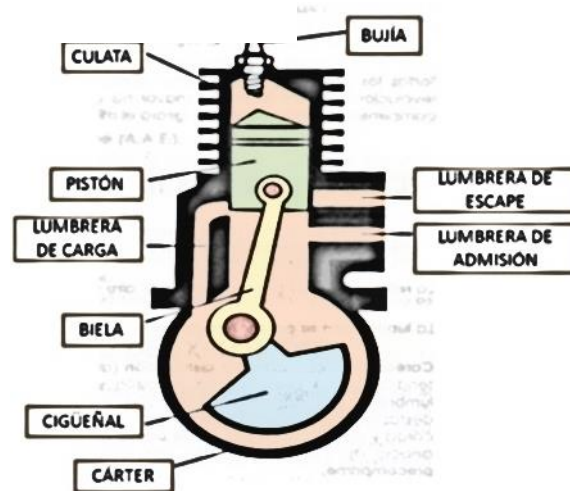
La característica principal de este tipo de motor es que no lleva válvulas, sino que es el propio pistón el que, en su desplazamiento en el interior del cilindro, hace

¹⁰ NIÑO, Luis Alfredo. Banco de Pruebas de Motores para el Laboratorio de Máquinas Térmicas Alternativas, Diseño del Puesto de Trabajo y Propuesta de Modernización del Laboratorio. Trabajo de grado para optar el título de Diseñador Industrial e Ingeniero Mecánico. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ciencias Fisico-Mecánicas. Escuela de Diseño industrial y Escuela de Ingeniería Mecánica, 2006. 229 p.

¹¹ UNIVERSIDAD DE CASTILLA-LA MANCHA. Ciclo Teórico de Funcionamiento. [En línea] [Fecha de consulta 07/02/2018]. Disponible en: http://www.uclm.es/profesorado/porrasysoriano/motores/temas/ciclo_teorico.pdf

que el fluido operante entre y salga a través de las denominadas lumbreras u orificios tallados en el cilindro (figura 2).

Figura 2. Motor de dos tiempos.



Fuente: COMOFUNCIONA;" Como funciona un motor de dos tiempos". [en línea], [Fecha de consulta: 07/02/2018]. Disponible en: <http://como-funciona.co/un-motor-de-2-tiempos/>

3.2.1.1 Evolución histórica del MCI de 2T. Es generalmente aceptado que el motor de dos tiempos fue desarrollado por Sir Dugald Clerk en Inglaterra a finales del siglo XIX. La forma del motor inducía un proceso de compresión junto con el cárter, el control de sincronización y el área de escape; rápidamente este motor se utilizó para motocicletas. Actualmente, las motocicletas y ciclomotores equipados con motores de dos tiempos siguen siendo producidas en una gran cantidad para propósitos recreativos y de transporte, a pesar de la presión legislativa de las emisiones de algunos países que ha ocasionado que estos motores sean remplazados por motores de cuatro tiempos. Existen también otras aplicaciones para los motores de dos tiempos, estas aplicaciones son muy similares en términos de diseño a los usados en motos.

El pionero en motores fuera de borda fue la compañía Evinrude de Estados Unidos en el año 1909, con un motor de 1.5 HP, el motor de dos tiempos ha dominado esta

aplicación hasta el día de hoy. Otra clase de este tipo de aplicación tiene diseños mucho más sofisticados, por ejemplo, existen motores poco comunes con seis válvulas en V que producen 300 HP, los cuales poseen una eficiencia muy elevada considerando la simplicidad del motor de dos tiempos.

Algunos de los nuevos productos recreacionales que se usan recientemente son las motos para la nieve o las motos de agua, y el tipo de motor que utilizan la mayoría es de dos tiempos. El uso de este tipo de motor es además una aplicación ideal, ya que el sistema de lubricación es mejor a bajas temperaturas. Aunque las motos de nieve se han diseñado para fines recreativos, son una herramienta muy práctica para el transporte diario en ambientes árticos.

En los años 60, La compañía Suzuki construyó un pequeño motor de dos tiempos para automóviles en Japón, el prototipo fue llamado FC y produjo 25 HP de potencia a 6000 revoluciones por minuto. Con el incremento del énfasis ecológico en el consumo de combustible y las normas de emisiones, el motor de dos tiempos para carro desapareció, pero el interés en el diseño de este tipo de motores ha resurgido nuevamente debido a una presión legislativa en las emisiones de ácido. La mayoría de las empresas que se dedican a la manufactura de vehículos están experimentando con varias formas de motores de dos tiempos con inyección directa de gasolina, o con alguna variación de este concepto en términos de estratificación de cargas o de compresión¹².

3.2.1.2 Funcionamiento de un MCI de 2T¹³. Durante su carrera desde el punto muerto inferior (PMI) al punto muerto superior (PMS) el pistón hace salir a la

¹² BLAIR, G. Design and Simulation of Two-Stroke Engines. The Queen's University of Belfast: SAE, Inc. 1996, p. 1.

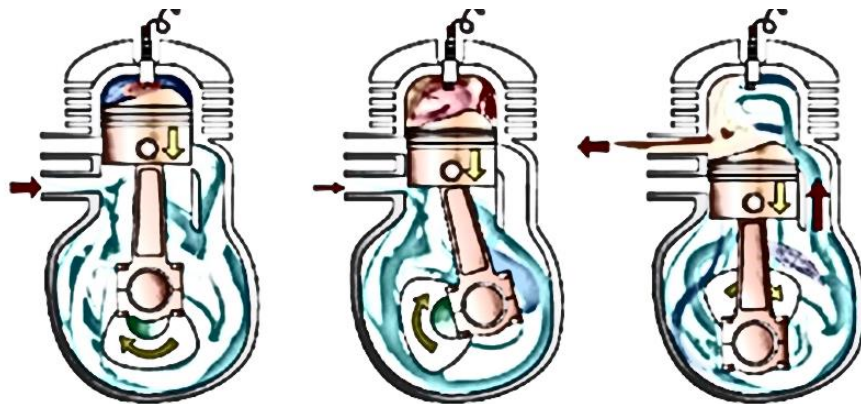
¹³ UNIVERSIDAD DE CASTILLA-La Mancha. Ciclo Teórico de Funcionamiento del motor de dos tiempos. [En línea] [Fecha de consulta: 30/03/2018]. Disponible en: http://www.uclm.es/profesorado/porrasysoriano/motores/temas/ciclo_teorico.pdf

atmósfera los gases quemados que ocupan el cilindro y abre la lumbrera de admisión por lo que los gases frescos de la atmósfera pasan al interior del cárter, aspirados por la depresión creada al desplazarse. Desde este momento hasta el final de su recorrido se produce la compresión del aire o de la mezcla en el interior del cilindro, mientras continúa la preadmisión de gases frescos en el interior del cárter (figura 3).

Durante esta carrera la muñequilla del cigüeñal ha girado 180° y se han realizado las siguientes fases:

- Barrido de gases residuales.
- Compresión de la mezcla.
- Preadmisión o llenado del cárter.

Figura 3. Primer tiempo del motor de dos tiempos.



Fuente: COMOFUNCIONA;" Como funciona un motor de dos tiempos". [En línea], [Fecha de consulta: 07/02/2018] disponible en: <http://como-funciona.co/un-motor-de-2-tiempos/>

Durante la segunda carrera, que comienza cuando el pistón llega al PMS al final de la compresión, instante en el cual salta la chispa eléctrica o se inyecta combustible, se inicia la combustión y se elevan la presión y temperatura en el interior del cilindro, generándose una fuerza que empuja al pistón con lo que se produce trabajo útil.

Durante el descenso del pistón, se cierra en primer lugar la lumbrera de admisión y se comprime el aire o la mezcla en el interior del cárter (precompresión).

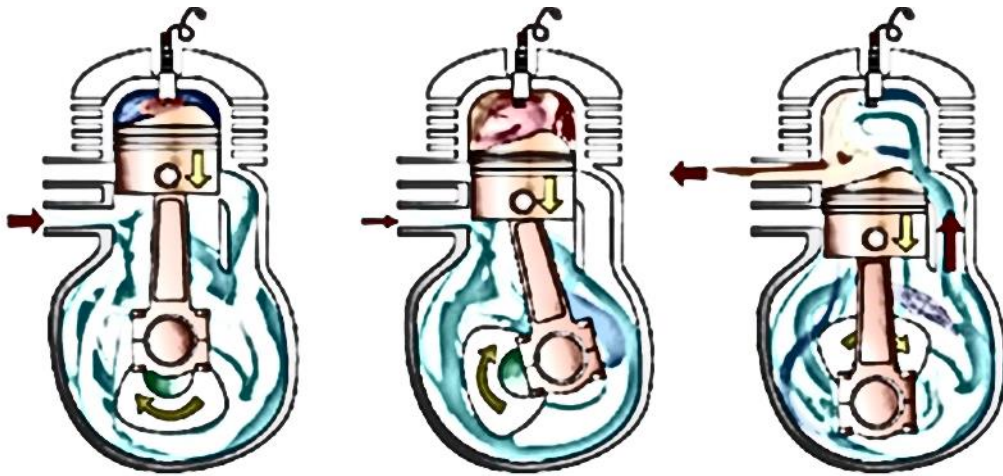
Poco antes de llegar al PMI el pistón abre las lumbreras de carga y escape, a través de las cuales se produce el escape de gases quemados y el llenado del cilindro con los gases frescos que a cierta presión ocupan el cárter, los cuales por el conducto de carga favorecidos por la presión a que se encuentran sometidos, entran en el cilindro incidiendo en la superficie del deyector con lo que se impide al desviar su trayectoria que salgan sin quemarse directamente por la lumbrera de escape. A la vez empujan a los gases quemados que quedan a la presión atmosférica en el interior del cilindro y los hace salir a la atmósfera.

En esta segunda carrera la muñequilla del cigüeñal ha girado otros 180°, completando una vuelta del cigüeñal y se han realizado las siguientes fases:

- Combustión y trabajo
- Precompresión de la mezcla en el cárter
- Escape
- Admisión

El ciclo completo se realiza en estos motores en tan solo dos carreras del pistón y una vuelta del cigüeñal (figura 4).

Figura 4. Segundo tiempo del motor de dos tiempos.



Fuente: COMOFUNCIONA;" Como funciona un motor de dos tiempos". [En línea], [Fecha de consulta: 07/02/2018] disponible en: <http://como-funciona.co/un-motor-de-2-tiempos/>

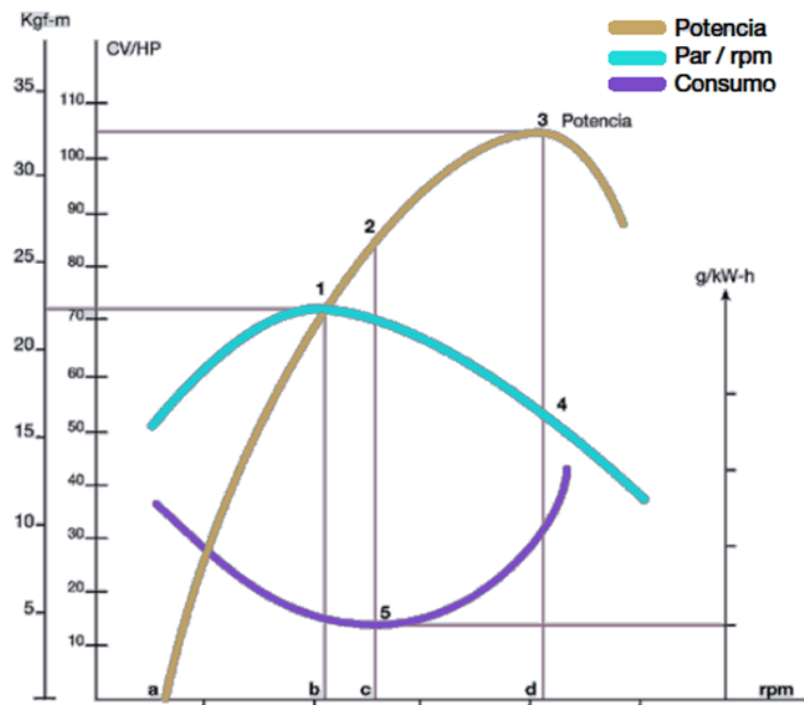
El rendimiento térmico de los motores de dos tiempos, al igual que en los de cuatro tiempos, es función de la relación de compresión y comparando los motores de dos con los de cuatro tiempos, se pueden considerar las siguientes ventajas e inconvenientes de los motores de dos tiempos, con respecto a los de cuatro:

- Más reducidos y con menor peso
- Menor coste de fabricación
- Menor coste de mantenimiento
- Mayor número de revoluciones
- Menor rendimiento térmico
- Mayor consumo específico

3.2.1.3 Curvas características de una MCI de 2T. El comportamiento de los MCI está caracterizado por las curvas de desempeño.

- **Curva de potencia.** La potencia se caracteriza por tener un crecimiento en cierto rango de velocidad angular hasta llegar a un valor máximo, el cual disminuye si se sigue aumentando la velocidad angular (figura 5).
- **Curva de par motor.** La curva del par motor tiende a ser más horizontal que la de potencia (figura 5), la línea punteada, pero sin perder concavidad y crece al aumentar la velocidad angular hasta un valor máximo en el cual comienza a descender, pero su razón de cambio es menor, por consiguiente, el torque máximo se consigue en un régimen de menor velocidad angular a comparación que la potencia máxima, dado que el par motor es más lento cuando se aumenta la velocidad.

Figura 5. Curva de potencia y torque para un motor de combustión interna.



Fuente: TRINS;" Curva de par motor y potencia". [En línea], [Fecha de consulta: 20/02/2018] disponible en: https://www.trinsmaquinaria.com/camiones/7-beneficios-de-una-repro-ecu-en-camiones-o-autobuses_mas-fuerza-menos-consumo-especifico/

3.2.2 Banco de pruebas de MCI. Los bancos de pruebas constan una instrumentación que determine los parámetros del motor como el par motor, velocidad de rotación, rata de flujo de combustible, rata de flujo de aire, emisiones de gases, fricciones residuales, temperaturas de refrigerante, y la chispa o tiempos de inyección de combustible. En este caso sólo se centra en lo concerniente al proyecto de grado que es la medición de la potencia, par motor y la velocidad rotacional.

3.2.2.1 La celda de pruebas para el banco¹⁴. Una celda de pruebas de motor es un complejo de maquinaria, instrumentación y servicios, que deben funcionar como un todo. Es muy fácil para el especialista, enfocado tal vez en solamente un tópico como combustión, sistemas de control de motores, emisiones de gases o ruido, el fallar a la hora de ver todo el conjunto.

En el desarrollo de la teoría de la termodinámica más utilizada es la de los sistemas abiertos. Ésta es una poderosa herramienta y puede ser muy útil en consideración del comportamiento de la celda de prueba. Está enlazada a la idea del volumen de control, un espacio cerrando el sistema y rodeado por una superficie imaginaria, superficie de control. La gran ventaja de este concepto es que una vez se haya identificado todo el flujo de masa y energía dentro y fuera del sistema, no es necesario conocer exactamente qué está pasando dentro del sistema para poder dibujar una “hoja de balance” de los flujos que entran y salen.

3.2.2.2 Salud y seguridad¹⁵. La celda de pruebas de motores es inherentemente un ambiente de trabajo peligroso y debe ser apreciado por cualquier persona concerniente con su diseño y operación. Las paredes, el techo y el piso de la celda deben contener los riesgos de su ambiente. Aberturas como las puertas y ductos de

¹⁴ PLINT, Michael y MARTYR Anthony. Engine Testing theory and Practice. 2da edición. SAE International, 1999. Pag 1.

¹⁵ *Ibid*, Pag 8.

ventilación, no deben comprometer esta función. Las celdas de prueba de motores son calientes y ruidosas, con pisos resbaladizos y espacios de trabajo atestados de tuberías y cables. La atenuación del sonido entre el área de control y la celda deben ser suficientes para hacer llamadas de auxilio difíciles de escuchar.

El motor que esté puesto a prueba en la celda no ha sido diseñado para instalarse en la celda, sino para una situación completamente diferente. El eje que acopla el motor al dinamómetro y por supuesto el dinamómetro en sí, pueden fallar al momento de probar en sus límites un primer motor de diseño novedoso. El diseñador debe prever los posibles resultados de tales fallas.

3.2.2.3 Dinamómetro. Un dinamómetro es un dispositivo que proporciona una carga externa al motor, y absorbe la potencia del motor. Los primeros dinamómetros fueron frenos que utilizaban fricción mecánica para absorber la potencia del motor, por eso la potencia absorbida era llamada “caballos de fuerza de freno”.

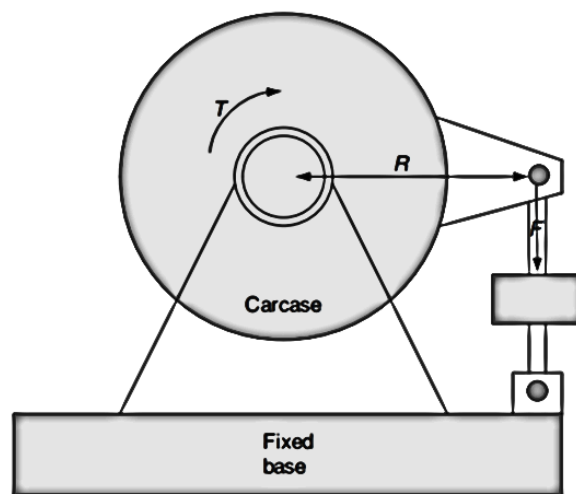
Los tipos de dinamómetro frecuentemente utilizados son los hidráulicos y eléctricos. Un dinamómetro hidráulico o freno de agua es construido de un rotor de paletas montado en una carcasa que a su vez va montada en el eje del motor rotativo. Se mantiene un flujo continuo de agua a través de la carcasa. La potencia absorbida por el rotor es disipada por la fricción del fluido, así como las imperfecciones del rotor a través del agua. La potencia absorbida se varía ajustando el nivel de agua en la carcasa.

Existen muchos diferentes tipos de dinamómetros eléctricos. Éstos incluyen de corriente directa, corriente alternativa regenerativa, y corriente de Foucault. La potencia absorbida en un dinamómetro eléctrico es convertida en energía eléctrica, a cualquiera de las dos: potencia o corriente de Foucault. La electricidad puede ser disipada como calor por una resistencia que calienta agua de refrigerador o flujos de aire. En máquina de corriente directa o alterna, electricidad generada puede ser

usada y transformada en energía disponible para suplementar el sistema de potencia. Históricamente, las máquinas de corriente continua ofrecen la mayor flexibilidad en las pruebas, pero a elevados costos.

Dinamómetros de motor también pueden ser clasificados dependiendo de si tienen o no la capacidad de mover un motor, es decir, hacer girar el eje del motor sin producir potencia en el motor de arranque como sucede en un automóvil. Los dinamómetros hidráulicos no pueden mover un motor. Estrictamente hablando, tampoco las máquinas de corriente de Foucault pueden mover un motor, pero debido a que usualmente son configuradas en paquetes con un motor eléctrico que corre u motor, para propósitos prácticos la distinción es discutible. El método más comúnmente usado se encuentra en la figura 6. El dinamómetro está apoyado por apoyos y restringido de rotar solamente por la celda de carga. Si el dinamómetro está absorbiendo o entregando potencia, un torque reactivo es aplicado al dinamómetro.

Figura 6. Diagrama del dinamómetro que mide el par con la carga de celda.



Fuente: Engine Testing Theory and Practice. A.J. Martyr, M.A. Plint.

3.2.2.4 Parámetros de medición de torque bajo condiciones de aceleración y desaceleración¹⁶. Con el creciente interés en las pruebas transitorias, es esencial tener en cuenta el efecto de los cambios de velocidad en el par medido por un dispositivo acoplado.

El principio básico es:

$$T_2 - T_1 = I * \dot{\omega} = \frac{2\pi * \dot{N} * I}{60} = 0,1047 * \dot{N} * I \text{ (N.m)} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde T1 es el torque de entrada en el dinamómetro en [N.m], T2 es el torque registrado por el dinamómetro en [N.m], I es la inercia del dinamómetro en [Kg * m²], $\dot{\omega}$ es la rata de incremento de velocidad en [rad/s²] y $\dot{N}$ es la rata de incremento de velocidad en [rad/s²].

Para entender el significado de esta ecuación, se da como ejemplo un dinamómetro típico, con capacidad de carga de 150 [kW] con un torque máximo de 500 [N.m], este tiene una inercia de 0,11 [kg*m²] y se puede colocar un dispositivo de corriente continua que tiene un de rango equivalente de inercia de 0,6 [kg*m²].

Si estos dispositivos se acoplan a un motor cuya aceleración es comparativamente lenta de 100 [rpm], el primer dispositivo mediría un torque de 1,15 [N.m] y el segundo leerá un 6,3 [N.m].

Si el motor está desacelerando, los dispositivos leerán cantidades más altas que la equivalente. Con procesamiento computarizado de datos se pueden hacer las correcciones con el software apropiado. Un desarrollo reciente es el dinamómetro de transmisión de tipo de disco, que puede ser atornillado a la brida de freno y

¹⁶ PLINT, Michael y MARTYR, Anthony. Engine Testing theory and Practice. Third edition. SAE International, 1999. P. 167.

simplifica considerablemente la instalación. La ventaja más importante de los dinamómetros de transmisión es que suprime la necesidad, discutida, de aplicar correcciones al torque medido.

- **Medición de velocidad y potencia.**¹⁷ La medición de la velocidad utilizando un codificador de eje análogo o pantalla digital es en principio muy simple. Medida de la potencia, que es el producto del par y la velocidad, plantea la importante cuestión de tiempo de muestreo. Los motores nunca se quedan funcionando de manera totalmente constante y el transductor de par y señales de velocidad siempre fluctúa. Una lectura realizada de manera rápida no necesariamente, o incluso probablemente, será idéntica a una lectura hecha con más calma. La elección del tiempo de muestreo y el número de muestras a ser promediadas son una cuestión de vital importancia. Aunque bajo condiciones transitorias puede no haber otra opción que tomar lecturas rápidas.
- **Procedimiento para medir par de rotación y velocidad con acelerador totalmente abierto.**¹⁸ La prueba con el acelerador totalmente abierto es un buen método para determinar la potencia máxima de un motor a cualquier velocidad dentro del intervalo de operación. Esto permite comparar los valores de potencia obtenidos con los indicados en las especificaciones del fabricante. Ni la potencia ni el par de rotación permanecen constantes a diversos valores de RPM. Generalmente las hojas de especificaciones dan la potencia y el par de rotación máximos, y las RPM a las que se producen.

¹⁷ *Ibid.* Pag 170.

¹⁸ WASDYKE y RAYMOND, G. Operating, testing and evaluating the two-cycle engine. 1ra edición. Buck Engineering Co. 1973. Pag T6-1.

La mayoría de los motores no operan continuamente a la velocidad correspondiente a la potencia nominal, por lo cual conviene saber qué potencia se desarrolla a valores superiores e inferiores de RPM.

NOTA: Antes de arrancar el motor repase la revisión preoperacional y los procedimientos del manual del usuario del motor, así como la instalación y el acople tanto para el motor, dinamómetro y banco de pruebas; los pasos a seguir son:

- Arranque el motor y ajuste el acelerador para 5000RPM. Deje que se caliente durante unos segundos.
- Aumente lentamente la apertura del acelerador hasta que el acelerador esté abierto totalmente y el tacómetro indique 9000 [RPM].
- Registre la indicación del par de rotación y calcule la potencia.
- Con el acelerador en la posición de apertura total, realice lecturas del par de rotación disminuyendo las RPM de mil en mil hasta llegar a las 4000 [RPM].
- Reduzca la apertura del acelerador poniéndolo en marcha mínima y pare el motor.
- Realice una tabla con las RPM, par de rotación y potencia, compárela con los datos del fabricante.
- Realice en una misma gráfica las curvas de Par-RPM y Potencia-RPM; compararlas con las gráficas del fabricante.
- Discusión y conclusiones.

3.2.2.5 Tecnología. Un banco de pruebas (figura 7), es un dispositivo para la evaluación de parámetros físicos operativos tales como la velocidad angular, potencia, par motor, potencia de frenado.

Según Guido Amarilla los bancos de pruebas se clasifican de acuerdo a:

- **Bancos de pruebas dinamométricos:** Producen un frenado del motor por acción de un dispositivo activo que disipa la energía entregada en forma de calor.
- **Bancos de pruebas inerciales:** No poseen un elemento que produzca una carga, sino que cuentan con una masa inercial que opone resistencia al motor o vehículo, solamente cuando está acelerándose.
- **Bancos de pruebas híbridos:** Es un estante el cual posee una masa inercial importante y al mismo tiempo cuenta con un dinamómetro para producir carga en régimen fijo.

Figura 7. Banco de pruebas de motores de combustión interna.



Fuente: DIDATEC-TECHNOLOGIE;" Banco de pruebas de MCI". [en línea], [Fecha de consulta: 20/02/2018] disponible en: https://www.trinsmaquinaria.com/camiones/7-beneficios-de-una-repro-ecu-en-camiones-o-autobuses_mas-fuerza-menos-consumo-especifico

3.2.2.6 Aplicaciones. Las aplicaciones de los bancos de pruebas pueden clasificarse según su medición:

- **Medición del motor:** Solo se mide el motor y este debe desmontarse del vehículo para medirse.
- **Medición del chasis:** Se mide el vehículo completo a través de sus ruedas. Puede usarse un rodillo (simple o doble) o puede montarse dinamómetros individuales en cada rueda.

3.2.3 Ensayos para MCI. En la actualidad la tecnología de los MCI demanda la necesidad de realizar ensayos de pruebas para poder determinar y garantizar el óptimo funcionamiento de los motores, haciendo una visualización del comportamiento variable que presentan. Según Santiago Ruiz Rosales¹¹ los ensayos de pruebas se clasifican bajo dos criterios; el primero es según su objetivo perseguido y el segundo es la forma de realización.

3.2.3.1 Ensayo según la forma de realizarse. Este tipo de ensayo se divide en dos:

- **Ensayos con combustión:** Se realiza a los MCI que estén en buen estado de funcionamiento, con el fin de obtener las curvas de rendimiento, no obstante, este ensayo tiende a complicarse cuando se quiere medir algunas variables específicas del motor que tienen que ver con los fenómenos internos del mismo.
- **Ensayo sin combustión:** Este ensayo tiene como objetivo el estudio de las pérdidas mecánicas y se realiza en el arranque del motor, por ende, las condiciones de funcionamiento en el cilindro difieren de las reales.

3.2.3.2 Funciones del ensayo. Los ensayos de los MCI tienen tres funciones básicas:

- **Medir:** Adquirir valores instantáneos o variables específicos a estudiar, utilizando como medio un sensor que recibe una señal eléctrica, la cual la transforma en una señal digital para ser vista en un panel de control.
- **Regular:** Mantener las variables medidas en un estado estable bajo un tiempo específico.
- **Registrar:** Recopilar los valores obtenidos en tablas de datos para el análisis final de resultados.

3.2.4 Norma SAE J1349.¹⁹ Esta norma americana es prácticamente equivalente a la ECE R24, ya que incluye todos los elementos necesarios en el motor, como el ventilador y el radiador, ofreciendo por tanto un valor de potencia neta. Esta norma sirve para especificar:

- Fundamentos para valorar la potencia neta y el par motor.
- La potencia neta del motor.
- La referencia de entrada del aire y las condiciones de suministro de combustible para la prueba.
- Un método para la corrección de la potencia durante los ensayos y el torque a las condiciones especificadas.
- Un seguro de que los controles del motor están operando debidamente.
- Determinar la potencia neta del motor en pleno funcionamiento con un dinamómetro.

¹⁹ SAE internacional certified power. [En línea] [Fecha de consulta: 06/03/2018]. Disponible en: <http://www.sae.org/certifiedpower/>.

3.3 MARCO CONCEPTUAL.

- ✓ **Banco de pruebas:** Estructura donde se instala un sensor rotacional, con el fin de realizar ciertas pruebas y ensayos, mediante la medición de diversas variables como la potencia, torque y revoluciones.
- ✓ **Dinamómetro:** Instrumento destinado a absorber la potencia generada por un motor como así mismo medir la potencia de dicho motor.
- ✓ **Motor de combustión interna:** Maquina térmica que, mediante una serie de componentes y elementos interrelacionados entre sí, transforma energía química en energía rotacional.
- ✓ **Potencia:** Es el producto de un determinado torque, generado por los elementos internos del motor, por la cantidad de giros o revoluciones producidas.
- ✓ **RPM:** Revoluciones por minuto. Es la cantidad de giros o revoluciones que da el cigüeñal en un determinado tiempo.
- ✓ **SolidWorks:** Software computacional especializado en modelación de piezas.
- ✓ **Par motor o torque:** El torque también denominado par motor, es el momento dinámico de una fuerza que ejerce el motor sobre el eje de transmisión de potencia.
- ✓ **Acople o acoplamiento:** Dispositivo de conexión entre dos objetos a fin de transmitir movimiento de uno a otro (p. ej., entre dos ejes).
- ✓ **Potencia:** Rapidez con que se efectúa un trabajo.
- ✓ **Consumo específico de combustible (CEC):** Valor de consumo de combustible de un motor en relación con la potencia que produce. Si un motor desarrolla 1 HP por cada kg de combustible utilizado por hora, tendría un CEC de 1 kg/h-HP.

4. DISEÑO METODOLÓGICO.

Para el desarrollo del siguiente diseño y montaje de un banco de ensayos para MCI se seguirán las siguientes actividades:

4.1 ANÁLISIS DOFA.

Mediante un análisis DOFA se buscará encontrar el lugar más adecuado para el montaje del banco de ensayos de MCI, que cumpla con las distintas normas internacionales para la ubicación de la sala de ensayos, gracias a proyectos anteriores de la UIS, la EIM adquirió un Freno de Inducción Electromagnética con capacidad para 30 KW, entonces este dinamómetro será el eje del proyecto.

4.2 REALIZACIÓN DE LOS DISEÑOS PERTINENTES A LA SALA DE ENSAYOS.

Para empezar con lo relacionado al diseño de los sistemas auxiliares para la sala de ensayos de MCI se hará un pertinente estudio y se tomaran en cuenta los anteriores diseños planteados para el centro de investigaciones de motores del parque tecnológico de Guatiguará y dar inicio al diseño en detallé y facilitar los montajes.

4.3 MONTAJE DE LOS DIFERENTES SISTEMAS AUXILIARES DE LA SALA DE ENSAYOS.

Usando un dinamómetro tipo freno de inducción electromagnética con capacidad de 30kw, se procede al reconocimiento y capacitación de los equipos auxiliares para la medición de los diferentes parámetros a obtener en los ensayos con el motor 2T DOLMAR PC-7414 DE 3.8 KW.

4.4 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS Y CONCLUSIONES.

Se realizará un estudio detallado de los datos obtenidos en los diferentes ensayos con los MCI para así garantizar que las pruebas hechas en dicho banco sean lo más confiable posible y cumplan con las normas.

5. MATRIZ DOFA.

Análisis interno.

Para el análisis interno se toman en cuenta los aspectos importantes, como las cualidades y errores que se tienen para el desarrollo del proyecto. Esto permite conocer fortalezas y debilidades; a partir de lo cual se determinarán las estrategias a seguir en el desarrollo del proyecto y para el cumplimiento de objetivos.

Fortalezas.

- Personal calificado
- Infraestructura de alta calidad
- Inversión en maquinarias
- Innovación
- Proximidad urbana-rural

Debilidades.

- Falta de conocimiento en el personal
- Inversión en tecnología
- Equipos deficientes
- Motivación para inversores

Análisis externo.

Se toma en cuenta las amenazas que surgen al realizar los objetivos y las oportunidades que se tienen o que pueden surgir en un futuro.

Oportunidades.

- Decisiones políticas
- Materia prima
- Necesidades del cliente
- Nuevas aplicaciones especiales
- Extender a otros países

Amenazas.

- Competidores en el mercado
- Limitación por la inversión
- Vulnerabilidad ante grandes competidores
- Efecto climático

Tabla 1. Matriz DOFA realizada para el laboratorio.

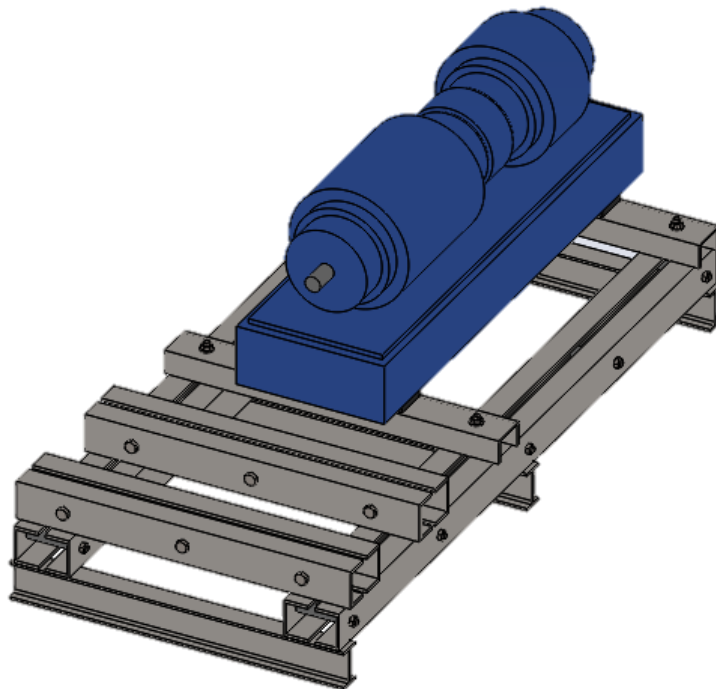
	Fortalezas	Debilidades
	Personal calificado	Falta de conocimientos en el personal
	Infraestructura de alta calidad	Inversión en tecnología
	Inversión en maquinarias	Equipos deficientes
	Innovación	Motivación para inversores
	Proximidad urbana-rural	
Oportunidades	Estrategia FO	Estrategia DO
Rápido crecimiento de la demanda	FO1: Utilizar el equipo disponible y adquirir el necesario para poner en funcionamiento el banco de pruebas FO2: Presentar una propuesta de modernización de las instalaciones	DO1: Requerir de personal especializado en cada campo para el desarrollo de pruebas en el banco
Materia prima		
Nuevas aplicaciones especializadas		
Necesidades del cliente		
Entender a otros países		
Amenazas	Estrategia FA	Estrategia DA
Competidores en el mercado	FA1: Realizar actividades de diagnóstico al equipo FA2: Seleccionar nuevos equipos que sean de gran avance	DA1: convocar y guiar a estudiantes para la competencia en banco de motores DA2: Invertir en tecnología que sea necesaria para los avances en la automatización
Limitaciones a la hora de invertir		
Vulnerabilidad ante grandes competidores		
Efectos climáticos		
Decisiones políticas		

5.1 SELECCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS PARA LA ESTRUCTURA SOPORTE.

Para el diseño del banco de ensayos se tuvieron en cuenta varias alternativas, diseñadas a partir de la herramienta de diseño CAD (SolidWorks), realizando adicionalmente un estudio de los modos de vibración, para saber cómo reacciona bajo carga estática y dinámica; en un análisis estructural, modal y armónico, para así llegar a seleccionar la alternativa más adecuada y acorde a las necesidades del proyecto.

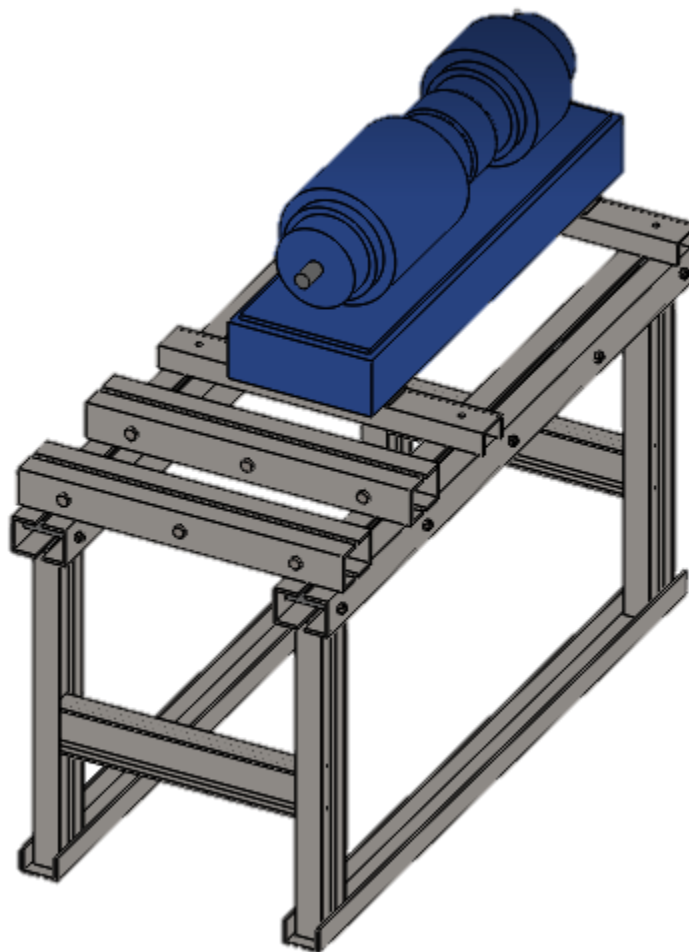
5.1.1 Primera alternativa. Esta alternativa es diseñada respecto a la cuerda de encendido del motor, donde dicha cuerda debe estar por debajo de la cadera del usuario, razón por la cual se diseñó una estructura baja, con perfil estructural en C y perfil en I (véase figura 8).

Figura 8. Primera alternativa para el banco de pruebas.



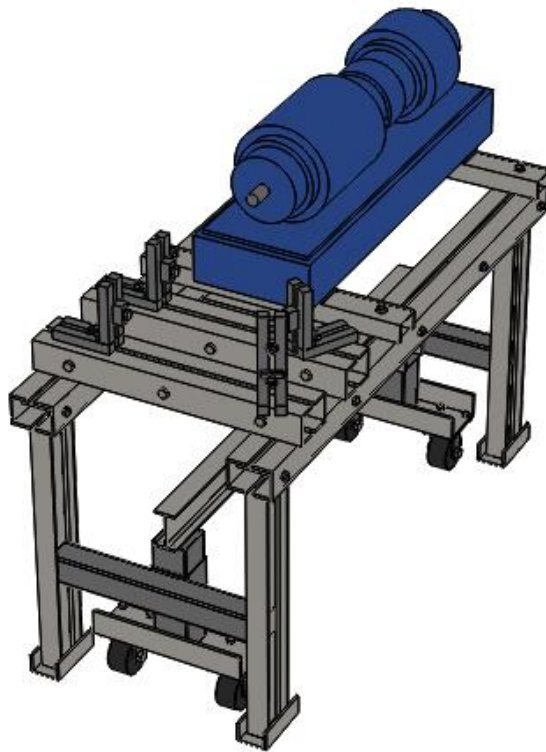
5.1.2 Segunda alternativa. Teniendo en cuenta que el operario en la primera alternativa debe adoptar posturas inadecuadas al agacharse para hacer las instalaciones adecuadas, se plantea modificaciones para darle más altura a la estructura ya que en el primer caso dicha estructura esta sobre él suelo, (véase figura 9).

Figura 9. Segunda alternativa para el banco de pruebas.



5.1.3 Tercera alternativa. De igual manera se hicieron algunas modificaciones finales, partiendo de los aportes de las dos alternativas anteriores para una mayor comodidad del operario a la hora de trabajar logrando una buena manipulación del equipo. Se añadieron apoyos para el motor a emplearse y un sistema para poder desplazar la estructura de un lugar a otro, que consiste en un sistema de llantas unido a un gato mecánico que permitirá mayor movilidad. Estos ajustes definieron la alternativa 3 como la más adecuada para la elaboración del banco de ensayos, (véase figura 10).

Figura 10. Tercera alternativa para el banco de pruebas.

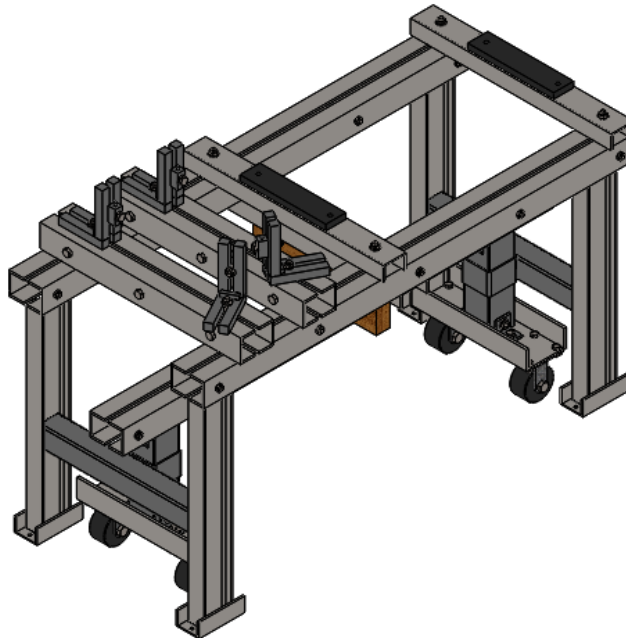


6. DISEÑOS PERTINENTES AL BANCO DE PRUEBAS.

6.1 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA SOPORTE.

En la figura 11 se observa la estructura soporte, que va a ser la base donde se va a instalar el MCI acoplado al dinamómetro y los diferentes elementos necesarios para llevar a cabo las pruebas con el banco para motores.

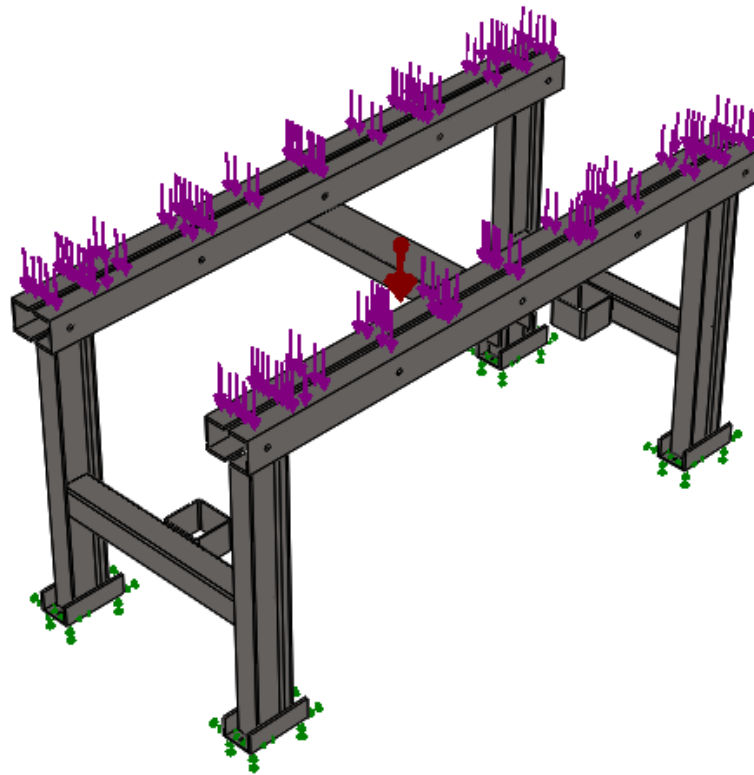
Figura 11. Estructura soporte.



El diseño de la estructura ver (Anexo A) es en acero estructural y consta de cuatro patas de perfil en I para evitar el pandeo y darle robustez a esta. En la parte superior se han diseñado vigas guías, las cuales se pueden graduar para colocar diferentes tamaños de motores, además, se le instalo un sistema mecánico para trasladar el banco de pruebas a través de dos pares de ruedas retractiles al interior de la estructura soporte, mediante un gato mecánico tipo tijera con capacidad para una tonelada.

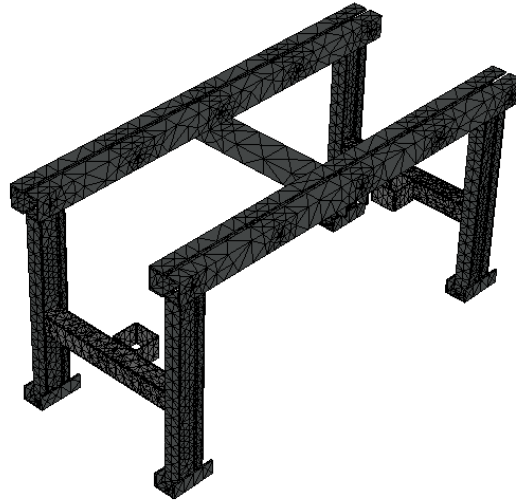
6.1.1 Análisis CAD-CAE de la estructura soporte. Para validar el diseño de la estructura se realizó un modelo CAD en SolidWorks, con el propósito de tener una simulación bajo condiciones reales de operación y así observar su comportamiento ver (Anexo B).

Figura 12. Modelo de carga de la estructura soporte.



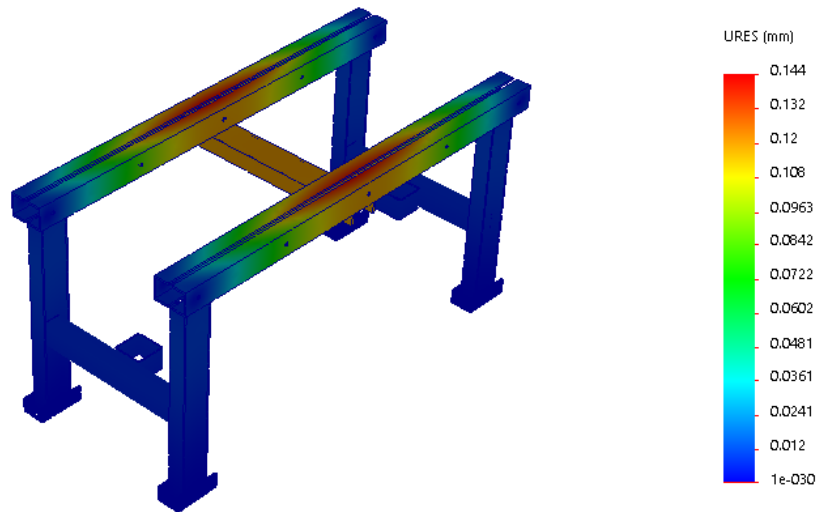
Este modelo de carga que se observa en la figura 12, se simuló bajo condiciones reales con un peso aproximado de 450 Kgf, el cual equivale a la suma de las cargas ejercidas en la estructura soporte por el motor de combustión interna, el dinamómetro de inducción electromagnética y los diferentes elementos del banco.

Figura 13. Mallado solido de la estructura soporte.



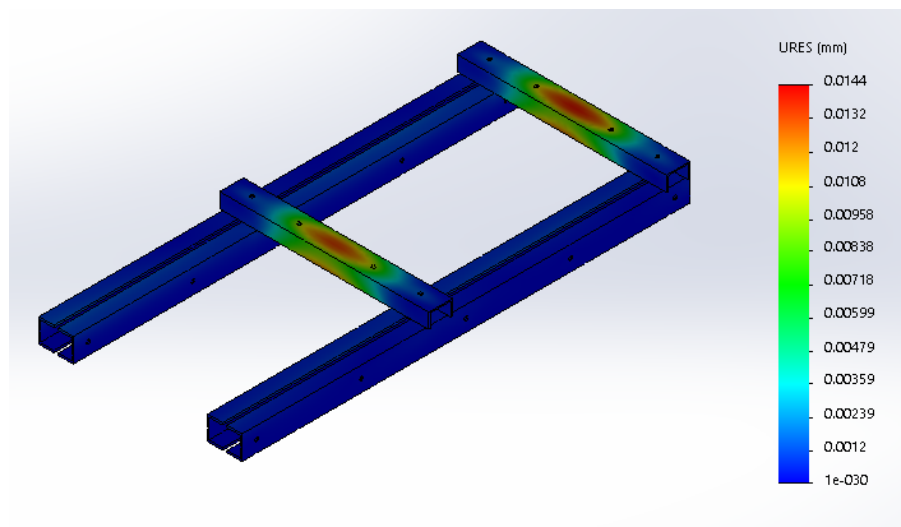
En la simulación del análisis estático que se observa en la figura 13, se utilizó un mallado sólido con 28.625 elementos en total, ver (Anexo B) en la página 15.

Figura 14. Análisis de pandeo para la estructura soporte.



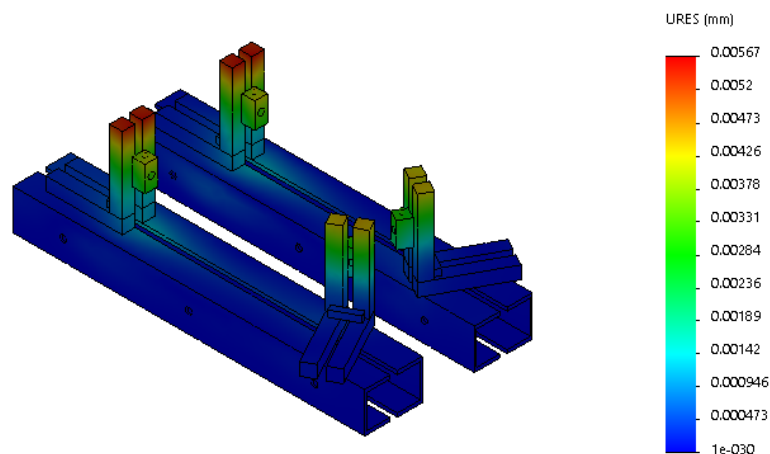
De la figura 14 se puede observar que la mayor deformación es de 0.144 mm producida por la carga total de 450 Kg, por lo tanto, este valor de deformación no es de gran importancia y se concluye que la estructura soporte se sobredimensiono de una forma conservativa para darle mayor robustez mecánica a esta.

Figura 15. Análisis de deflexión para el soporte del dinamómetro.



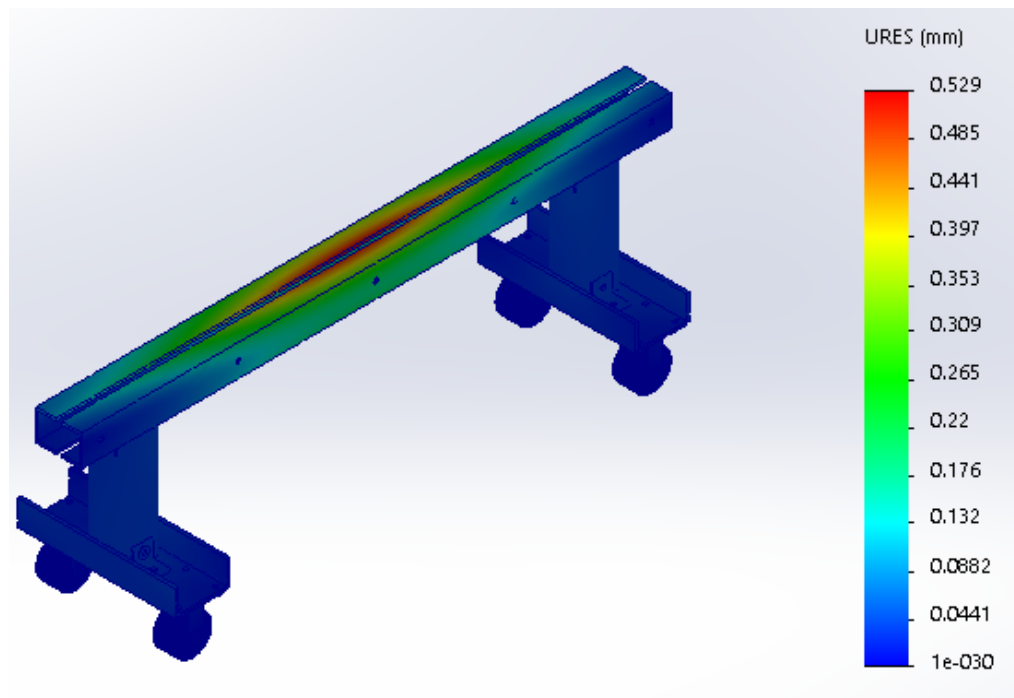
Como se puede observar en la figura 15, la deformación máxima es de 0.0144 mm producida con la simulación de una carga de 300 kgf. Conociendo que el freno de inducción electromagnética solamente pesa 264 kgf, se determina que este valor resultante con una carga mayor es bajo comparado con la carga real del Dinamómetro de inducción electromagnética y no traerá cambios a la estructura.

Figura 16. Análisis de pandeo del soporte para el motor.



Observando la figura 16, para el soporte del motor de combustión interna se simula una carga de 100 kgf, se supone un poco más de carga sabiendo que el motor PC-7414 solamente pesa 10 kgf. Se observa que la máxima deformación es de 0,00567 mm, valor que no es representativo respecto a los valores máximos que puede tomar la estructura.

Figura 17. Análisis de pandeo para el sistema móvil del banco.



Para este soporte se simula con una carga de 450 kgf, se le hace esta simulación a esta parte de la estructura ya que cuando se requiera desplazar toda la estructura, su carga total estará apoyada en dicho soporte. Se observa que la máxima deformación es de 0,529 mm y decir que este valor no es un valor representativo.

6.1.2 Análisis de frecuencias de vibración de la estructura. A continuación, se muestra el análisis de frecuencias de la estructura soporte para el BMCI realizado con el software SolidWorks y en este se muestran los posibles modos de vibración con sus respectivas frecuencias, ver (Anexo C).

Figura 18. Primer modo de vibración.

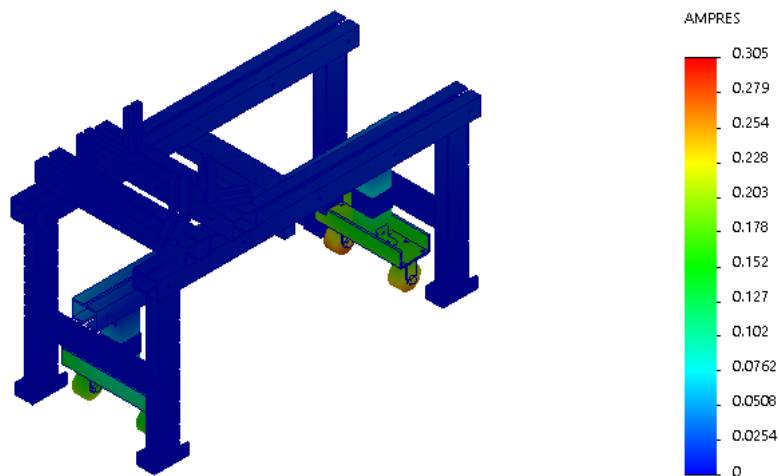


Figura 19. Segundo modo de vibración.

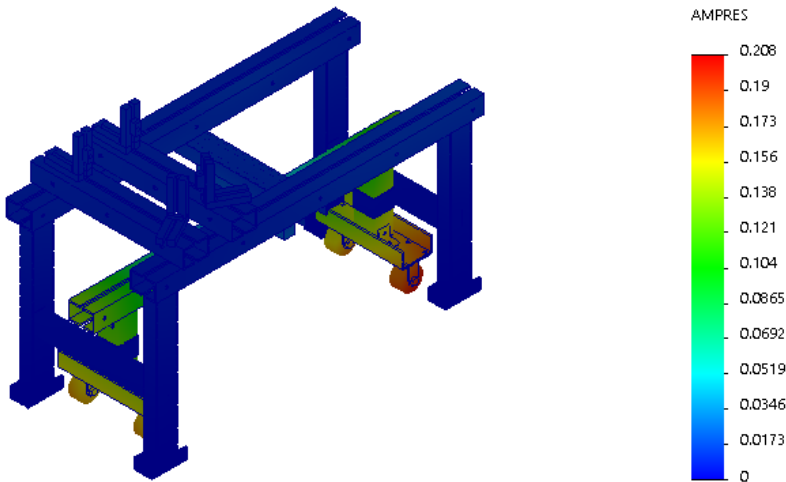


Figura 20. Tercer modo de vibración.

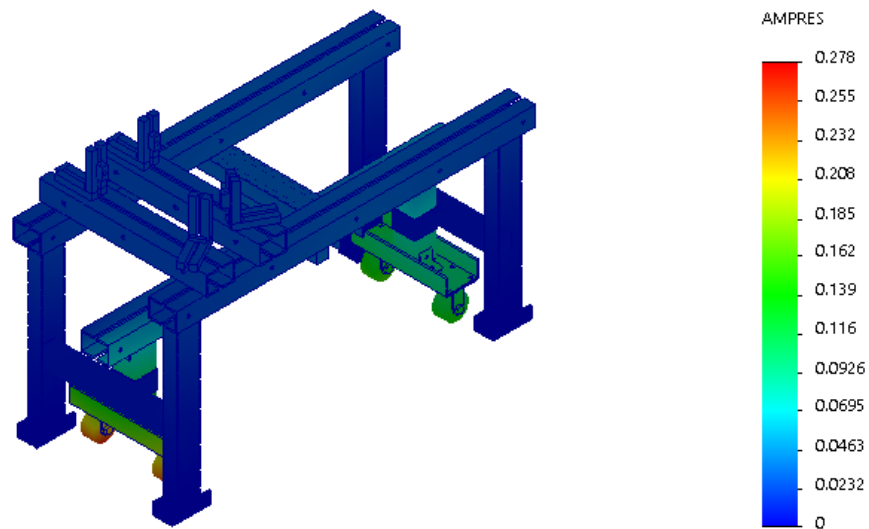


Figura 21. Cuarto modo de vibración.

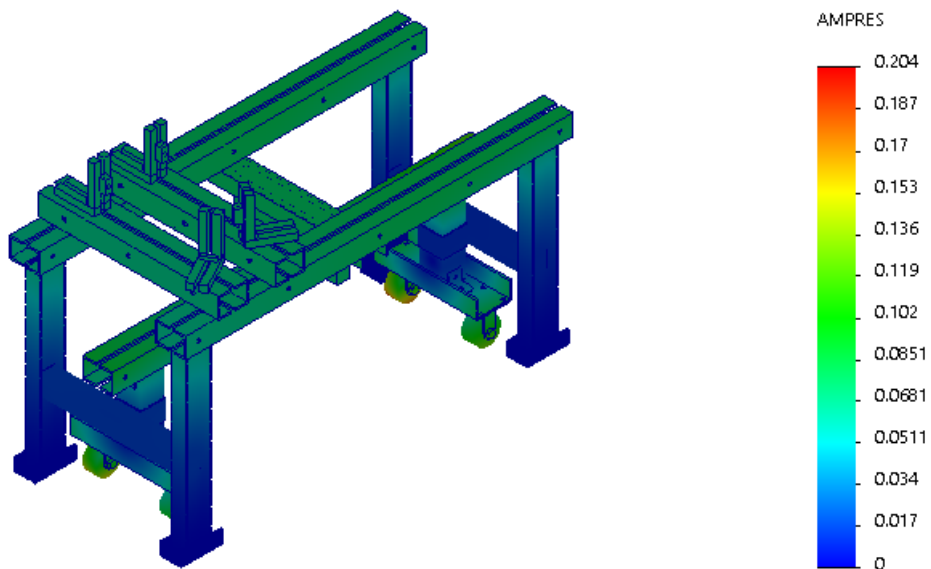


Figura 22. Quinto modo de vibración.

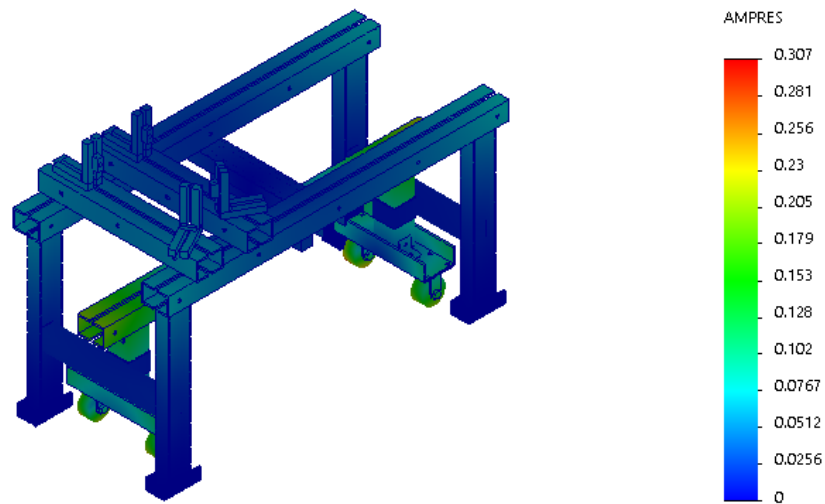


Tabla 2. Modos de vibración de la estructura soporte.

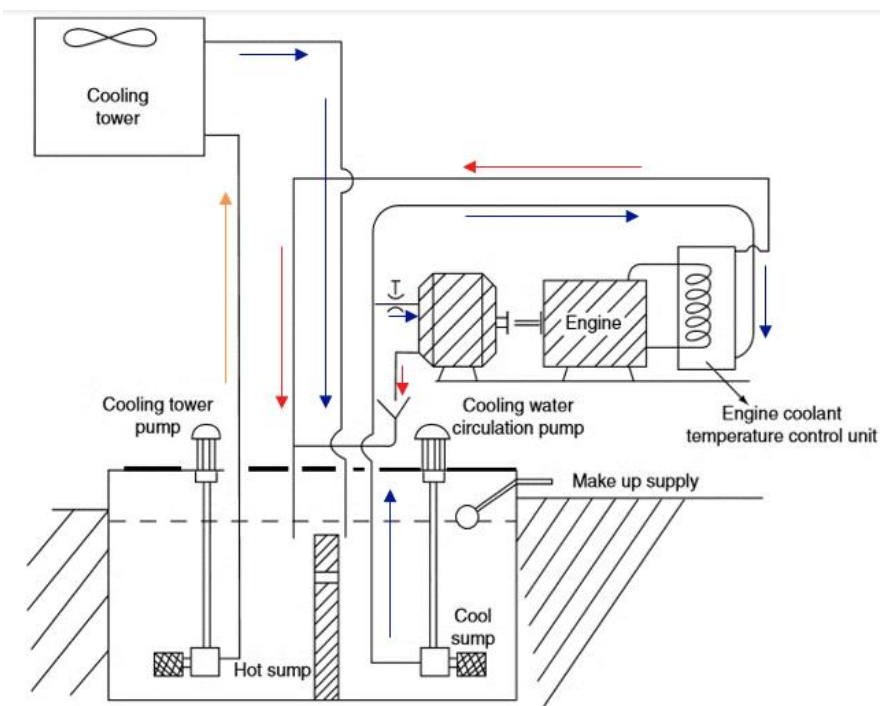
Frecuencia n°.	Rad/seg	Hertz	Segundos
1	112.17	17.853	0.056014
2	116.56	18.551	0.053904
3	117.95	18.773	0.053269
4	189	30.081	0.033244
5	273.97	43.604	0.022934

De la tabla 2, modos de vibración de la estructura soporte, se puede observar que son bajos respecto a la frecuencia de operación de la cortadora de concreto PC-7414 con un motor de 2T que es de (71.7 Hz), ya que el mayor de ellos es de 43.604 Hertz manteniendo una diferencia superior a la mitad respecto al motor de pruebas, sin embargo, entre un cuarto y a poco más de la mitad de marcha del motor este va a pasar por la zona de resonancia al igualar momentáneamente la frecuencia natural de la estructura soporte del banco de pruebas para MCI, por esta razón se debe llevar rápidamente el motor de 2T a velocidades mayores de 2600 rpm para minimizar los riesgos de entrar en resonancia.

7. DISEÑO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DEL DINAMÓMETRO.

Como en cualquier proceso de frenado, el frenado por corrientes parásitas o de Foucault genera calor que ha de disiparse adecuadamente para evitar dañar la instalación y producir dilataciones que alteren el funcionamiento del freno, en este tipo de dinamómetros, la potencia disipada por el freno es convertida en calor por medio del efecto Joule debido a las corrientes parásitas desarrolladas durante el proceso de frenado. Este calor, se va a acumular casi en su totalidad en las superficies cercanas a las bobinas en el estator y en la superficie externa del rotor²⁰.

Figura 23. Sistema de agua de enfriamiento con sumidero dividido.



Fuente: Engine Testing Theory and Practice. A.J. Martyr, M.A. Plint.

²⁰ PERCHIN, Luis. Diseño mecánico de un banco de potencia par la prueba de prototipo de la Shell Eco-marathon. Trabajo de grado doctorado en Ingeniería Mecánica. Madrid: Universidad Carlos III De Madrid. Escuela Politécnico Superior. Facultad De Ingeniería Mecánica, octubre de 2014, página 90.

En la refrigeración de dinamómetros se suele utilizar un sistema de refrigeración por agua como se puede apreciar en la figura 23, que circula por todo el freno mientras se asegura el sellado de las bobinas y otras conexiones eléctricas. Aunque el empleo del sistema de refrigeración por agua resulta muy efectivo, va a ser necesario instalar un complejo de tuberías, bombas hidráulicas e intercambiadores de calor para así disipar el calor generado por el dinamómetro que van a añadir mucha complejidad y sobreprecio al banco de pruebas para MCI.

7.1 DETERMINACIÓN DEL CAUDAL DE AGUA DE REFRIGERACIÓN.

Para la determinación del caudal de agua de refrigeración es necesario ver el funcionamiento del dinamómetro Magtrol de la serie WB/PB modelo 2WB115+EK+2PB115, el cual se va a utilizar para hacer los pertinentes ensayos y se puede apreciar en la figura 24.

Figura 24. Dinamómetro Magtrol modelo 2WB115+EK+2PB115.



Una refrigeración adecuada del dinamómetro es esencial para asegurar una larga vida operativa, y que los resultados de medición sean precisos, puesto que todos los dinamómetros Magtrol de la serie WB y PB están diseñados para garantizar la mejor disipación de calor y a la vez están dotados de un sensor de medición de temperatura de agua de salida que genera una alarma en caso de sobrecalentamiento²¹.

La entrada de agua de refrigeración está marcada como "Cooling water inlet" en la carcasa del dinamómetro encima del racor; el otro racor se utiliza para la salida del agua de refrigeración, el caudal de agua de refrigeración requerido se puede calcular mediante la siguiente formula tomada de la página 58 del User's Manual. WB and PB Series, ver (Anexo D).

$$Q \left(\frac{L}{h} \right) = \frac{860 \left(\frac{L^{\circ}C}{kWh} \right) * P (Kw)}{T_{out,w} (^{\circ}C) - T_{in,w} (^{\circ}C)} \quad \text{Ecuación 2.}$$

Donde:

Q – Caudal (L/h).

P – Potencia de Frenado (kW).

T_{in,w} – Temperatura de entrada del agua (°C).

T_{out,w} – Temperatura de salida del agua (°C).

Para todos los dinamómetros con configuración en tándem el consumo de agua de refrigeración se puede tomar para un ΔTemperatura = 30°C como: 30 Litros/kWh, según lo especifica el fabricante Magtrol en su User's Manual. WB and PB Series en el numeral 3.1.3 Cooling Water Consumption en la página 58, ver (Anexo D), entonces para la máxima potencia de 30 kW que puede censar el dinamómetro, se

²¹ User's Manual. WB and PB Series, Eddy- Current and Magnetic Powder Dynamometers. 1st Edition – rev F - September 2015, pág 58.

calcula el caudal de agua de refrigeración necesario para el sistema hidráulico de refrigeración utilizando la ecuación dos, dando como resultado:

$$Q = 30 \left(\frac{L}{kW-h} \right) * 30 (kW) = 900 \left(\frac{L}{h} \right) = 2,5 * 10^{-4} \left(\frac{m^3}{s} \right). \quad \text{Ecuación 3.}$$

Ahora utilizando la tabla numero 3 tomada del libro Engine Testing Theory and Practice. Third edition 2007, página 110, con el valor de salida de carga de enfriamiento para Dinamómetros de corrientes de Eddy de 0.95 se procede a calcular la carga térmica a disipar por el intercambiador de calor.

Tabla 3. Cargas de enfriamiento para algunas maquinas.

	<i>Output (kW/kW)</i>
Automotive gasoline engine, water jacket	0.9
Automotive diesel engine, water jacket	0.7
Medium speed heavy diesel engine	0.4
Oil cooler	0.1
Hydraulic or eddy current dynamometer	0.95

Fuente: Engine Testing Theory and Practice. A.J. Martyr, M.A. Plint. Third Edition, pag 110.

Por lo tanto, la carga térmica a disipar será:

$$\dot{Q} = 0,95 \left(\frac{kW}{kW} \right) * 30 (kW) = 28,5 (kW).$$

7.2.2 Especificaciones técnicas del dinamómetro en Tándem. Como las características de los dinamómetros WB y PB son complementarias, Magtrol puede ofrecerlos montados en una configuración en tándem y cada dinamómetro (WB y PB) puede funcionar de forma autónoma según sus propias características.

Se necesita un embrague electromagnético para esta aplicación que se apaga automáticamente a la velocidad máxima del dinamómetro de polvo magnético PB y se enciende automáticamente a velocidad cero.

Tabla 4. Características del Dinamómetro en tándem.

Model	Rated Torque		Drag Torque De-energized		Nominal Input Inertia		Rated Power	Rated Speed	Max. Speed	Excitation Current*
	N·m	lb·ft	N·m	lb·in	kg·m ²	lb·ft·s ²	kW	rpm	rpm	A
2 WB 115 + EK + 1 PB 115	100	73.7	3	26.5	4.18×10^{-2}	3.08×10^{-2}	30	2865	15,000	5
2 WB 115 + EK + 2 PB 115	200	147.5	5	44.2	5.44×10^{-2}	4.01×10^{-2}	30	2865	15,000	5
2 WB 115 + MK + 2 WB 115	200	147.5	2	17.7	5.51×10^{-2}	4.07×10^{-2}	60	2865	15,000	5

* Voltage at 20 °C is 30 volts.

Fuente: MAGTROL WB/PB 115 Series Eddy-Current and Powder Dynamometers.

Cada dinamómetro en tándem de la serie 115 tiene un sensor de velocidad óptico con una rueda de pulsos de 60 bits que se entrega estándar ver (Anexo D) (WB/PB 115 Data Sheet) en la página 6.

7.2.3 Diseño y cálculos de la tubería para el sistema de refrigeración. Tomando el caudal de refrigeración para el banco de ensayos anteriormente calculado, junto con los requerimientos planteados en el manual de usuario proporcionado por la empresa Magtrol para el montaje del freno de inducción electromagnética serie WB/PB 115, se procede a realizar los cálculos de pérdidas menores y mayores, establecer dimensiones de las tuberías, definir las propiedades del agua a temperatura ambiente y presión del lugar en el cual se harán las pruebas del banco, ver (Anexo F).

7.2.4 Dimensionamiento del tanque de almacenamiento del agua. El sistema de agua de refrigeración para cualquier instalación de pruebas para motores requiere conocer la calidad del agua, la temperatura ambiente y la presión, para permitir un volumen adecuado que pase a través del equipo con el fin de tener la capacidad de refrigeración suficiente para dicho proceso, el tanque de almacenamiento debe

cumplir los requerimientos de caudal de refrigeración anteriormente calculado para el dinamómetro en arreglo tándem y cubrir el rango de potencia en los diferentes motores que se deseen probar, entonces procedemos al cálculo así:

$$\text{flujo masico del agua} = \rho * Q \text{ Ecuación 4.}$$

$$\text{flujo masico del agua} = 998 \frac{Kg}{m^3} * (2,5 * 10^{-4}) \frac{m^3}{s} = 0,2495 \left(\frac{Kg}{s}\right).$$

Ahora para cinco minutos (300 segundos) de operación se tiene una masa de agua para refrigeración de:

$$\text{masa del agua} = 0,2495 \frac{Kg}{s} * 300 s = 74,85 (Kg). \quad \text{Ecuación 5.}$$

Entonces procedemos a calcular el volumen adecuado del tanque de refrigeración:

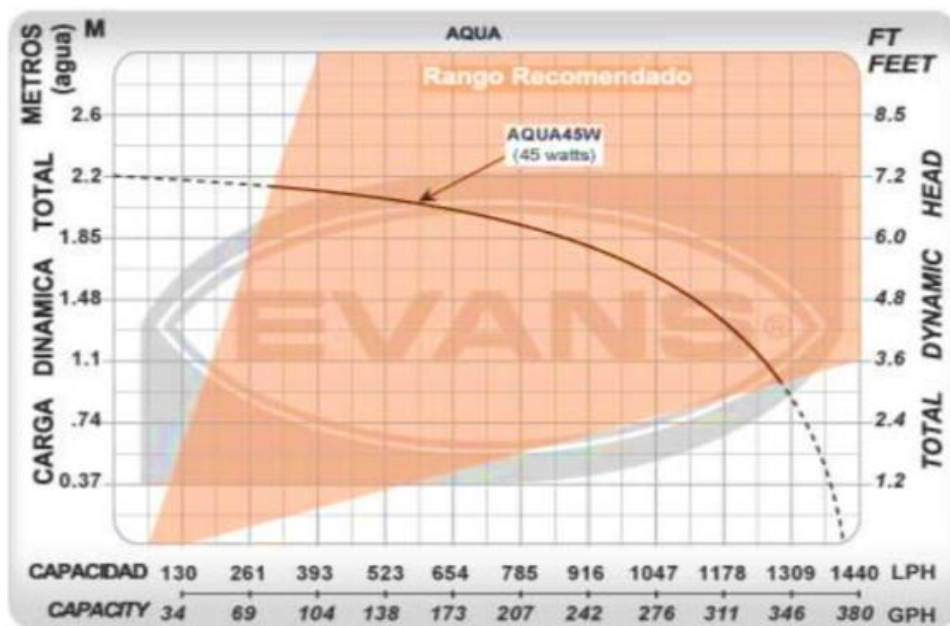
$$\text{Volumen del tanque} = \frac{m}{\rho} = \frac{74,85 Kg}{998 \frac{Kg}{m^3}} = 0,075 (m^3) = 75 (Litros). \quad \text{Ecuación 6.}$$

Por lo tanto, el volumen requerido del tanque para el agua del sistema de refrigeración debe ser de 75 Litros, y así pueda cubrir el rango de operación de potencia del dinamómetro y cumplir con el caudal de refrigeración.

7.2.5 Selección de la bomba hidráulica para el suministro de agua. Una bomba hidráulica es una maquina capaz de transformar la energía mecánica o eléctrica en energía hidráulica, la cual suministra al fluido el caudal y la presión necesaria para cumplir determinada función, además, esta es la encargada de suministrar el empuje necesario a un fluido, en este caso el agua y así pueda bombearla por el sistema de refrigeración del banco de ensayos.

Para seleccionar la bomba hidráulica se deben conocer los siguientes parámetros: definir la aplicación, caudal a mover, altura a desarrollar, características del fluido, velocidad de esta y NPSH disponible, estos parámetros fueron anteriormente seleccionados y calculados, ver y así proceder a calcular la potencia requerida de 36,41 Watts por el sistema de refrigeración, (Anexo F).

Figura 25. Curva de la bomba hidráulica sumergible EVANS



Fuente: Evans tienda oficial en línea. "Bombas sumergibles". [En línea] [Fecha de consulta: 16/04/19]. Disponible en: <https://www.evans.com.co/producto/bomba-sumergible-fuentes-45-w-aqua45w>.

Como se puede apreciar en la figura 25 se selecciona la bomba hidráulica sumergible AQUA-45W de la empresa EVANS, la cual posee una potencia de 45 Watts y cumple con la potencia requerida por el sistema hidráulico de refrigeración, ya que esta bomba hidráulica posee una potencia mayor en un 23 por ciento.

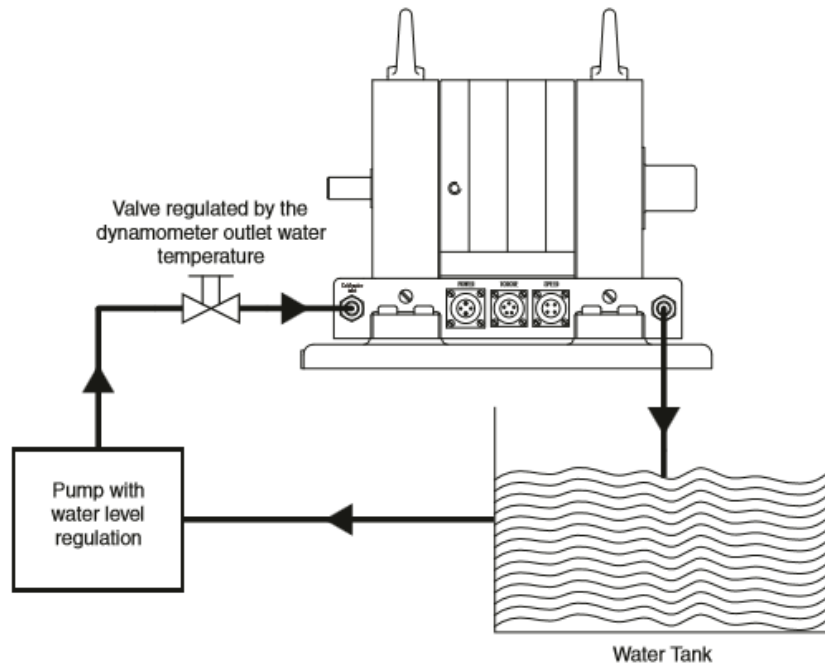
Figura 26. Bomba sumergible AQUA-45W.



Fuente: Evans tienda oficial en línea. "Bombas sumergibles". [En línea] [Fecha de consulta:16/04/19]. Disponible en: <https://www.evans.com.co/producto/bomba-sumergible-fuentes-45-w-aqua45w>

7.2.6 Sistema de enfriamiento por agua. Los sistemas de circuito cerrado de recirculación de agua disminuyen los costos tanto de operación como de mantenimiento y son fáciles de instalar. Prácticamente no existen fugas de agua, no hay consumo de agua en un circuito presurizado y completamente cerrado.

Figura 27. Circuito cerrado de refrigeración.



Fuente: MAGTROL WB/PB 115 Series Eddy-Current and Powder Dynamometers.

El agua es el medio de enfriamiento líquido ideal, su calor específico es mayor que el de cualquier otro líquido, más o menos el doble que el de los hidrocarburos. Es de baja viscosidad, relativamente no corrosivo y fácilmente disponible. El calor específico del agua (C_w) se suele tomar como: $C_w = 4,1868 \text{ (kJ/kg K)}$.

El uso de anticongelante (glicol de etileno) como un aditivo para el agua permite la operación a través de una gama más amplia de temperaturas del refrigerante. Una solución al 50 por ciento en volumen de etilenglicol en agua permite la operación hasta una temperatura de $-33 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Un anticongelante también eleva el punto de ebullición del líquido refrigerante y una solución al 50 por ciento va a operar a una temperatura de $135 \text{ }^{\circ}\text{C}$ con la presurización de sólo 1,5 bar. El calor específico del glicol de etileno es de aproximadamente 2.28 kJ/kg K , su densidad es 1.128 kg/l , el calor específico de un 50 por ciento por volumen de solución es:

$$(0.5 * C_w) + (0.5 * C_{ge}) = 3.38 \text{ (kJ/kg.K)} \quad \text{Ecuación 7.}$$

$$(0.5 * 4.1868) + (0.5 * 2.128) = 3.38 \text{ (kJ/kg.K)}$$

O un 80 por ciento de la del agua sola. Así, la velocidad de circulación se debe aumentar en un 25 por ciento para la misma velocidad de transferencia de calor y el aumento de la temperatura. La relación entre la tasa de flujo, Q_w (litros por hora), aumento de la temperatura Δt , y el calor transferido al agua es:

$$C_w \cdot Q_w \cdot \Delta T = 3600 \cdot H \quad \text{Ecuación 8.}$$

$$Q_w \cdot \Delta T = 860 \cdot H.$$

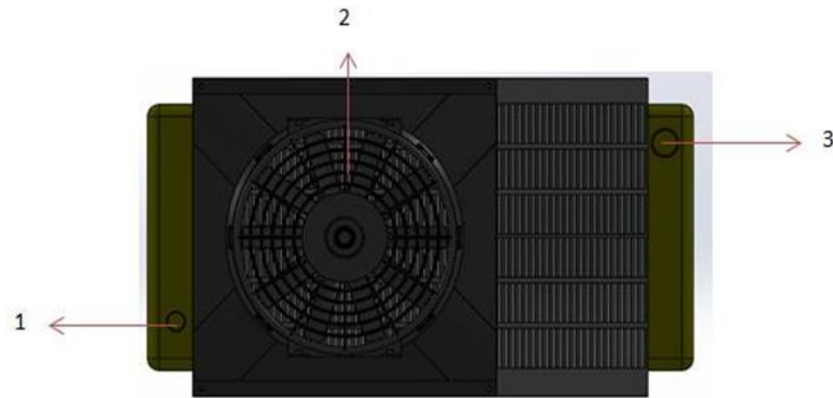
Donde H = tasa de transferencia de calor, kW. (Para absorber 1kW con un aumento de temperatura de 10° C, el caudal requerido es por lo tanto 86L / h)²².

7.2.7 Selección del radiador para el intercambio de calor. Se conoce por radiador al dispositivo que permite intercambiar calor entre dos medios. Sirve para disipar calor de una maquina o aparato para evitar su sobrecalentamiento, generalmente trabaja por convección, pero también por radiación, a lo que debe su nombre. Se entiende por este nombre al intercambiador de calor que cede calor al aire del ambiente en el cual se lleva el proceso de transferencia de calor, además se supuso que el coeficiente total de transferencia de calor U es constante a lo largo de todo el intercambiador y también se sobredimensiono el área del intercambiador de calor en un 30 por ciento llegando a 3.5 m² para evitar futuros inconvenientes a la hora de la transferencia de calor, ver (Anexo F).

²² PLINT, Michael y MARTYR, Anthony. Engine Testing Theory and Practice. Oxford, Inglaterra. Butterworth—Heinemann. 2007, p 109.

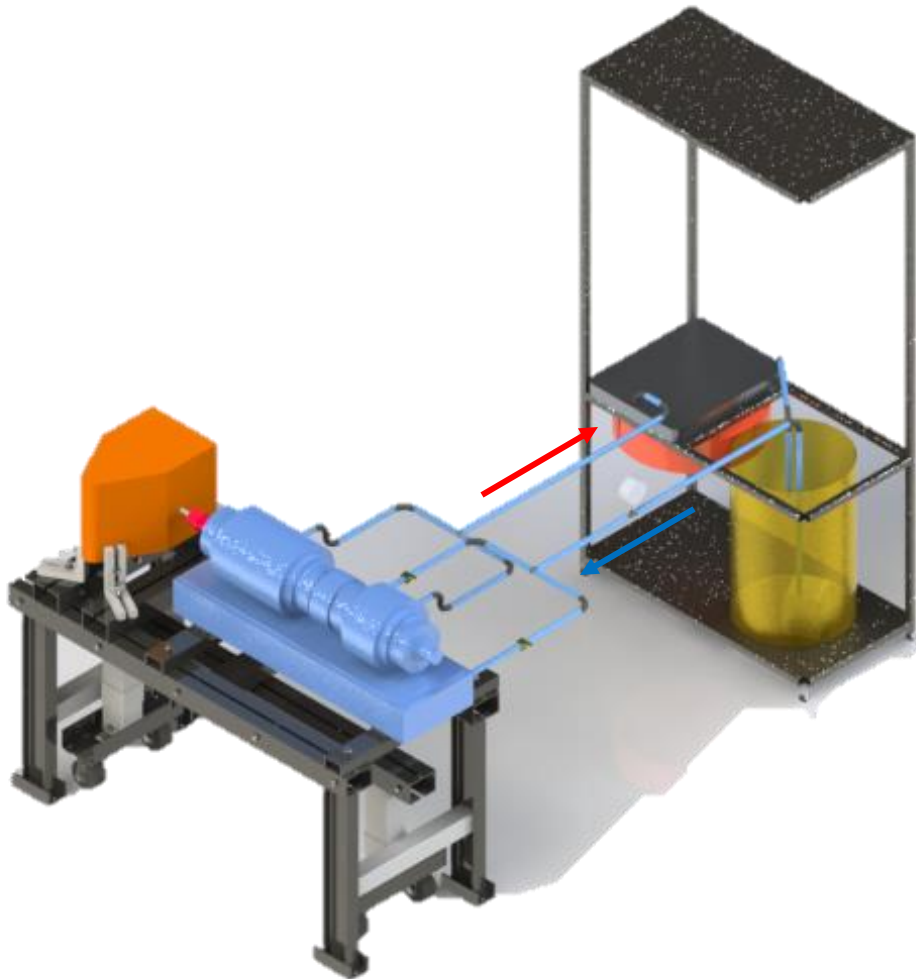
En la Figura 28. Se indica la entrada de agua caliente proveniente del dinamómetro (1), está pasa a través de un ventilador (2), para salir a más baja temperatura (3), para nuevamente ser recirculada mediante la bomba hidráulica AQUA-45W.

Figura 28. Radiador ATOS.



En la Figura 29. Se muestra el circuito cerrado de recirculación de agua para la refrigeración del dinamómetro, el cual consta de un tanque de almacenamiento para el agua, dentro del tanque se aloja la bomba hidráulica encargada de suministrar el caudal de agua necesario para el circuito que pasa por la tubería azul, esta agua entra a temperatura ambiente al dinamómetro y sale caliente proveniente del dinamómetro, pasa por el radiador, para luego salir del radiador por la manguera, para nuevamente ser almacenada en el tanque y ser nuevamente enviada al dinamómetro por medio de la bomba hidráulica.

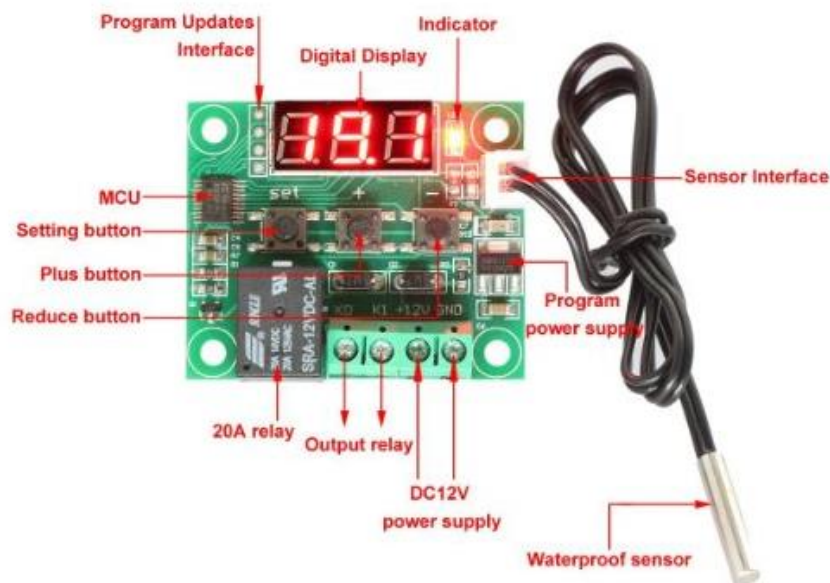
Figura 29. Circuito cerrado de refrigeración.



7.2.8 Control de la temperatura a la salida del dinamómetro. Es necesario controlar la temperatura en todos los sistemas de refrigeración en especial en los sistemas de refrigeración para las celdas de ensayos ya que este cumple una labor muy importante dentro de la celda de ensayos, los sensores de temperatura son dispositivos que transforman los cambios de temperatura en cambios en señales eléctricas que son procesados por equipo eléctrico o electrónico.

En este caso se usará el termostato digital XH-W1209, ver figura 30, el cual permite el control de temperatura en modo ON/OFF, posee un relé el cual se encarga de controlar la potencia de la carga, como por ejemplo una resistencia eléctrica, el sensor de temperatura es un termistor NTC de 10K ohm y el cual tiene un recubrimiento que le permite sumergir el sensor dentro del agua.

Figura 30. Termostato digital XH-W1209.



Fuente: VISTRONICA. "Tienda virtual de electrónica". [En línea] [Fecha de consulta:16/04/19]. Disponible en: <https://www.vistronica.com/sensores/temperatura/termostato-digital-xh-w1209-detail.html>

Por lo tanto, ajustando el set point de temperatura del termostato digital como lo recomienda Magtrol en el manual de uso justo debajo de la temperatura de corte del termostato de seguridad del dinamómetro (ajuste aproximado ~ 50 °C o 120 °F), para así mantener un delta de temperatura de $\Delta t = 30^{\circ}\text{C}$, que es recomendado por los dinamómetros con configuración en tándem, y así cumplir con el consumo de agua de refrigeración requerido por el sistema hidráulico de refrigeración.

7.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DE COMBUSTIBLE PARA EL MOTOR.

A continuación, se describen las a utilizar para determinar el gasto másico de aire y los parámetros de desempeño de los motores a medir, que están en el rango de 3-30 kW.

Para determinar las curvas de potencia al freno y consumo específico de combustible versus velocidad de rotación, se emplean las relaciones propuestas por B.E Zhelesko²³:

- Potencia al freno (Pe):

$$Pe = P_{\max} * \frac{N}{N_p} * \left[1 + \frac{N}{N_p} - \left(\frac{N}{N_p} \right)^2 \right] \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

Pe — Potencia efectiva en (kW)

Pmax — potencia máxima del motor en (kW)

N — Velocidad de rotación en (rpm)

Np — Número de velocidad de rotación a la máxima potencia Pmax en (rpm)

- Flujo específico de combustible (be):

$$be = be_{\max} * \left[1,2 - \frac{N}{N_p} + 0,8 \left(\frac{N}{N_p} \right)^2 \right]. \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde:

be — Consumo específico de combustible en (g/kW-h).

bemax — consumo específico de combustible a la potencia máxima en (g/kW-h).

²³ B. E. Zhelesko. Fundamentos de la teoría y dinámica de motores de automóviles, Editorial, Escuela superior, Minsk, 1980.

Además de las relaciones conocidas para determinar el flujo másico de combustible, el flujo másico de aire y el factor de relación aire-combustible tomadas de Heywood²⁴.

- Flujo másico de combustible $\dot{m}_f$:

$$\dot{m}_f = \frac{b_e * P_e}{1000} \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde:

$\dot{m}_f$ — Flujo másico de combustible en (kg/h).

- Factor de la relación aire-combustible A/F:

$$\frac{A}{F} = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_f} \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde:

$\frac{A}{F}$ — Factor de la relación aire-combustible adimensional.

$\dot{m}_a$ — Flujo de aire en la admisión del motor en (kg/h)

La referencia del rango de valores para la relación aire-combustible son tomados de The Basic Design of Two-Stroke Engines, Gordon P. Blair²⁵ en donde:

- $\frac{A}{F} = 9$ Cuando el flujo de combustible es elevado y el flujo de aire es bajo.
- $\frac{A}{F} = 14$ Cuando el consumo específico de combustible es mínimo, la mezcla tiende a ser ideal.
- $\frac{A}{F} = 13$ Cuando la potencia es máxima.

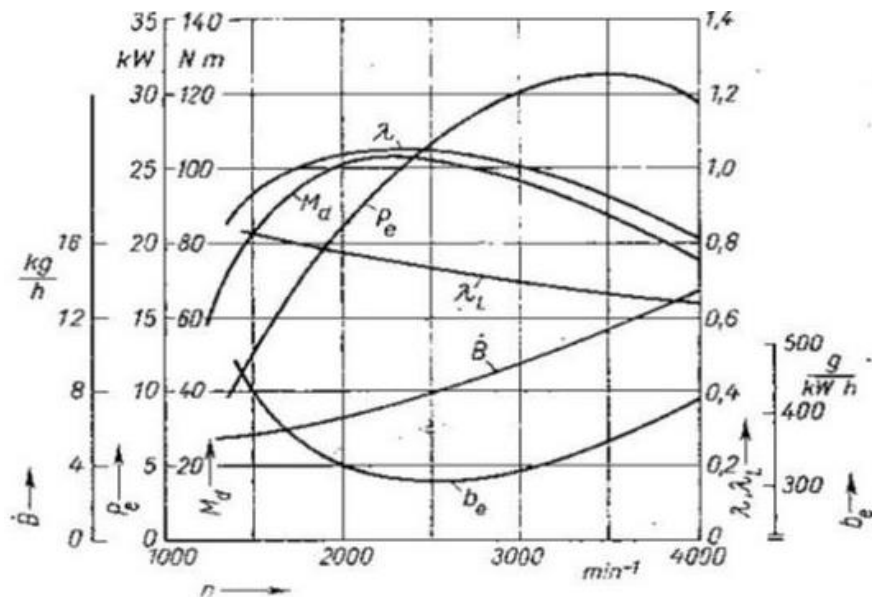
²⁴ HEYWOOD, J.B. Internal Combustion Engine Fundamentals. USA. McGraw Hill: 1988.

²⁵ GORDON P. BLAIR. The Basic Design of Two-Stroke Engines Society of Automotive Engineers, Inc. Second printing 1993. Printed in the United States of America.

- $\frac{A}{F} = 18$ Para mezcla pobre o límite de fallo por encendido.

Para la determinación y comparación de los parámetros de las 9, 10, 11 y 12 se toma como referencia la figura 31, ésta trata del comportamiento de un motor de gasolina a flujo de combustible constante; donde se observa la potencia efectiva P_e , el consumo específico de combustible b_e , el flujo másico de combustible $\dot{m}_f$ y otros parámetros todos ellos tabulados a partir de la velocidad de rotación n en rpm.

Figura 31. Comportamiento en marcha de un motor OTTO a flujo de combustible constante.



Fuente: JENSEN Jens, MCI, Pág 29.

En la obtención de los valores de flujo másico de aire para la celda CIM2T se utilizan las antes descritas y se proceden a calcular, para la determinación de los parámetros necesarios del flujo de aire, se tomaron referencias de motores usados comúnmente en la industria, de los cuales se escogen tres, en el rango de potencia a utilizar de 5-30 kW en la celda.

7.2.1 Cortador de concreto Dolmar PC-7414. En la Figura 32 se observa una cortadora de concreto de la marca Dolmar el cual posee un motor de 2 tiempos, el cual se usará en el banco para las pruebas, ver (Anexo H).

Figura 32. Cortador de concreto Dolmar PC-7414.



Fuente: Cortador de concreto PC-7414 [En línea], [Fecha de consulta:29/011/2018]. Disponible en: www.dolmarpowerproducts.com/productcatalog/power_cutters/pc-8216/index.html

Tabla 5. Especificaciones técnicas del cortador de concreto Dolmar PC-7414.

Desplazamiento	83 cm³
Diámetro x carrera	38 mm
Máxima potencia/Rev. Nominal	5 / 9150 kW/rpm
Consumo específico de combustible	450 g/kW-h

Fuente: Cortador de concreto PC-7414 [En línea], [Fecha de consulta:29/011/2018]. Disponible en: www.dolmarpowerproducts.com/productcatalog/power_cutters/pc-8216/index.html

A partir de los datos y las 9, 10, 11 y 12 obtenemos los resultados de la Tabla 4 tomando la recomendación del rango de aire-combustible A/F de Blair²⁶ y la variación de velocidad de rotación desde 500 a 9150 rpm.

²⁶ GORDON P. BLAIR. The Basic Design of Two-Stroke Engines Society of Automotive Engineers, Inc. Second printing 1993. Printed in the United States of America.

Tabla 6. Relación de los diferentes parámetros para Dolmar PC-7414.

be	N	mf	Pe	A/F	ma	T
516,5	500	0,1484	0,2873	9	1,336	5,488
503,5	798,3	0,2371	0,471	9,41	2,231	5,634
491,2	1097	0,3254	0,6624	9,82	3,195	5,769
479,8	1395	0,4129	0,8607	10,23	4,224	5,892
469,1	1693	0,4994	1,065	10,64	5,314	6,005
459,1	1991	0,5847	1,273	11,05	6,461	6,107
449,9	2290	0,6686	1,486	11,46	7,662	6,197
441,5	2588	0,751	1,701	11,87	8,915	6,277
433,9	2886	0,8321	1,918	12,28	10,22	6,345
427	3184	0,9116	2,135	12,69	11,57	6,402
420,9	3483	0,9898	2,352	13,1	12,97	6,448
415,5	3781	1,067	2,567	13,51	14,41	6,483
410,9	4079	1,142	2,78	14	15,99	6,507
407,1	4378	1,217	2,989	14	17,04	6,52
404,1	4676	1,29	3,194	13,97	18,03	6,522
401,8	4974	1,363	3,392	13,94	19	6,513
400,2	5272	1,435	3,585	13,91	19,96	6,492
399,5	5571	1,506	3,769	13,88	20,9	6,461
399,5	5869	1,576	3,945	13,85	21,82	6,418
400,2	6167	1,645	4,111	13,82	22,74	6,365
401,8	6466	1,714	4,266	13,79	23,63	6,3
404,1	6764	1,781	4,409	13,75	24,49	6,224
407,1	7062	1,848	4,539	13,7	25,32	6,137
411	7360	1,913	4,655	13,65	26,11	6,039
415,6	7659	1,976	4,756	13,6	26,88	5,93
420,9	7957	2,038	4,841	13,5	27,51	5,81
427	8255	2,096	4,909	13,4	28,09	5,679
433,9	8553	2,152	4,959	13,3	28,62	5,536
441,6	8852	2,203	4,99	13,15	28,97	5,383
450	9150	2,25	5	13	29,25	5,218

Con los resultados tabulados en la Tabla 5 se obtienen las Figuras 33, 34 y 35; de las curvas características del motor Dolmar comparándolas con la Figura 31 de referencia.

Figura 33. Gráfica de potencia vs velocidad de rotación del motor Dolmar PC- 7414.

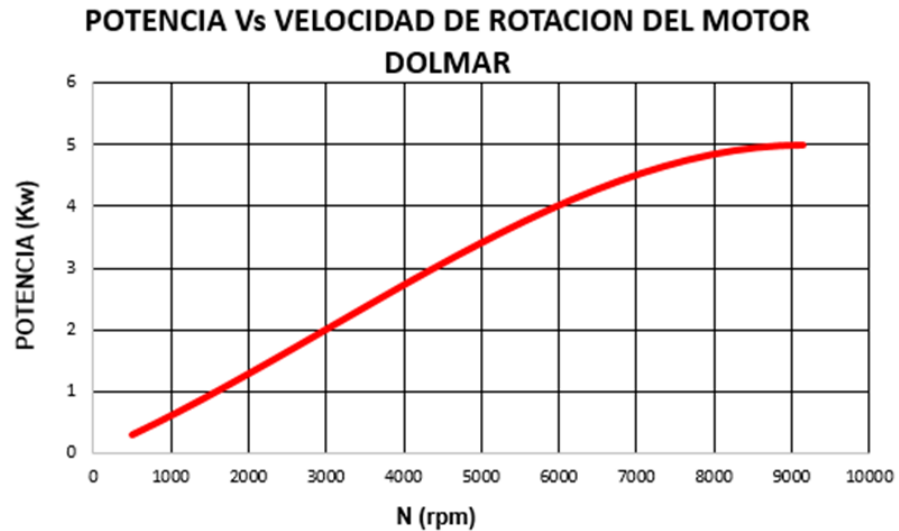


Figura 34. Gráfica del consumo específico de combustible vs velocidad de rotación para el motor DOLMAR PC-7414.

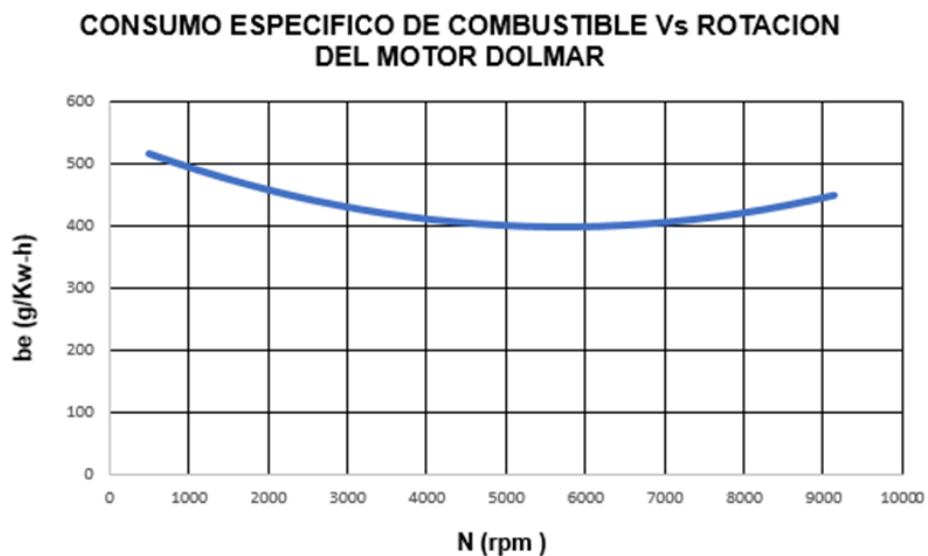
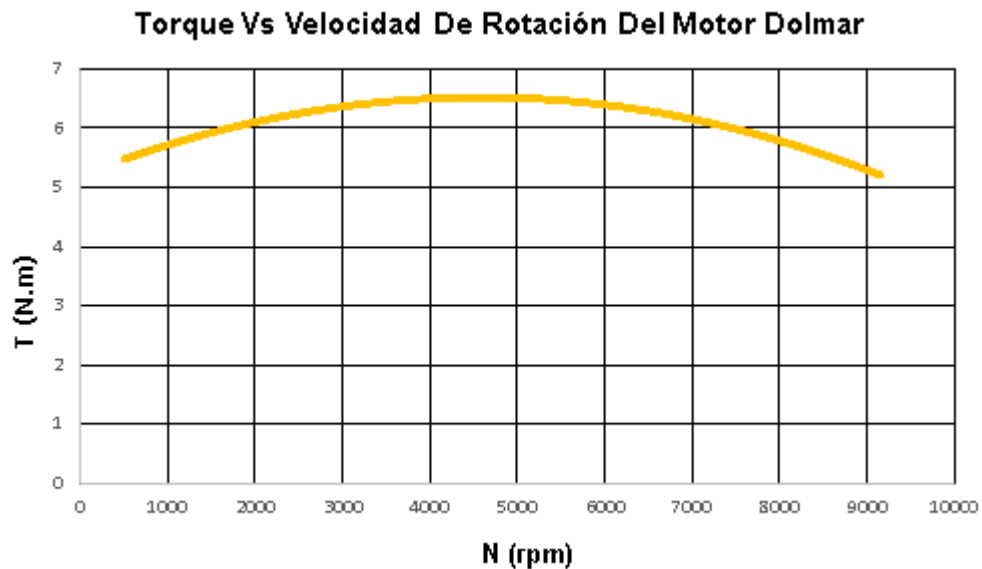


Figura 35. Torque vs velocidad de rotación para el motor DOLMAR PC-7414.



7.2.2 Medición del consumo de combustible en motores. El consumo de combustible es una variable importante del estado de funcionamiento del motor, por lo que es conveniente medir el flujo másico del combustible (Kg/h) y comprobar su valor. Conocida la cantidad de combustible consumida durante el tiempo empleado durante la prueba y dividiéndola sobre la potencia del motor, se determina su consumo específico de combustible, este último es un parámetro comparativo que muestra con que eficiencia convierte un motor el combustible en trabajo útil.

7.2.3 Gasolina corriente: Es una mezcla de hidrocarburos derivada del petróleo que se utiliza como combustible en MCI con encendido a chispa convencional o por compresión. Contiene una mezcla corriente compleja en donde puede haber de 200 a 300 hidrocarburos distintos. También, se adiciona una sustancia química, que permite obtener información sobre la procedencia del combustible sin que modifique la calidad del producto.

Tabla 7. Propiedades de la gasolina corriente

	METODO	MIN	MAX
INVESTIGAR NÚMERO DE OCTANO - RON	D2699	91.5	
PLOMO [GR/LT]	D3237 / D5059		0.02
DESTILACIÓN (°C) - 10% VOL. EVAP.	D86		75
DESTILACIÓN (°C) - 50% VOL. EVAP.	D86		120
DESTILACIÓN (°C) - 90% VOL. EVAP.	D86		180
DESTILACIÓN (°C)- PUNTO DE EBULLICIÓN FINAL- FBP	D86		221
RESIDUO			2
PRESIÓN DE VAPOR REID A 37.8 C DGR (100 F DEG) - [PSI]	D323 / D5191		9.0
GOMA EXISTENTE	D381		4
ESTABILIDAD DE OXIDACIÓN	D525	240	
CONTENIDO TOTAL DE AZUFRE [%w]	D4294 / D2622		0.15
CORROSIÓN EN BANDA DE COBRE	D130		1
AZUFRE MERCAPTANO	D-3227		0.0015
COLOR ? VISUAL		SIN TINTE	
OLOR		COMERCIAL	
GRAVEDAD API A 60° F		REPORTE	
NÚMERO DE OCTANO EN MOTOR - MON	D2700	REPORTE	
BENCENO	D5580/ D3606 / PIANO	REPORTE	
OLEOFINAS	D5580/ D1319 / PIANO		30
AROMÁTICOS [%VOL]	D5580/ D1319 / PIANO	REPORTE	
OXIGENADOS			10

Fuente: ECOPETROL. "Propiedades de la gasolina corriente". [En línea], [Fecha de consulta:29/011/2018]. Disponible en:
<https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/productos-y-servicios/comercio-internacional/importaciones/gasolina>.

7.2.4 Precauciones para el manejo de los combustibles. La gasolina se clasifica como un líquido inflamable clase 1A de acuerdo con la Norma 321 de la NFPA (National Fire Protection Association), por lo cual debe tenerse especial cuidado y es indispensable cumplir con los estándares establecidos para el diseño de los tanques de almacenamiento, tuberías, llenadores y equipo de las estaciones de servicio al público. Este producto es volátil, genera vapores desde una temperatura de -43°C , los cuales al mezclarse con aire en proporciones de 1.1 a 7.6% en volumen producen mezclas inflamables y explosivas. Para su manejo seguro utilice ropa impermeable adecuada, gafas y guantes de seguridad, por esta razón lo más recomendable es dejar el tanque de almacenamiento de combustible afuera del sótano debida mente enterrado para evitar este tipo de accidentes.

7.2.5 Determinación de las generalidades para la medición de combustible. La determinación del consumo de combustible no es fácil de realizar para una medición exacta, pero es de gran importancia dados los requerimientos propios del motor y los altos costos de los combustibles. Para obtener óptimos resultados se deben tener en cuenta condiciones ambientales estables dentro de la celda y complementarlas con un medidor de gasto másico dependiendo de las necesidades de exactitud requeridas.

Existen diferentes principios de funcionamiento para los medidores de flujo de combustible, dentro de los más comerciales tenemos:

7.2.5.1 Medidor de flujo volumétrico: Los medidores de flujo volumétricos determinan el caudal en volumen del fluido, bien sea directamente (desplazamiento), bien indirectamente por deducción (presión diferencial, área variable, velocidad, fuerza, tensión inducida). Hay que señalar que la medida de caudal volumétrico en los laboratorios se efectúa principalmente con elementos que

dan lugar a una presión diferencial al paso del fluido. Entre estos elementos se encuentran la placa de orificio, la tobera y el tubo Venturi.

7.2.5.2 Medidor de flujo másico: La determinación del caudal másico puede efectuarse a partir de una medida volumétrica compensándola para las variaciones de densidad del fluido, o bien determinando directamente el caudal másico aprovechando características medibles de la masa del fluido.

7.2.6 Determinación de flujo másico de combustible. Determinadas la potencia y el consumo de aire de combustión realizamos el cálculo del consumo de combustible.

$$\dot{m}f = \frac{Pe}{\eta e * Hu} * 3600 \text{ Ecuación 13}$$

Dónde:

$\dot{m}f$ -- Gasto másico de combustible en la potencia al freno en kg/h

ηe -- La eficiencia térmica

Hu -- El poder calorífico en kJ/Kg*k.

$$\dot{m}f = \frac{be * Pe}{1000} \text{ Ecuación 11}$$

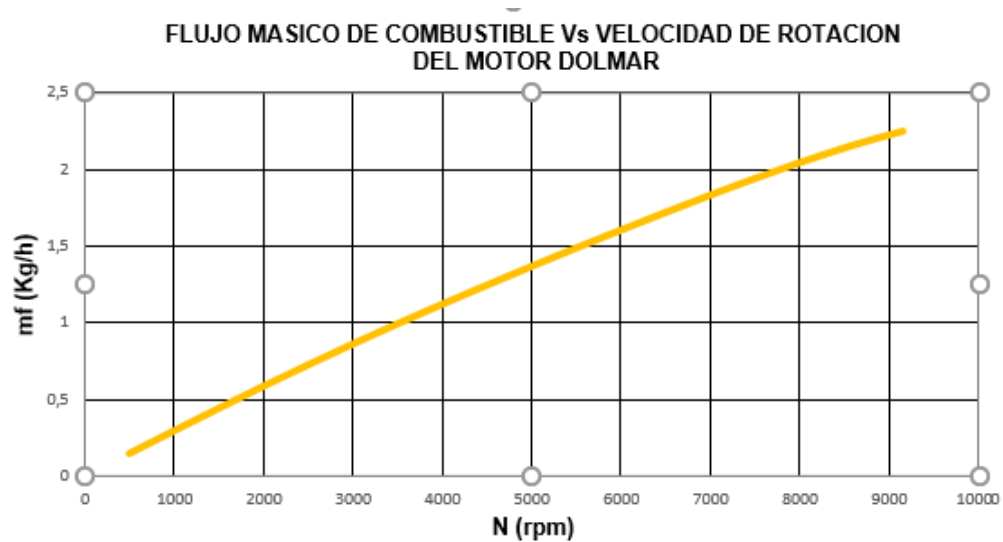
Dónde:

be -- Consumo específico de combustible por kilovatio de potencia $\left(\frac{g}{Kw-h}\right)$.

De los cálculos obtenidos según las (9), (10), (11), (12) y (13) se muestran las curvas del flujo másico de combustible para el motor.

En la Tabla 4, Se muestran los datos del motor Dolmar de 3.8 kW de potencia dada en el capítulo anterior. En la Figura 36, Se muestra la curva de potencia según los datos suministrados en las Tablas 1 y 2.

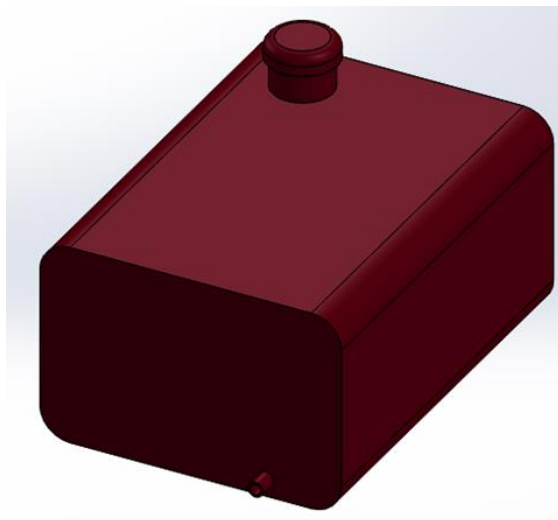
Figura 36. Consumo de combustible en un motor de Dolmar PC 7414 de 5 kW.



7.2.7 Selección del tanque de almacenamiento para combustibles líquidos.

Para el banco de pruebas se seleccionó un tanque volumétrico de 5 galones para tener dentro del laboratorio para uso diario que se utilizará para las diferentes pruebas durante el día como lo muestra la Figura 37.

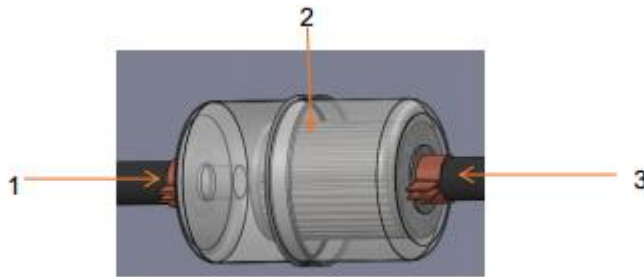
Figura 37. Tanque de 5 galones para gasto diario



7.2.8 Selección del filtro de combustible. Un filtro de gasolina es un componente con apariencia de colador que está en un vehículo y que filtra los contaminantes, tales como pequeñas partículas de tierra u otros restos de combustible, antes de que entre al motor. El filtro de la gasolina es una parte esencial para mantener el motor funcionando; con el tiempo, el filtro de la gasolina puede fallar o atascarse con desechos, lo cual puede tener efectos severos en el funcionamiento del automóvil.

En la Figura 38 se muestra el filtro de combustible con sus partes: entrada del combustible (1), sección de tamizado (2) y salida del combustible (3).

Figura 38. Filtro de gasolina.



7.2.9 Selección mangueras de suministro de combustible. En la celda de ensayos es necesario tener una manguera flexible para llenado de tanque de combustible con las siguientes especificaciones:

- Tubo interno: Nitrilo, material especial que resiste el contacto con derivados del petróleo.
- Refuerzo: Espiral de alambre Inter construido.
- Cubierta: Neopreno, material especial que resiste el contacto con derivados del petróleo y las agresiones a que está sometida por su uso.

Mayor duración:

- Hule resistente al ataque directo de combustibles y aceites.
- Reforzadas con una espiral de alambre Inter construido para soportar la flexión.
- Altamente segura: Excelente resistencia a la flama y sellado perfecto en la unión.
- Superan las especificaciones que marca la Sociedad de Ingeniería Automotriz SAE 30 R5.

Mejor desempeño:

- Soporta temperaturas de -40°C a 100°C (-40°F a 212°F) sin sufrir alteraciones.
- Cubierta de hule resistente a la fricción y agresiones del medio ambiente.
- Permite la flexión sin colapsarse.

Recomendación de Reemplazo:

- Cuando menos cada 4 años.
- Cuando exista fuga o sospecha de fuga cercana al tanque de combustible.

En la Tabla 7. Se encuentran las especificaciones de la manguera seleccionada de ¼ pulgadas con las especificaciones anteriormente nombradas.

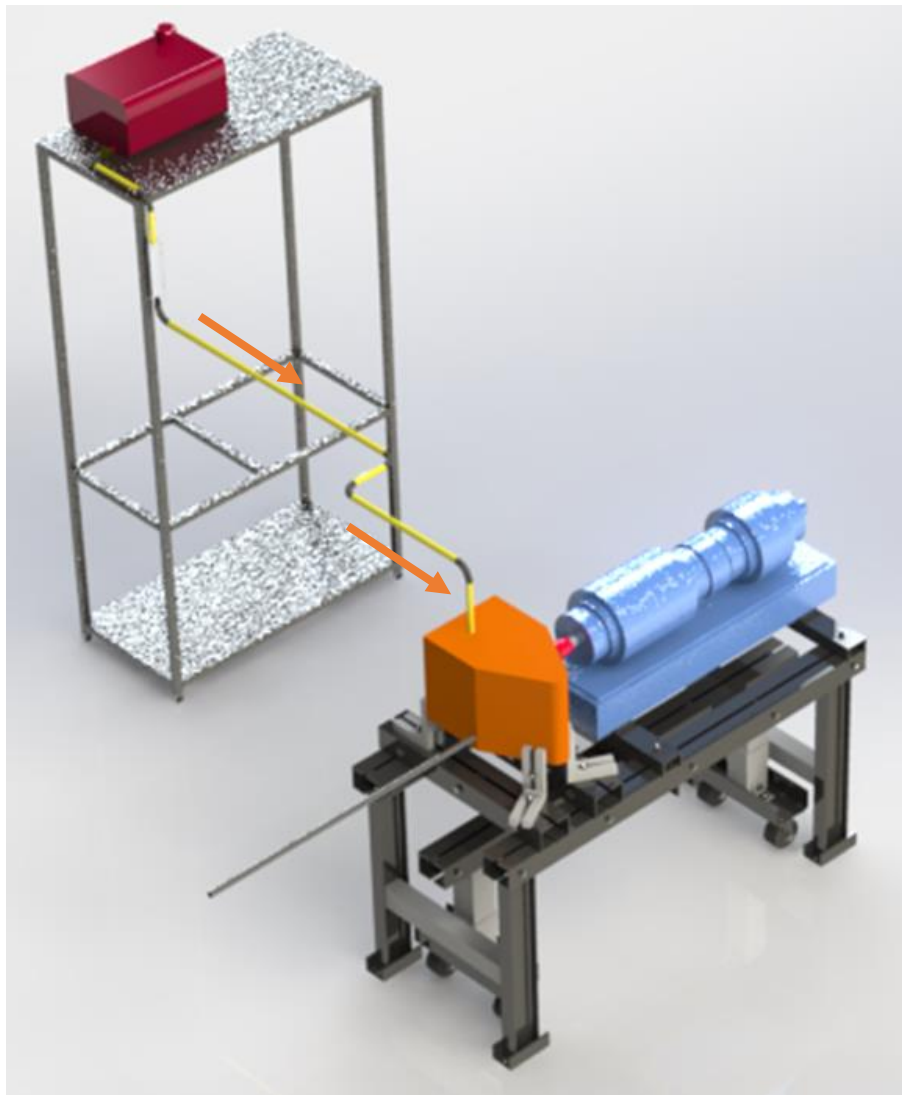
Tabla 8. Especificaciones manguera.

NO. PARTE (3 mts)	NO. PARTE (7.62 mts)	DIAMETRO INTERIOR(plg)	PRESION DE TRABAJO (psi)
27082	27094	1 / 4	180
27085	27095	5 / 16	180
27088	27096	3 / 8	180

Fuente: Manguera para combustible. [En línea], [Fecha de consulta: 29/11/2018]. Disponible en: <http://rdv.com.co/producto/manguera-para-combustible/>

7.2.10 Sistema de suministro de combustible para el banco de pruebas. El sistema de suministro de combustible consta de un tanque de almacenamiento, del cual sale el combustible pasando por un filtro luego así pasando por la válvula para asegurarnos que al motor solamente llegue la cantidad necesaria de combustible y sin suciedad, según las exigencias del motor y las norma SAE J1349.

Figura 39. Esquema del sistema de medición del flujo de combustible.



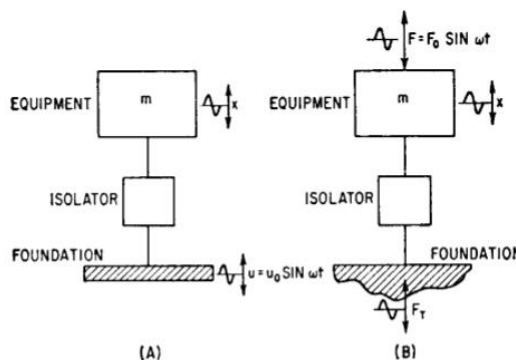
8. SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS NECESARIOS PARA EL BANCO.

8.1 SELECCIÓN DE LOS AISLADORES DE VIBRACIÓN PARA EL MCI.

Las fuerzas vibratorias generadas por máquinas son a menudo inevitables; sin embargo, su efecto puede reducirse sustancialmente agregando resortes denominados aisladores. La función principal de un aislador de vibraciones es disipar la energía del mismo en forma de calor o radiación, por consiguiente, la pérdida de energía se traduce en decrementos de la amplitud de la vibración libre, pero en el caso de vibración forzada, la pérdida de energía es compensada por energía suministrada por la excitación, entonces la capacidad de carga y la cantidad de energía que es capaz de disipar son las principales propiedades de este tipo de elementos y en base a estas funciones se hace la selección necesaria para mantener controlados los niveles de vibración transmitidos.

Para la selección de los aisladores de vibración es necesario indicar el porcentaje de eficiencia de aislamiento que se desea y poseer información del sistema a aislar como lo es la transmisibilidad requerida, la frecuencia de forzamiento, la frecuencia natural, la masa y la rigidez del sistema.

Figura 40. Diagramas esquemáticos de los sistemas de aislamiento de vibraciones.



Fuente: PIERSOL, Allan. Harris' shock and vibration handbook. 5 ed. New York, McGRAW-HILL, 2002.

Para reducir la cantidad de vibración transmitida a la estructura soporte y a los otros componentes del sistema como el Dinamómetro, según Piersol generalmente es posible alcanzar una eficiencia de aislamiento de vibración de 70 a 90 por ciento²⁷.

Figura 41. Relación de frecuencia requerida para lograr varios valores de eficiencia de aislamiento de vibración.

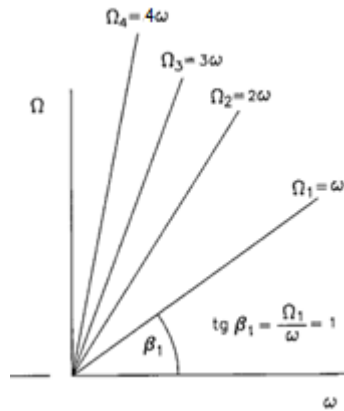
Isolation efficiency, %	Maximum transmissibility	Required f/f_n
90	0.1	3.32
80	0.2	2.45
70	0.3	2.08
60	0.4	1.87
50	0.5	1.73
40	0.6	1.63
30	0.7	1.56
20	0.8	1.50
10	0.9	1.45
0	1.0	1.41

Fuente: PIERSON, Allan. Harris' shock and vibration handbook. 5 ed. New York, McGRAW-HILL, 2002, page 1082.

De acuerdo con la figura 41, se desea un 90 por ciento de eficiencia de aislamiento y así reducir al máximo la cantidad de vibración transmitida, la transmisibilidad máxima será de 0.1 y la relación de frecuencias necesaria es de 3.32.

²⁷ PIERSON, Allan. Harris' shock and vibration handbook. 5 ed. New York, McGRAW-HILL, 2002, page 1082.

Figura 42. Velocidades angulares del cigüeñal para las cuales hay resonancia.



Fuente: PAZ, Antonio. El equilibrio de los Motores de Combustión Interna alternativos. Tesis Doctoral. La Coruña, febrero de 1996, p 125.

Según la figura 42 para encontrar la frecuencia de forzamiento más baja, que se usa debido a que esta es la peor condición donde el cigüeñal del motor entrará en resonancia a la frecuencia f que será:

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \left(\frac{n}{60}\right) \quad \text{Ecuación 14.}$$

Utilizando la ecuación número catorce y con la velocidad del motor $n = 2300$ rpm se tiene que la frecuencia de forzamiento f será de 38,33 Hz.

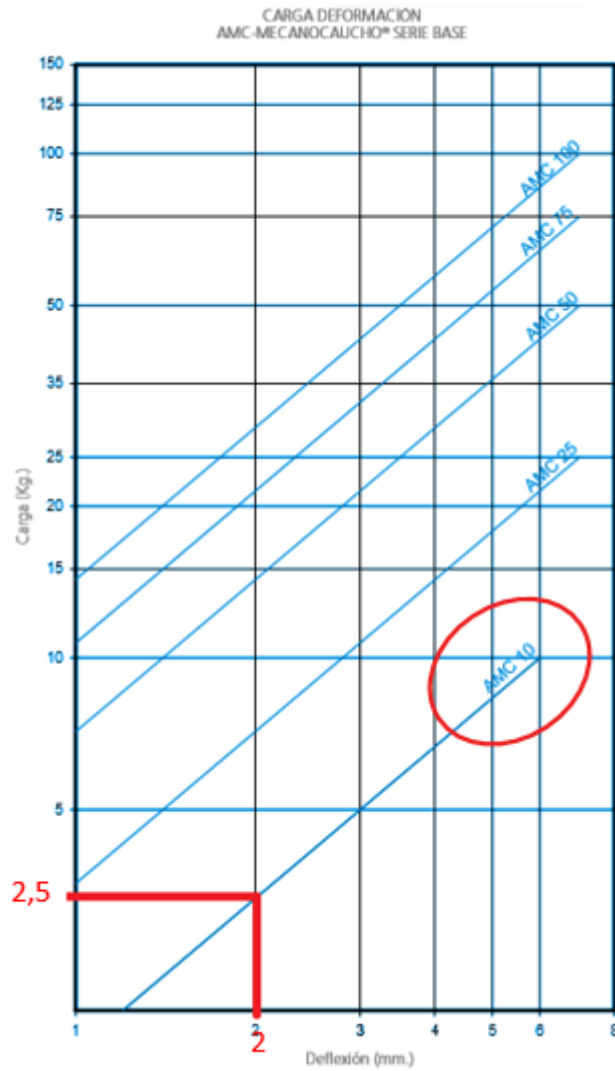
Y como la relación de frecuencias es: $f/f_n = 3,32$ tomada de la figura 41, se tiene que la frecuencia natural del sistema f_n es de 11,55 Hz, ahora con la formula de la frecuencia natural de un sistema resorte-masa no amortiguado:

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} = \frac{15,76}{\sqrt{\delta_{st}}} \quad \text{Ecuación 15.}$$

Para una masa del motor de combustión interna de 10 (Kg), reemplazando los valores en la ecuación 15, se calcula que el valor de la rigidez K necesaria para el sistema es de 52630 (N/mm) y la deformación estática δ_{st} requerida para

proporcionar una frecuencia natural de 11,5 Hz es de 2 (mm), por lo tanto, como hay cuatro apoyos para el motor, donde se colocaran los absorbedores de vibración, de acuerdo con esto se necesita una rigidez individual para cada disipador de 13157 (N/mm) y cada aislador deberá soportar una masa de 2,5 Kg. Conociendo los parámetros básicos necesarios para los aisladores de vibración, seleccionamos del catálogo general de AMC el aislador de vibraciones que cumpla con los requerimientos planteados anteriormente.

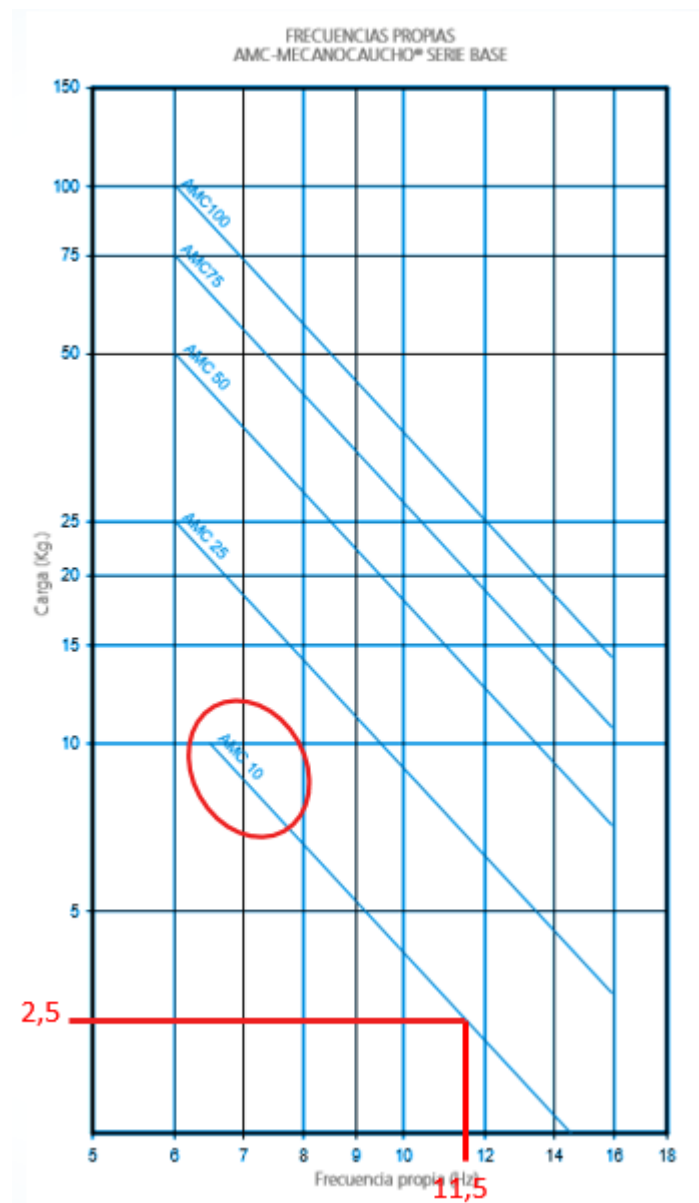
Figura 43. Deflexión del aislador según la carga aplicada.



Fuente: Catalogo general AMC.

Según la figura 43 para la carga de 2,5 (Kg) y la deflexión 2 (mm) se selecciona el aislador de vibración tipo AMC 10-B con código de catálogo 20171 que cumple con los requisitos del sistema, ahora se debe confirmar que este disipador cumpla con la frecuencia natural de 11,5 Hz hallada anteriormente.

Figura 44. Frecuencias propias según la carga aplicada.



Fuente: Catalogo general AMC.

El aislador AMC 10-B cumple con la frecuencia propia necesaria para la carga individual que debe soportar como se observa en la figura 44, por lo tanto, se valida la selección del aislador de vibraciones que se seleccionó del catálogo general AMC, en la figura 45 se aprecia el aislador seleccionado y en la figura 46 se aprecian sus principales dimensiones.

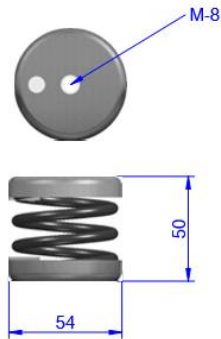
Figura 45. Aislador de vibraciones AMC 25-B.



Fuente: Catalogo general AMC.

Figura 46. Dimensiones del aislador de vibraciones AMC 25-B.

Tipo	Color muelle	M	Carga máx (kg.)	Código	Peso (kg.)
AMC 10-B	BLACK	M-8	10	20171	0,2
AMC 25-B	BLACK	M-8	25	20173	0,205
AMC 50-B	BLACK	M-8	50	20175	0,254
AMC 75-B	BLACK	M-8	75	20177	0,26
AMC 100-B	BLACK	M-8	100	20179	0,29



Fuente: Catalogo general AMC

8.2 SELECCIÓN DEL ACOUPLE DINAMÓMETRO-MOTOR.

Los acoplamientos del dinamómetro utilizados con el motor bajo prueba es un factor importante a tener en cuenta. De hecho, un acoplamiento que no esté especificado correctamente para la aplicación dará lugar a errores de medición y un desgaste prematuro del dinamómetro.

Teniendo en cuenta el hecho de que el dinamómetro es un dispositivo de medición de precisión, se deben usar acoplamientos de alta calidad. Los acoplamientos con insuficiente rigidez de torsión generarán señales sinusoidales no deseadas en la señal de medición originales.

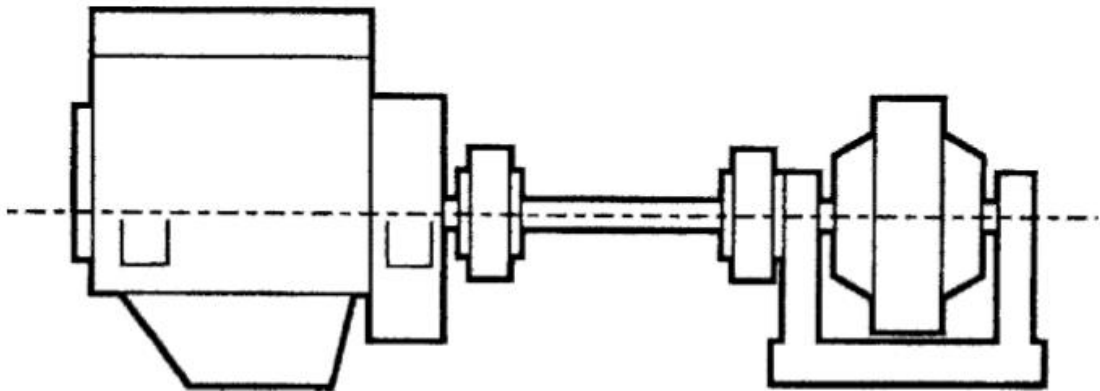
La selección de acoplamientos y ejes adecuados para la conexión del motor al dinamómetro no es en absoluto una cuestión simple. La elección incorrecta o el diseño defectuoso del sistema pueden dar lugar a una serie de problemas:

- Oscilaciones torsionales.
- Vibración del motor o dinamómetro.
- Giro del eje de acoplamiento.
- Daños en los cojinetes del motor o dinamómetro.
- Desgaste excesivo de los componentes de la línea del eje.
- Fallo catastrófico de los ejes de acoplamiento.
- Problemas de arranque del motor.

Todo este tema, el acoplamiento del motor y el dinamómetro, puede ocasionar más problemas que cualquier otro aspecto rutinario de las pruebas del motor, y es deseable una comprensión clara de los muchos factores involucrados, además los acoplamientos deben amortiguar las vibraciones axiales, radial y aislar el dinamómetro de las vibraciones generadas por la unidad a prueba, en particular en caso de motores de gas.

La característica especial de esta operación es que se debe considerar y tener en cuenta cada vez que se instala un nuevo motor, además que se debe reconocer que un comportamiento torsional poco satisfactorio está asociado con todo el sistema (motor-acople-dinamómetro) y no con cada elemento por separado, por consiguiente, en la figura 47 se muestra un esquema para realizar un acople de manera sencilla entre el motor de combustión interna y el dinamómetro.

Figura 47. Acoplamiento dinamómetro-motor.



Fuente: Engine Testing Theory and Practice. A.J. Martyr, M.A. Plint.

Entonces se decide seleccionar un acople flexible, ya que estos tipos de acoples tienen una gran ventaja al ser amortiguadores de efectos torsionales y vibratorios, la cual es una característica deseada para este tipo de prácticas, también pueden proteger al equipo de sobrecargas por fallas en el sistema y pueden trabajar en condiciones de desalineamiento angular o paralelismo, por consiguiente, se pasa al proceso de selección del acople según el catálogo Acoplamientos Elásticos Martin.

Figura 48. Factores de servicio.

CASOS ESPECIALES Para aplicaciones en condiciones de trabajo con choques, vibraciones y fluctuaciones (bombas de pistones, compresores, etc.), contactar con toda la información de la máquina para que sea analizado.	TIPO DE MAQUINA MOTRIZ					
	MOTORES ELECTRICOS TURBINA DE VAPOR		M. COMBUSTION INTERNA, TURBINA DE VAPOR, TURBINA DE AGUA			
	HORAS TRABAJADAS AL DIA					
TIPO DE MAQUINA	Hasta 10	De 10 a 16	Desde 16	Hasta 10	De 10 a 16	Desde 16
Clase 1: Agitadores, compresores, centrifugos y bombas, dinamómetros, cintas transportadoras, empaquetadoras, filtros de aire, ventiladores centrifugos, generadores.	0,8	0,9	1,0	1,3	1,4	1,5
Clase 2: Maquinaria herramienta, maquinaria para la madera, bombas rotativas, mezcladores, pantallas rotativas, maquinaria téxtil.	1,3	1,4	1,5	1,8	1,9	2,0
Clase 3: Aparatos elevadores, machacadoras, compresores rotativos, dragas, hornos rotativos, prensas de ladrillos, prensas de corte, calandras.	1,8	1,9	2,0	2,3	2,4	2,5
Clase 4: Transportadores recíprocos, máquinas para el caucho, machacadoras rotativas, molinos, pantallas vibratorias.	2,3	2,4	2,5	2,8	2,9	3,0

Fuente: Catálogo de Acoplamientos Elásticos Martin.

- I. Determinar el factor de servicio de la figura 48 adecuado para la aplicación requerida, por lo tanto, con el tipo de maquina Clase 1: (Dinamómetros) y el tipo de maquina motriz: Motor de combustión interna para diez horas de trabajo al día se tiene un factor de servicio de (1,3).
- II. Calcular el torque operativo de la aplicación tomado del catálogo de acoplamientos de disco REXNORD en la página 5 mediante la siguiente formula:

$$\text{Torque} = \frac{9550 * \text{Kilovatios de accionamiento}}{\text{Velocidad operativa}} \quad (N.m) \quad \text{Ecuación 16.}$$

$$\text{Torque} = \frac{30}{\pi} * \frac{9550 * 3.8 \text{ KW}}{4300 \text{ rpm}} = 80,6 \text{ (N.m)} \quad \text{Ecuación 17.}$$

- III. Multiplicar el torque operativo por el factor de servicio determinado anteriormente, para así, determinar el valor nominal del torque requerido mínimo del acoplamiento.

$$\text{Torque minimo requerido} = 80,6 * 1,3 = 105 \text{ (N.m)} \quad \text{Ecuación 18.}$$

IV. Ahora se busca el acoplamiento en la sección de tipo de acoplamiento del catálogo que cumpla con el valor nominal de torque requerido mínimo.

Tabla 9. Acoplamientos Serie Jaw Lovejoy-Martin- Rathi.

CARACTERÍSTICAS Y DIMENSIONES EN MM							PAR NOMINAL Nm		
							E + A	U	H
Tipo	A	OD	B	D	E	Máx. agujero	NBR	URETANO	HYTREL
L. 035	15,9	-	20,6	6,7	15,9	10	0,46	0,60	1
L. 050	27,4	-	43,6	15,9	27,4	16	4	6	11
L. 070	34,5	-	50,8	19,1	34,5	19	6	8	14
L. 075	44,5	-	54,0	20,6	44,5	24	12	15	27
L. 090	53,6	65	54,0	20,6	53,6	25	20	32	47
L. 095	53,6	65	63,5	25,4	53,6	28	26	32	64
L. 100	64,3	78	89,0	34,9	64,3	35	47	70	141
L. 110	84,1	96	108,0	42,9	84,1	42	89	134	256
L. 150	95,3	111	114,3	44,4	95,3	48	141	212	405
L. 190	114,3	129	123,8	49,2	101,6	55	190	285	512
L. 225	127,0	142	136,5	55,6	108,0	65	265	398	768
L. 276	-	173	200	80	127	75	532	798 (E)	1330 (QF)
L. 295	-	253	238	95	162	95	1279	1919 (E)	3197 (QF)
L. 2955	-	253	264	108	180	105	2132	3198 (E)	5330 (QF)
L. 300	-	272	283	115	180	105	3047	4570 (E)	7617 (QF)
L. 350	-	323	309	128	200	115	4308	6462 (E)	10770 (QF)

Fuente: Catálogo de Acoplamientos Elásticos Martin.

V. Luego verificamos que los tamaños de los orificios del acople seleccionado se puedan adaptar a los diámetros de los ejes conductor del MCI y conducido del dinamómetro.

Como se puede observar en la tabla 8, se selecciona el acople L-150 en material NBR que es el comercial, a este acoplamiento se le puede mecanizar un agujero máximo de 48 mm y se requiere un diámetro de 32 mm para el eje del Dinamómetro, además posee un torque nominal que supera las condiciones de operación del motor en un 34 por ciento.

9. MONTAJE E INSTALACIÓN.

La vida útil del dinamómetro antes de la revisión puede variar desde unos pocos meses hasta unas pocas décadas, dependiendo de la aplicación, pero igualmente dependiendo de la forma en que se ha montado. Al montar el dinamómetro como lo describe el manual del fabricante, la vida útil y la precisión de medición de la unidad pueden aumentar considerablemente, ver (Anexo I).

9.1 BLOQUEO DEL DINAMÓMETRO DURANTE EL TRANSPORTE.

Los dinamómetros están equipados con una celda de carga para medir el par generado por el sistema probado en el freno. La celda de medición de carga es un instrumento de precisión que debe protegerse contra golpes durante el transporte para garantizar la repetibilidad de la medición.

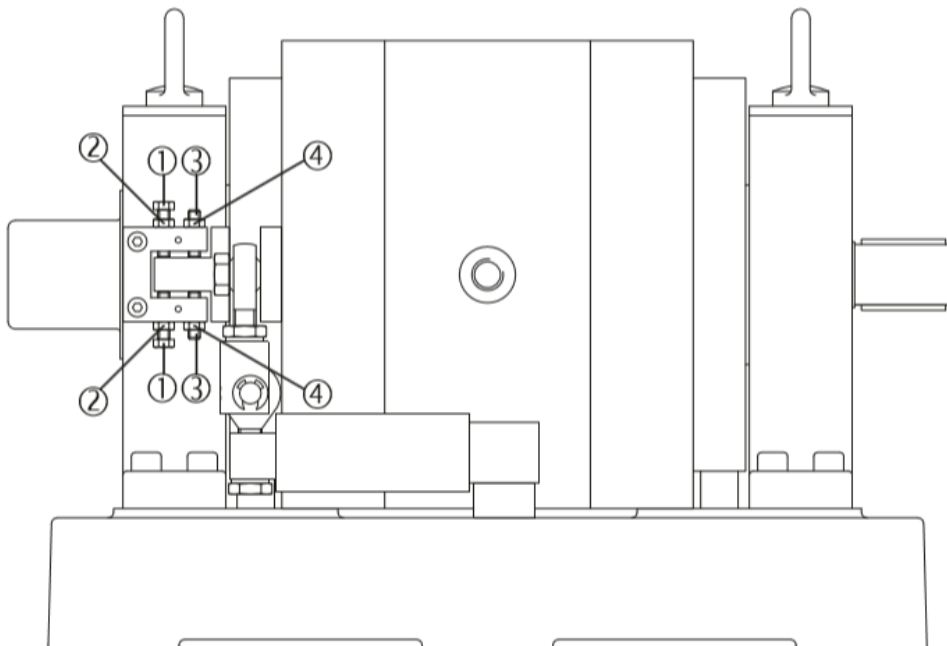
Por lo tanto, todos los dinamómetros Magtrol WB / PB están equipados con un sistema de bloqueo para proteger la celda de carga durante el transporte, entonces el dinamómetro solo se puede usar después de quitar el dispositivo de bloqueo específico para cada modelo a utilizar.

En nuestro caso utilizaremos el dinamómetro Magtrol WB/PB serie 115 con arreglo en tándem que está equipado con un dispositivo mecánico de bloqueo del conjunto del estator que protege la celda de carga durante el transporte. Después de instalar el dinamómetro en el banco de pruebas, proceder de la siguiente manera utilizando la figura 49 para desbloquear el sistema:

1. Aflojar las dos tuercas (2).
2. Desatornillar los dos tornillos (1) con tres vueltas.
3. Apretar las dos turcas (2).

Nota: Los tornillos y tuercas para la protección contra sobrecargas (3) y (4) se ajustan en la fábrica, consultar el capítulo 6 del manual del fabricante del dinamómetro para posibles ajustes de calibración.

Figura 49. Sistema de bloqueo de la celda de carga WB/PB serie 115.



Fuente: MAGTROL WB/PB 115 Series Eddy-Current and Powder Dynamometers.

10. PRESUPUESTO.

10.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS RECURSOS FUNDAMENTALES.

Para el desarrollo del siguiente proyecto es fundamental contar con:

- Mano de obra (Estudiantes y personal capacitado para el montaje).
- Computador con software (Solidworks y M-test 7).
- Referencias bibliográficas.
- Medios de transporte.
- Catálogos, manuales y normas.
- Equipos auxiliares (Medidores de flujo, termocuplas, etc....).
- Dispositivos (Sistema de adquisición de datos).
- Materiales.
- Papelería.

Cada actividad por realizar requiere de gastos de operación y costos de materiales e insumos, entonces se debe contemplar un análisis de costos y gastos estimados ya que representa la posibilidad en términos económicos de llevar a cabo el proyecto de acuerdo con las capacidades monetarias de quien pretenda financiarlo en este caso la UIS.

10.2. GASTO OPERACIONAL.

10.2.1 Salarios.

Tabla 10. Salarios

Nombre	Valor/Mes	Meses De Trabajo	Total
Ingeniero Mecánico	3'500.000	6	21'000.000
Instaladores (3)	1'500.000	1	4'500.000
Ensamblador (2)	1'500.000	1	3'000.000

Total, gastos por concepto de salario por los recursos humanos: **28'500.000 COP.**

10.2.2 Equipamiento.

Tabla 11. Equipamiento.

Equipo	Cantidad	Precio Por Unidad	Total
Computador	1	3'000.000	3'000.000
Dinamómetro	1	300'000.000	300E6
Termocuplas	4	20.000	80.000
Tacómetro	1	150.000	150.000
Medidores de flujo	1	100.000	100.000
Intercambiador de Q	1	200.000	200.000

Total, gastos por equipos en: **\$ 303'530.000 COP.**

10.2.3 Costos indirectos.

Tabla 12. Costos indirectos.

Producto	Total
Transporte	300.000
Papelería	100.000
Asesoría	500.000
Otros	200.000

Total, de gastos indirectos: **\$1'100.000 COP.**

10.3 COSTOS MATERIALES E INSUMOS.

Tabla 13. Costos de la estructura y sistema de amortiguación

Costos De La Estructura Soporte Y Sistema De Amortiguación			
Detalle	Cantidad	Precio por unidad	Valor
Estructura soporte y auxiliar	1	2'840.000	2'840.000
Tornillos	50	600	30.000
Pintura	1	200.000	200.000
Acople	1	100.000	100.000
Aisladores de vibración	12	7.500	90.000
Imprevistos			10%
TOTAL			3'586.000 COP

10.4 COSTOS SUMINISTRO DE AGUA.

Tabla 14. Suministro de agua.

Costos Del Suministro De Agua			
Detalle	Cantidad	Precio por unidad	Valor total
Tanque	1	25.000	25.000
Bomba Hidráulica	1	75.000	75.000
Manguera	1	29.000	29.000
Válvula de bola	3	3.500	10.500
Montaje	1	2'000.000	2'000.000
Arduino uno	1	25.000	25.000
Termostato digital	1	12.000	12.000
Sensor medidor de flujo	1	16.000	16.000
Termómetro digital	4	8.000	32.000
Manómetro	1	19.000	19.000
TOTAL			2'243.500

10.5 COSTOS SUMINISTRO DE COMBUSTIBLE.

Tabla 15. Suministro de combustible

Costos Del Suministro De Combustible			
Detalle	Cantidad	Volar por unidad	Valor total
Tanque de almacenamiento	1	100.000	100.000
Probeta de medición	1	50.000	50.000
Filtro	2	5.000	10.000
Manguera	3m	13.000	39.000
Combustible	4gal	10.000	40.000
Pintura tanque de combustible	1	11.000	11.000
Válvula de bola	2	7.500	15.000
Montaje	1	1'000.000	1'000.000
TOTAL			1'265.000

10.6 COSTOS TABLERO DE CONTROL.

Tabla 16. Tablero de control

Costos Tablero de control			
Detalle	Cantidad	Precio por unidad	Valor
Tríplex	1	75.000	75.000
Corte y pintura	1	25.000	25.000
Tornillos	60	100	6.000
Cable	3m	13.000	20.000
Montaje	1	500.000	500.000
TOTAL			625.000

10.7 COSTOS ADQUISICIÓN DE DATOS.

Tabla 17. Adquisición de datos

Costos Del Sistema De Adquisición De Datos		
Detalle	Unidad	Valor
Hardware DSP 7002	1	6'500.000
Software M-Test 7	1	15'500.000
Imprevistos		1'000.000
TOTAL		23'000.000

10.8 COSTOS TOTALES.

Tabla 18. Costos del diseño y montaje del banco de pruebas para MCI

Costos Del Diseño Y Montaje Del Banco De Pruebas Para MCI		
Detalle	Unidad	Valor
Salarios	1	28'500.000
Equipamiento.	1	303'530.000
Costos Indirectos	1	1'100.000
Costos de la estructura soporte y sistema de amortiguación	1	3'586.000
Costos del suministro de agua	1	2'243.500
Costos del suministro de combustible	1	1'265.000
Costos tablero de control	1	625.000
Costos del sistema de adquisición de datos	1	23'000.000
Imprevistos		10%
TOTAL		400'234.450

Gastos totales necesarios para el proyecto: \$400'234.450 COP

11. ANALISIS DE RESULTADOS.

Con base en la metodología experimental se adquieren datos de las variables de interés, con estos datos se construyen tablas que relacionan las velocidades de giro, los torques correspondientes y los consumos de combustible. Luego utilizando la información adquirida de las tablas se generan las curvas características del motor (potencia al freno, torque al freno y consumo de combustible) y utilizando el software M-TEST 7 de Magtrol, que es un programa de pruebas de motores de última generación para la adquisición de datos que determina las características de un motor bajo prueba las cuales se pueden ver en la gráfica 50.

Figura 50. Torque y Potencia vs rpm.

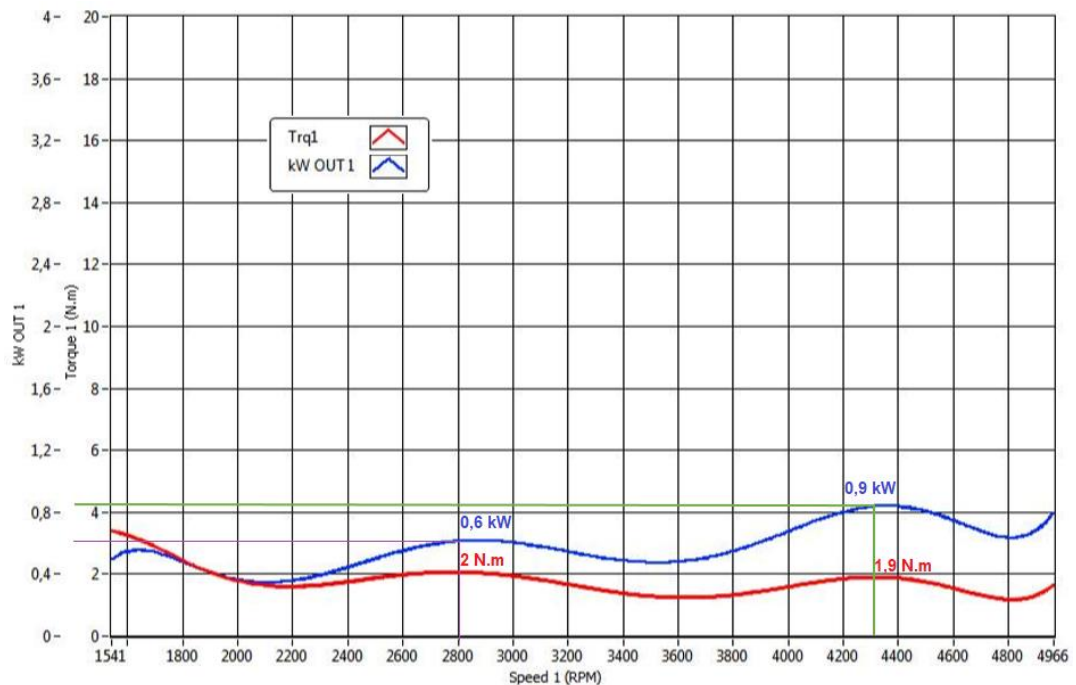


Figura 51. Torque y Potencia máxima vs rpm.

Potencia Máxima	0,9 KW @ 4300 rpm
Torque Máximo	2 N.m @ 2800 rpm
Punto de mayor eficiencia	0,6 KW-2 N.m @ 2800 rpm

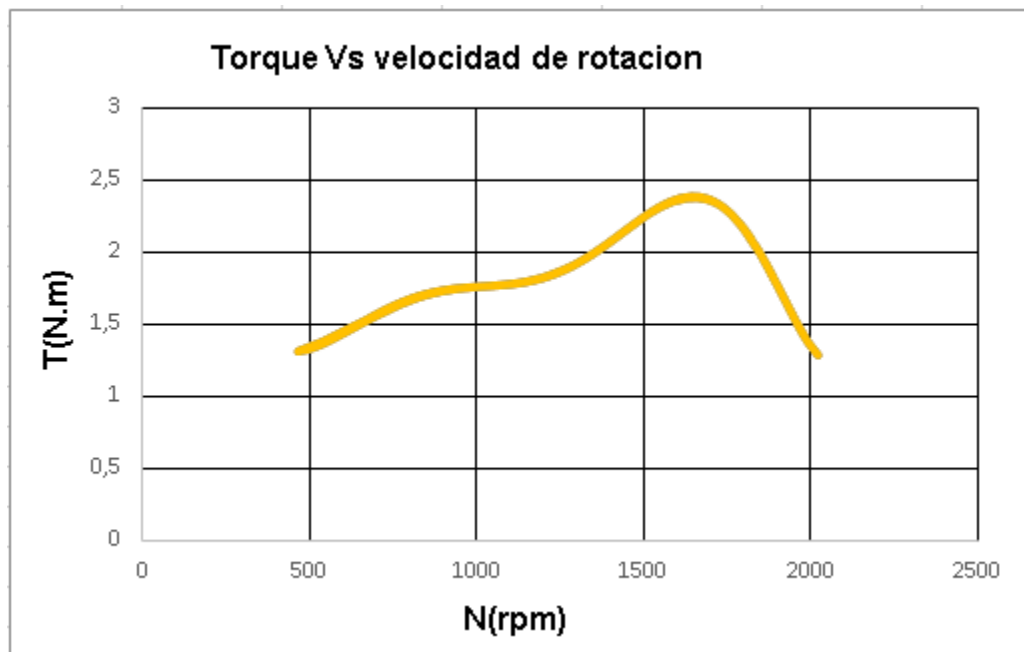
11.1 TORQUE AL FRENO.

En la tabla 18 se muestran los datos obtenidos del torque a diferentes velocidades de giro

Tabla 19. Torque del freno vs velocidad

Speed	Torque (N.m)
597	1,43376
637	1,48614
776	1,65269
800	1,67433
996	1,75934
1053	1,76772
1175	1,80697
1217	1,83523
1317	1,94338
1335	1,9688
1386	2,04863
1423	2,11152
1545	2,30907
1605	2,37043
1789	2,19583
1823	2,08837
1915	1,70646
1955	1,52667
2094	1,28921

Figura 52. Torque vs rpm



11.1.1 Análisis de la curva de torque del freno vs rpm. Cuando se realizaron las pruebas, se observa que a medida que se disminuyen las velocidades el torque empieza a caer y luego vuelve a aumentar hasta su valor máximo como se observa en la figura 52.

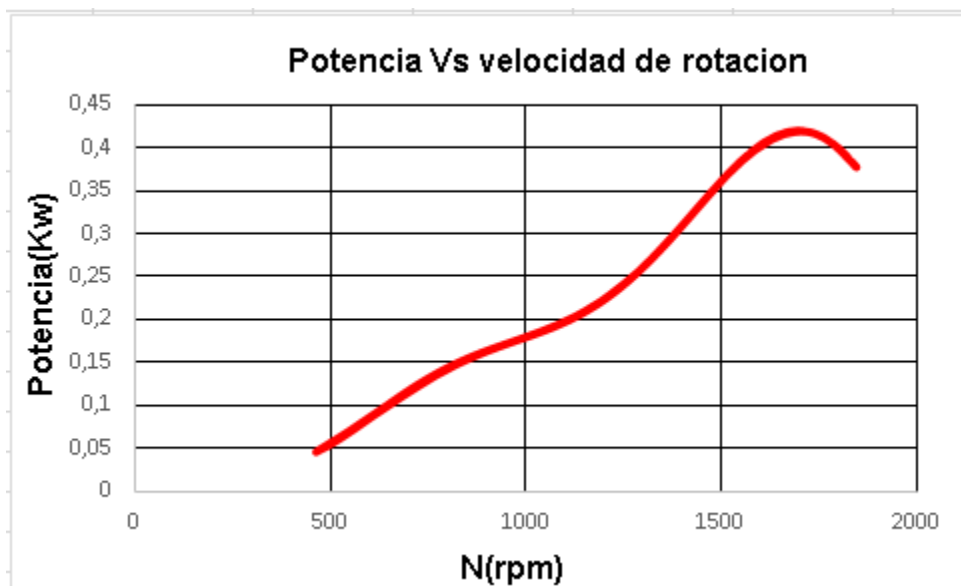
11.2 POTENCIA DE FRENO.

Para obtener los valores de potencia estos no los da el programa M-TES 7 que está conectado al dinamómetro, estos datos de muestran la tabla 19 como también aparecen graficados en la figura 53.

Tabla 20. Potencia de freno

Speed (RPM)	kW OUT
651	0,100838
646	0,0992247
637	0,0963059
597	0,0832514
661	0,104045
794	0,141596
836	0,150894
943	0,169859
1020	0,181852
1063	0,189176
1107	0,197834

Figura 53. Potencia de freno



11.2.1 Análisis de la gráfica de potencia vs rpm. Como se observa en la figura 53 la caracterización de la potencia utilizando el método experimental si la velocidad aumenta la potencia también se eleva por lo que podemos decir que son directamente proporcionales.

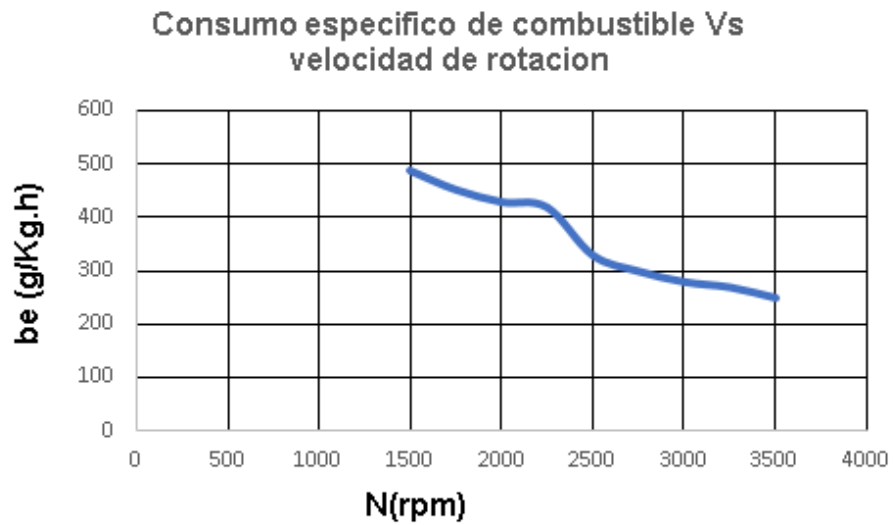
11.3 CONSUMO ESPECIFICO DE COMBUSTIBLE.

En la tabla 20 se encuentran plasmados los valores promedio del consumo específico de combustible a diferentes velocidades de giro, las cuales fueron hallados tomando el flujo masico obtenido por el método gravimétrico y dividiendo por la potencia neta experimental.

Tabla 21. Consumo específico de combustible vs velocidad

speed (rpm)	be
1500	489
1750	453
2000	430
2250	420
2500	330
2750	300
3000	280
3250	270
3500	250

Figura 54. Consumo específico de combustible vs velocidad.



11.3.1 Análisis de la gráfica de consumo específico de combustible vs velocidad. En la gráfica 54, se observa que a altas revoluciones el consumo de combustible es menor entre 1500 y 3000 rpm se encuentra el menor gasto y a bajas rpm el consumo nuevamente aumenta.

12. CONCLUSIONES.

De acuerdo con los objetivos propuestos, se logró el cumplimiento de cada uno de ellos verificando uno a uno con sus exigencias y requerimientos según estipulados.

- Al realizar el diagnóstico DOFA para el montaje y puesta en marcha del banco de ensayos se concluye que si es factible y de gran ayuda el montaje del dinamómetro ya que les ofrece a los estudiantes de pregrado y posgrado una mejor orientación en los procesos profesionales de alta calidad en el área de MTA.
- Mediante el análisis de vibraciones de la estructura soporte del banco de pruebas se pudo observar que esta opera de manera segura, ya que las frecuencias naturales de vibración llegan hasta (43,6 Hz), en comparación con la frecuencia de operación del motor de dos tiempos de la cortadora de concreto PC-7414 que es de (71,7 Hz) utilizado en las pruebas.
- Al utilizar el acople araña L-150 para las pruebas, este permitió la desalineación angular (0,00 mm) y paralelismo (0,02) a 90 grados y desalineación angular (0,02 mm) y paralelismo (0,02) a 0 grados que dichos valores son tolerados por los dinamómetros de corriente de Foucault de alta velocidad
- Para el sistema de suministro de combustible se diseñó un tanque de almacenamiento de 5 galones para tener dentro del laboratorio, el cual se utiliza para las diferentes pruebas durante los ensayos bajo la norma NTC 1668 de manipulación y almacenamiento de combustible y demás accesorios como: válvulas reguladoras, mangueras y probeta de medición basados en las recomendaciones de la norma SAE J312 (ISO 7647) y SAE J1489.

- Para el sistema de suministro de agua se utilizó un circuito cerrado de recirculación de agua, el cual está conformado por una bomba hidráulica de 45 Watts, un radiador con $3,5 \text{ m}^2$ de área encargado de disipar el calor transportado por el agua saliente del dinamómetro, esta llega a un tanque de almacenamiento con capacidad de 70 litros, para estar seguros de su correcto funcionamiento se le adecuó un termostato digital que controla la temperatura para no sobrepasar los 50° Celsius .
- Según las pruebas realizadas con el software M-TEST para determinar las características de rendimiento del motor de 2T de la cortadora de concreto PC-7414 se determinó que la potencia máxima fue de 0,9 kW a 4300 rpm como también el Torque máximo es de $2 \text{ N}\cdot\text{m}$ a 2800 rpm y en este mismo punto nos dice que es el régimen más óptimo para el motor y que gracias a estos datos obtenidos se puede decir que a más velocidad el consumo de combustible ira disminuyendo.

13. RECOMENDACIONES.

- Todos los dinamómetros MAGTROL de la serie WB y PB están equipados con un sistema de bloqueo con el fin de proteger la célula de carga durante el transporte, ya que esta es la encargada de medir el par de torsión generado por el sistema de prueba en el freno, por lo tanto, el dinamómetro sólo se puede utilizar después de eliminar el dispositivo de bloqueo del modelo 2WB115+EK+2PB115 que es el que se va a utilizar en este banco.
- El dinamómetro ha de ser montado en el banco de pruebas antes de retirar el dispositivo de protección de la célula de carga para evitar el daño en el transductor de celda de carga durante la instalación del dinamómetro.
- La alineación correcta del dinamómetro con el motor bajo prueba es muy importante, ya que, cuanto mayor sea la velocidad de la prueba, tanto más se debe tener cuidado al realizar la alineación.
- Para los dinamómetros de corriente de Foucault (WB-HS) de alta velocidad 0,1 mm de desalineación puede ser tolerada; y con dinamómetros de polvo magnético (PB) que operan a velocidades máximas más bajas que los de corriente de Foucault, una desalineación de hasta 0,15 mm es aceptable.
- El MCI debe estar montado sobre una placa base rígida, equipado con montajes anti vibratorios, así de esta manera, las vibraciones transmitidas desde el motor hasta el dinamómetro se reducirán considerablemente.
- Las diferencias de altura debido a la variación de la carga del motor se deben tener en cuenta y los montajes anti vibratorios no deben ser comprimidos, porque crearan una desalineación entre el motor y el dinamómetro que afectaría los resultados de la medición y esta puede dañar el dinamómetro.

- Los acoplamientos del dinamómetro utilizados con el motor bajo prueba es un factor importante a tener en cuenta, de hecho, un acoplamiento que no esté especificado correctamente para la aplicación dará lugar a errores de medición y un desgaste prematuro del dinamómetro.
- Teniendo en cuenta el hecho de que el dinamómetro es un dispositivo de medición de precisión, se deben usar acoplamientos de alta calidad, ya que los acoplamientos con insuficiente rigidez de torsión generarán señales sinusoidales no deseadas en la señal de medición originales.
- Para todos los dinamómetros MAGTROL de la serie WB y PB, es aconsejable emplear un gemelo (disco dual) de acoplamiento sujeto sobre las teclas del eje.
- Como con la mayoría de los transductores, este dinamómetro modelo 2WB115+EK+2PB115 debe ser operado en la parte superior de su rango de medición, entre 10% y 100% de su calificación de 30 KW.
- Todas las piezas giratorias deben conjuntarse con un sistema de protección para asegurar que el usuario, así como todas las demás personas no sean lesionadas y los objetos a los alrededores no sean dañados como resultado de las pruebas realizadas en el banco de ensayos.
- El enfriamiento adecuado del dinamómetro es esencial para garantizar una larga vida útil y resultados de medición precisos, todos los dinamómetros de la serie WB y PB de Magtrol están refrigerados por agua para garantizar la mejor disipación de calor posible mediante el sistema de refrigeración.

- Se recomienda el uso de aditivos específicos de agua para evitar la proliferación de los organismos vivos, y para proteger contra depósitos de corrosión y minerales.
- El sistema de refrigeración del dinamómetro ha sido diseñado para un flujo de salida abierta y que fluye libremente agua sin contrapresión. La presión de entrada máxima no debe exceder de 2 bares (29 psi) para los modelos WB/PB 15, WB/PB 115 y WB/PB 65.
- La salida de agua dinamómetro debe estar equipado con un termómetro y la velocidad de flujo debe ser ajustado con el fin de mantener la temperatura de salida del agua entre 40°C y 50°C (100°F a 120°F).
- Con el fin de evitar la obstrucción del sistema de refrigeración debido a la arena, barro, óxido u otras sustancias, se recomienda la instalación de un filtro en la entrada de agua para el sistema de refrigeración.
- Antes de almacenar el dinamómetro durante un largo periodo de tiempo, el agua que queda en el circuito de enfriamiento debe ser soplada con aire comprimido (preferentemente lubricado).

BIBLIOGRAFÍA.

EVO INDUSTRIA. All Rights Reserved. Tipos de bombas de agua.
<http://evoindustria.com/blog/tipos-de-bombas-de-agua/>.

GÁLVEZ, Edgar de Jesús. Diseño de un Banco de Pruebas para MCI. Trabajo de grado para conferir el título de Ingeniero Mecánico. Guatemala. Universidad San Carlo de Guatemala. Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería, 2003.

JENSEN Jens, motores de combustión interna de dos tiempos, Bucaramanga, Agosto- Septiembre de 2013

MONCADA, Cesar Augusto y CALDERÓN, Marlo Jahir. Diseño del aislamiento acústico y térmico para los bancos de pruebas del centro de investigación de motores en Guatiguarà. Trabajo de grado para optar el título de ing. Mecánico. Bucaramanga. UIS. Facultad de ingenierías físico-mecánicas, 2014.

PAZ, Antonio. El equilibrio de los Motores de Combustión Interna alternativos. Tesis Doctoral. La Coruña, Febrero de 1996.

PERCHIN, Luis. Diseño mecánico de un banco de potencia par la prueba de prototipo de la Shell Eco-marathon. Trabajo de grado doctorado en Ingeniería Mecánica. Madrid: Universidad Carlos III De Madrid. Escuela Politécnico Superior. Facultad De Ingeniería Mecánica. Octubre de 2014. 117 p.

PIERSOL, Allan. Harris' shock and vibration handbook. 5 ed. New York, McGRAW-HILL, 2002.

PLINT, Michael y MARTYR, Anthony. Engine Testing Theory and Practice. Oxford, Inglaterra. Butterworth—Heinemann. 2007.

PORTILLO, Cristian.; HERNANDEZ, Alexander. Diseño y construcción de un banco de pruebas de un motor diésel. Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Mecánico. Universidad Pontificia Bolivariana de Bucaramanga. Facultad de Ingeniería Mecánica, 2011.

Reyes-Campaña, J. A Castillo-Reyes, A. J. Escalante-Quezada, “Determinación de torque y potencia de un motor de combustión interna utilizando diferentes mezclas parciales de biodiesel”, Ingeniería Solidaria, vol. 12, no. 20. Octubre 2016.