

**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA MOTORES
MONOCILINDRICOS DE CUATRO TIEMPOS A GASOLINA**

**FREDDY MARQUEZ BENAVIDES
MILLER SNEIDER ROJAS TARAZONA**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERIA Y ADMINISTRACION
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA
2011**

**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA MOTORES
MONOCILINDRICOS DE CUATRO TIEMPOS A GASOLINA**

**FREDDY MARQUEZ BENAVIDES
MILLER SNEIDER ROJAS TARAZONA**

**Trabajo de grado como requisito para optar al título de
Ingeniero Mecánico**

**Director
JAVIER MAURICIO CASTELLANOS
Ing. Mecánico**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERIA Y ADMINISTRACION
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA
2011**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bucaramanga 2 de Junio de 2011

A Dios por Todas sus Bendiciones.

A la Vida por permitirme el placer de vivir.

A Beatriz Benavides, Madre que soñó y esperó con su hijo este triunfo.

A Bonerges Márquez, Padre que siempre me brindó su apoyo.

FREDDY MARQUEZ BENAVIDES

Agradezco a DIOS por bendecir e iluminar mi vida

A Cleotilde Tarazona, mi Madre, mujer a quien agradezco de todo corazón su amor, apoyo y lucha incansable en el transcurso de mi vida y estudios

Agradezco a mis hermanos su apoyo, ejemplo y confianza que me brindan

Agradezco a Edwin duran Trujillo y Azucena Villamizar González que me han apoyado y motivado a no desfallecer ante los infortunios de la vida. Sé que cuento con ellos siempre

A mis sobrinos Daniel Santiago y Emiliano Alejandro quienes fueron mi fuente de inspiración y mi fortaleza en los momentos difíciles.

Mi triunfo es de todos ustedes, los amo

MILLER SNEIDER ROJAS TARAZONA

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este proyecto agradecen a:

Al Ingeniero. Javier Mauricio Castellanos, por guiarnos con sus conocimientos y habilidades, permitiéndonos superar los obstáculos presentados en el transcurso de la elaboración de este proyecto, y por estar siempre dispuesto a orientarnos.

Al ingeniero. Rómulo Niño Delgado, por su oportuna colaboración y tiempo para debatir el diseño del banco de pruebas.

Al señor Ludwin Casas, por brindar su tiempo y conocimientos para que este proyecto terminara satisfactoriamente.

A la empresa Penagos, señor Ángel Styd Quiñones, por la elaboración de algunas partes del banco de pruebas que requirieron ser maquinadas.

A nuestros padres, por el apoyo moral, espíritu de colaboración y ayuda económica para la construcción del banco.

Gracias.

CONTENIDO

| | Pág. |
|---|-------------|
| INTRODUCCION | 22 |
| OBJETIVOS..... | 23 |
| OBJETIVO GENERAL | 23 |
| OBJETIVOS ESPECIFICOS..... | 23 |
| 1. MARCO TEORICO | 24 |
| 1.1 DEFINICION DE BANCO DE PRUEBAS..... | 24 |
| 1.2 TIPOS DE ENSAYOS EN UN BANCO DE PRUEBAS | 25 |
| 1.2.1 Ensayos de Investigación y Desarrollo. | 25 |
| 1.2.2 Ensayos de Producción. | 25 |
| 1.3 PROCEDIMIENTO GENERAL DE ENSAYOS | 25 |
| 1.4 CARACTERISTICAS GENERALES DE UN BANCO DE PRUEBAS..... | 26 |
| 1.5 POSIBLES PARÁMETROS A MEDIR EN UN BANCO DE PRUEBAS..... | 27 |
| 1.5.1 Parámetros Fundamentales..... | 27 |
| 1.5.2 Parámetros Específicos. | 27 |
| 1.6 COMISIONAMIENTO DE BANCO DE PRUEBAS..... | 29 |
| 1.7 CURVAS CARACTERÍSTICAS DE UN MOTOR ALTERNATIVO | 30 |
| 1.7.1 Motor y Curva de Potencia..... | 31 |
| 1.7.2 Curvas de Consumo. | 31 |
| 1.8 SISTEMAS DE ALIMENTACION EN UN MOTOR ALTERNATIVO | 33 |
| 1.8.1 Sistema de Alimentación de Aire. | 33 |
| 1.8.2 Sistema de Alimentación de Combustible..... | 33 |
| 1.8.3 Torque y Potencia..... | 34 |
| 1.8.4 Revoluciones del Motor (RPM). | 35 |
| 1.9 SISTEMAS DE MEDICION EN UN MOTOR ALTERNATIVO | 35 |
| 1.9.1 Medición de Consumo de Aire | 35 |
| 1.9.2 Medición de Consumo de Combustible..... | 38 |
| 1.9.3 Medición de Torque y Potencia..... | 40 |

| | |
|---|----|
| 1.10 PROTOCOLOS DE PRUEBAS PARA CARACTERIZACIÓN DE MOTORES DE COMBUSTION INTERNA | 44 |
| 2. METODOLOGIA Y PROCESO DE DISEÑO | 46 |
| 2.1 DISEÑO CONCEPTUAL..... | 46 |
| 2.1.1 Recomendaciones Ergonómicas. | 47 |
| 2.1.2 Consideraciones Para el Diseño en General | 49 |
| 2.2 DISEÑO BASICO..... | 51 |
| 2.2.1 Análisis Computacional de la Estructura del Banco de Pruebas..... | 53 |
| 2.2.2 Análisis de la Bancada..... | 53 |
| 3. MEDICIONES EN EL BANCO DE PRUEBAS | 63 |
| 3.1 NORMAS APLICADAS | 63 |
| 3.2 INSTRUMENTOS UTILIZADOS | 63 |
| 3.2.1 Banco de Pruebas..... | 63 |
| 3.2.2 Motor de Combustión Interna..... | 63 |
| 3.2.3 Dinamómetro (Freno Pronny). | 65 |
| 3.2.4 Termoanemometro..... | 67 |
| 3.2.5 Bascula. | 67 |
| 3.2.6 Tacómetro..... | 68 |
| 3.2.7 Cronometro | 68 |
| 3.3 MÉTODOS UTILIZADOS ACTUALMENTE | 69 |
| 3.3.1 Medición de Consumo de Aire | 69 |
| 3.3.2 Medición del Consumo de Combustible..... | 69 |
| 3.3.3 Medición de la Velocidad de Rotación del Motor. | 70 |
| 4. METODOLOGIA PARA LA OBTENCIÓN DE LAS CURVAS DE OPERACIÓN DE MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA..... | 72 |
| 4.1 MEDICION DE LA VELOCIDAD DE OPERACIÓN DEL MOTOR | 72 |
| 4.2 MEDICIÓN DE CONSUMO DE AIRE | 72 |
| 4.2.1 Cálculos para Hallar el Consumo de Aire. | 72 |
| 4.3 MEDICIÓN DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE | 73 |
| 4.3.1 Cálculos para hallar el consumo de combustible. | 74 |

| | |
|--|----|
| 4.4 MEDICIÓN DEL TORQUE Y LA POTENCIA..... | 74 |
| 4.4.1 Cálculos para Hallar el Torque y la Potencia del Motor | 75 |
| 5. ANALISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS..... | 76 |
| 5.1 FLUJO MASICO DE AIRE | 76 |
| 5.2 CONSUMO ESPECIFICO DE COMBUSTIBLE | 77 |
| 5.3 RELACION AF (AIRE / COMBUSTIBLE)..... | 79 |
| 5.4 TORQUE Y POTENCIA | 79 |
| 5.5 CURVAS CON DATOS PROMEDIO | 82 |
| 5.6 COMPARACION DE CURVAS DEL MOTOR A PRUEBA Y EL HONDA | 89 |
| 5. CONCLUSIONES | 92 |
| 6. RECOMENDACIONES | 94 |
| BIBLIOGRAFIA..... | 95 |
| ANEXOS | 99 |

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|--|-------------|
| Figura 1. Variables entradas y salidas de un motor | 27 |
| Figura 2. Curvas Características de un Motor..... | 30 |
| Figura. 3. Curva característica de torque de un motor | 31 |
| Figura. 4. Curva de Consumo Especifico..... | 32 |
| Figura 5. Curvas de consumo de aire en función de velocidad de un motor..... | 32 |
| Figura. 6 curvas de torque y potencia | 34 |
| Figura. 7 Medidor de flujo laminar..... | 36 |
| Figura. 8 Boquilla de flujo critico | 36 |
| Figura. 9 Medidor de turbina | 37 |
| Figura 10. Medidor de hilo caliente | 37 |
| Figura. 11 Caudalímetro efecto Coriolis..... | 38 |
| Figura. 12 medidor térmico | 39 |
| Figura. 13 Esquema de freno eléctrico | 41 |
| Figura 14. Esquema general del freno de Foucault | 42 |
| Figura. 15 Esquema de freno hidráulico | 43 |
| Figura. 16 freno mecánico | 43 |
| Figura. 17 freno de banda o de cinta | 44 |
| Figura 18. Esquema del banco de pruebas | 47 |
| Figura 19: variables antropométricas..... | 48 |
| Figura 20: Planos de trabajo en posición de pie | 49 |
| Figura 21: zona de alcance óptima a la altura de la mesa | 50 |
| Figura 22: Campo vertical y horizontal de visión para detección de información.. | 51 |
| Figura 23. Enmallado Estructura Banco | 53 |
| Figura 24. Cargas aplicadas a la estructura..... | 54 |
| Figura 25. Deformación Total..... | 55 |
| Figura 26. Deformación (Von Mises) | 55 |
| Figura 27. Esfuerzo (Von Mises)..... | 56 |
| Figura 28. Factor de Seguridad | 56 |
| Figura 29. Análisis modal frecuencia 43,126 Hz | 57 |

| | |
|--|----|
| Figura 30. Análisis modal frecuencia 53,388 Hz | 57 |
| Figura 31. Análisis modal frecuencia 93,535 Hz | 58 |
| Figura 32. Análisis estructura a 2500 rpm – 41,7 Hz | 59 |
| Figura 33. Análisis estructura a 2800 rpm – 46,7 Hz | 59 |
| Figura 34. Análisis estructura a 3400 rpm – 56,7 Hz | 60 |
| Figura 35. Análisis estructura a 3900 rpm – 65 Hz | 60 |
| Figura 36. Análisis estructura a 4500 rpm – 75 H..... | 61 |
| Figura 37. Frecuencia natural (amplitud vs frecuencia) | 62 |
| Figura 38. Motor Tigmax GX390..... | 64 |
| Figura 39. Freno pronny con banda semielastica | 65 |
| Figura 40 Termoanemometro Erasmus EA200..... | 67 |
| Figura 41 Bascula Lexus MIX-A..... | 68 |
| Figura 42 Tacómetro Digital Lutron DT2236 | 68 |
| Figura 43 Cronometro Casio HS-3v-1r | 69 |
| Figura 44. Medición de velocidad con el tacómetro óptico..... | 71 |
| Figura 45 curva flujo másico de aire vs rpm..... | 77 |
| Figura 46 curva consumo específico de combustible vs rpm..... | 78 |
| Figura 47 curva torque vs rpm | 80 |
| Figura 48 curva potencia vs rpm..... | 82 |
| Figura 49.Curva promedio de torque | 85 |
| Figura 50. Curva promedio potencia..... | 85 |
| Figura 51.Curva promedio consumo especifico | 86 |
| Figura 52.curva promedio flujo aire..... | 87 |
| Figura 53.Comparación curva potencia motor Tigmax vs Honda | 89 |
| Figura 54. Comparación curva torque motor Tigmax vs Honda | 90 |

LISTA DE TABLAS

| | Pág. |
|--|-------------|
| Tabla 1. Parámetros fundamentales | 27 |
| Tabla 2. Parámetros específicos medios | 28 |
| Tabla 3. Parámetros específicos instantáneos | 29 |
| Tabla 4. Dimensiones seleccionadas para el diseño de la estructura para acceso y desempeño del operario en posición de pie. | 49 |
| Tabla 5. Pesos estimados del motor y sistemas de medición de variables | 51 |
| Tabla 6. Propiedades..... | 54 |
| Tabla 7. Resultados frecuencia natural..... | 62 |
| Figura 38. Motor Tigmax GX390..... | 64 |
| Tabla 8 Especificaciones Técnicas del Motor TIGMAX GX-390 | 64 |
| Tabla 9. Dimensiones de los elementos que componen el sistema (freno pronny) | 66 |
| Tabla 10. Cálculos de diseño del freno pronny | 66 |
| Tabla 11. Correlación para el cálculo de flujo de aire | 73 |
| Tabla 12. Correlaciones para el cálculo del consumo específico de combustible. | 74 |
| Tabla 13. Correlaciones para cálculos de torque y potencia..... | 75 |
| Tabla 14 datos flujo másico de aire | 76 |
| Tabla 15 datos consumo especifico de combustible | 78 |
| Tabla 16. Reporte de toma de datos pruebas 1 | 79 |
| Tabla 17. Datos torque | 80 |
| Tabla 18 datos potencia [Hp] | 81 |
| Tabla 19 datos potencia [Kw]..... | 81 |
| Tabla 20 Correlación para la estimación del error máximo o permisible..... | 83 |
| Tabla 21 promedio y desviación estándar torque | 83 |
| Tabla 22 promedio y desviación estándar potencia [Kw] | 84 |
| Tabla 23 promedio y desviación estándar potencia [Hp] | 84 |
| Tabla 24. Promedio total pruebas torque potencia | 84 |

| | |
|---|----|
| Tabla 25 promedio y desviación estándar de consumo específico de combustible..... | 85 |
| Tabla 26. Promedio total pruebas consumo específico | 86 |
| Tabla 27. Promedio y desviación estándar datos flujo másico de aire..... | 86 |
| Tabla 28. Promedio total pruebas flujo másico de aire | 87 |
| Tabla 29. Tabla datos Potencia motor Tigmax y motor Honda | 89 |
| Tabla 30. Tabla datos Torque motor Tigmax y motor Honda..... | 90 |

LISTA DE ANEXOS

| | Pág. |
|---|------|
| Anexo A. Parámetros Antropométricos Población Laboral Colombiana | 99 |
| Anexo B. Propiedades Mecánicas de Materiales de Ingeniería | 100 |
| Anexo C. Perfiles Estructurales Rectangulares 1" ½ * 2" | 101 |
| Anexo D. Propiedades Angulo 1" ½ * 3/16 | 102 |
| Anexo E. Especificaciones y Aplicaciones Lamina (Cold Rolled calibre 20) | 103 |
| Anexo F. Ficha Técnica Electrodo E 60-13 | 104 |
| Anexo G. Especificaciones Ruedas de Aproximadamente 200kg / 3 = 66.7 kg | 105 |
| Anexo H. Especificaciones Generales del Motor TIGMAX GX-390 | 108 |
| Anexo I. Cálculos Freno Pronny | 109 |
| Anexo J. Especificaciones Anemómetro Erasmus EA-200 | 111 |
| Anexo K. Especificaciones de la Báscula Lexus Mix-A | 112 |
| Anexo L. Especificaciones Tacómetro Óptico Lutron DT -2236 | 113 |
| Anexo M. Datos Flujo Másico de Aire | 114 |
| Anexo N. Datos Consumo Específico de Combustible | 118 |
| Anexo O. Datos Torque y Potencia | 123 |
| Anexo P. Estructura Soporte Banco de Pruebas | 129 |
| Anexo Q. Practica de laboratorio del banco de pruebas de un motor a gasolina monocilíndrico | 130 |

GLOSARIO

Motores de Combustión Interna: Es un tipo de máquina que obtiene energía mecánica directamente de la energía química de un combustible que arde dentro de una cámara de combustión. Su nombre se debe a que dicha combustión se produce dentro de la máquina en sí misma.

Motores de Encendido por Compresión: También conocido como motor Diesel es un motor térmico de combustión interna alternativo en el cual el encendido del combustible se logra por la temperatura elevada que produce la compresión del aire en el interior del cilindro, según el principio del ciclo del diesel.

Motores de Aspiración Natural: Son los motores que succionan aire debido a la acción de los pistones.

Motores Turbo Cargados: Son un tipo de sistema de inducción forzada que comprimen el flujo de aire al motor, para obtener más potencia con cada explosión dentro de cada cilindro.

Monocilíndrico: Un motor monocilíndrico está formado por un solo cilindro dentro del cual se desplaza un pistón entre dos puntos máximo y mínimo de su recorrido, llamado punto muerto superior (PMS) y punto muerto inferior (PMI).

Torque: Es el momento de fuerza que ejerce un motor sobre el eje de transmisión de potencia.

Potencia: La potencia indica la rapidez con que puede trabajar el motor. La potencia máxima es el mayor número obtenido de multiplicar el torque del motor por la velocidad de giro en que lo genera.

Comisionamiento: Proceso sistemático para garantizar que los sistemas que conforman una nueva construcción ó proyecto, interactúen entre si de acuerdo con la documentación originada en los procesos de planeación, diseño y construcción, y las necesidades operativas de los dueños del proyecto.

Prototipos: Se refieren a cualquier tipo de máquina en pruebas, o un objeto diseñado para una demostración de cualquier tipo.

Reacondicionado: El término reacondicionado significa reformado, renovado o revisado.

Presión Media Efectiva: Es la media de todas las presiones instantáneas que se producen en la fase de combustión y expansión de los gases dentro del cilindro.

Consumo Específico de Combustible: Es un parámetro de primer orden que muestra la capacidad de la máquina para convertir una cantidad determinada de combustible en trabajo.

Velocidad de Rotación: Es una medida de la velocidad de rotación. Se define como el ángulo girado por una unidad de tiempo

Eficiencia Térmica: Es una magnitud de proceso y adimensional, definida como el cociente de la energía que deseamos obtener de dicha máquina y la energía que se debe transferir para su funcionamiento.

Carburador: El carburador es el dispositivo que se encarga de preparar la mezcla de aire-combustible en los motores de gasolina.

Cilindro: El cilindro de un motor es el recinto por donde se desplaza un pistón. Su nombre proviene de su forma, aproximadamente un cilindro geométrico.

Termocupla: Una termocupla básicamente es un transductor de temperaturas, es decir un dispositivo que convierte una magnitud física en una señal eléctrica.

Manómetros: Es un elemento que sirve para medir la presión de fluidos contenidos en recipientes cerrados. Esencialmente se distinguen dos tipos de manómetros, según se empleen para medir la presión de líquidos o de gases.

Bancada: Parte del basamento de una máquina herramienta que sirve de soporte a las mesas o carros de esta; tiene que ser muy robusta, ya que debe soportar tanto el peso de los elementos propios de la máquina como el de las piezas.

Freno dinamométrico: Los frenos dinamométricos son los encargados de crear un par resistente que es el que proporciona la "carga" al motor. Esta carga ha de ser variable para ensayar distintas condiciones operativas del motor.

Newton metro: Es una unidad de medida de esfuerzo de torsión (también llamado "momento") en el sistema SI.

Vatios: Unidad de potencia, de símbolo W , que equivale a la potencia capaz de conseguir la producción de energía igual a un julio por segundo.

Diodo Emisor de Luz: Es un diodo semiconductor que emite luz. Se usan como indicadores en muchos dispositivos, y cada vez con mucha más frecuencia,

Fototransistor: Se llama fototransistor a un transistor sensible a la luz, normalmente a los infrarrojos.

Sensor Óptico: Son todos aquellos sensores que son capaces de detectar diferentes factores a través de un lente óptico.

Tubo Vénturi: Consiste en que un fluido en movimiento dentro de un conducto cerrado disminuye su presión al aumentar la velocidad después de pasar por una zona de sección menor.

Encoder: Es un dispositivo, circuito, transductor, programa, algoritmo o persona que convierte la información de un formato o código a otro, a los efectos de la normalización, la velocidad, el secreto, la seguridad, ahorro de espacio o por la reducción de tamaño.

Tacómetro: Instrumento utilizado para medir las RPM del motor.

Conductividad: Es la capacidad de conducir. Aplicado a diferentes ámbitos puede referirse a: Conductividad eléctrica, Conductividad molar, Conductividad térmica, Conductividad hidráulica

Presión: Es una magnitud física escalar que mide la fuerza en dirección perpendicular por unidad de superficie, y sirve para caracterizar como se aplica una determinada fuerza resultante sobre una superficie.

Viscosidad: Medida de la resistencia de un líquido a fluir. La medida común métrica de la viscosidad absoluta es el Poise, que es definido como la fuerza necesaria para mover un centímetro cuadrado de área sobre una superficie paralela a la velocidad de 1 cm por segundo, con las superficies separadas por una película lubricante de 1 cm de espesor.

Temperatura: La temperatura es la medida de la energía térmica de una sustancia.

Transductor: Es un dispositivo capaz de transformar o convertir un determinado tipo de energía de entrada, en otra de diferente a la salida.

Flujómetro Volumétrico: Es el volumen de fluido que pasa por una superficie dada en un tiempo determinado.

Voltímetro: Es un instrumento que sirve para medir la diferencia de potencial entre dos puntos de un circuito eléctrico.

Amperímetro: Es un instrumento que sirve para medir la intensidad de corriente que está circulando por un circuito eléctrico.

Generador: Es todo dispositivo capaz de mantener una diferencia de potencial eléctrico entre dos de sus puntos, llamados polos, terminales o bornes.

Solid Works: Solid Works es un programa de diseño asistido por computadora para modelado mecánico desarrollado en la actualidad por Solid Works Corp. El programa permite modelar piezas y conjuntos y extraer de ellos tanto planos como otro tipo de información necesaria para la producción.

ANSYS: Es un software de simulación ingenieril. Está desarrollado para funcionar bajo la teoría de elemento finito para estructuras y volúmenes finitos para fluidos.

Dimensionamiento: Proceso para determinar la medición deseada de la característica de una pieza.

Ergonomía: Es el conjunto de conocimientos de carácter multidisciplinar aplicados para la adecuación de los productos, sistemas y entornos artificiales a las necesidades, limitaciones y características de sus usuarios, optimizando la eficacia, seguridad y bienestar.

Antropometría: Es la ciencia que estudia las dimensiones del cuerpo humano, Consiste en una serie de mediciones técnicas sistematizadas que expresan, cuantitativamente, aquellos valores que son considerados como promedio en el hombre.

Percentil: Es una medida de posición no central que nos dice cómo está posicionado un valor respecto al total de una muestra, representa los valores de la variable que están por debajo de un porcentaje, el cual puede ser un valor de 1% a 100% (en otras palabras, el total de los datos es dividido en 100 partes iguales).

Elementos Finitos: El método de los elementos finitos (MEF en castellano o FEM en inglés) es un método numérico general para la aproximación de soluciones de ecuaciones diferenciales parciales muy utilizado en diversos problemas de ingeniería y física.

Software: Se conoce como software *al equipamiento lógico o soporte lógico* de una computadora digital; comprende el conjunto de los componentes lógicos necesarios que hacen posible la realización de tareas específicas, en contraposición a los componentes físicos, que son llamados hardware.

Factor de Seguridad: Es el cociente entre un número que mide la capacidad máxima de un sistema dividido de los requerimientos teóricos o asumidos como usuales. En ingeniería, arquitectura y otras ciencias aplicadas es común que los cálculos de dimensionado de elementos o componentes de maquinaria, estructuras constructivas, instalaciones o dispositivos en general, incluyan un coeficiente de seguridad que garantice que en bajo desviaciones aleatorias de lo previsto exista un margen extra de prestaciones por encima de las mínimas estrictamente necesarias.

Frecuencia Natural: Es la frecuencia a la que un sistema mecánico seguirá vibrando, después que se quita la señal de excitación.

Dinamómetro: Se denomina dinamómetro a un instrumento utilizado para medir fuerzas. Normalmente, un dinamómetro basa su funcionamiento en un resorte que sigue la Ley de Hooke, siendo las deformaciones proporcionales a la fuerza aplicada.

RESUMEN

En este proyecto se aborda el estudio teórico, el diseño, la construcción, y el funcionamiento de un banco de pruebas de un motor de combustión interna a gasolina, para la asignatura de motores de combustión interna de la Universidad Pontificia Bolivariana. El banco de pruebas consta de un motor de combustión interna a gasolina, cuatro tiempos mono-cilíndrico, un freno mecánico tipo pronny y sistemas de medición que permiten observar el comportamiento de las variables que provienen del motor.

ABSTRACT

This project addresses the theoretical study, design, construction, operating principles and main features to implement a bench test of an internal combustion engine, which will be used in the internal combustion engine class of the mechanical engineering program of the UPB at Bucaramanga. The bench test will consist of an internal combustion engine gasoline four-stroke single-cylinder, a device that will comply with the mechanical brake function and measuring systems that allow monitoring operative parameters of the engine.

INTRODUCCION

Históricamente, el desarrollo de equipos de diagnóstico a motores de combustión interna ha sido fundamental para el crecimiento industrial, principalmente el de la industria vehicular.

El desarrollo de este proyecto, pretende satisfacer una sentida necesidad de la asignatura motores de combustión interna de la universidad pontificia bolivariana, que implica el diseño, la construcción y puesta en marcha de un banco de pruebas para motores mono-cilíndricos de 4 tiempos a gasolina.

En el presente trabajo se hace mención a los diferentes sistemas de medición de variables en un motor, específicamente al sistema de consumo de aire, al sistema de consumo de combustible, al sistema de medición de torque y al sistema cuenta revoluciones. También se trata el diseño del bancos de pruebas para motores a gasolina de cuatro tiempos, tomando como referencia los estándares internacionales de las normas SAE J13-49 [25] de agosto/04 y SAE J13-12 [26] de junio/90, que relacionan procedimientos para obtener gráficos del desempeño de los motores, encendido por chispa y encendido por compresión; también se citan las normas SAE J15-26 [27] de junio/87, que hace referencia al consumo de combustible, y la SAE J19-40 [28] de mayo/02, que hace referencia al procedimiento de medición de potencia.

Otro aspecto importante de este proyecto está relacionado con los conceptos de banco de pruebas para motores, generalidades para las pruebas, frenos mecánicos, tipos de frenos, diseño del sistema de medición del consumo de aire, diseño del sistema de medición del consumo de combustible y diseño del sistema de medición de velocidad del motor, los cuales son utilizados para el desarrollo del banco de pruebas.

Finalmente se documentan los ensayos realizados tanto al banco de pruebas como a los diferentes sistemas de medición.

Los entregables de este trabajo pretenden ser parte del conjunto de soluciones adoptadas para el enriquecimiento de la asignatura motores de combustión interna, del programa de ingeniería mecánica de la Universidad Pontificia Bolivariana Bucaramanga.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un banco de pruebas didáctico para estudiar las variables operativas (potencia, velocidad, consumo de combustible, consumo de aire) de un motor de combustión interna de cuatro tiempos mono-cilíndrico a gasolina para apoyar el trabajo teórico práctico de la asignatura de motores de combustión interna como respuesta a los requerimientos actuales en materia de equipos de laboratorio para la facultad de ingeniería mecánica.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

Evaluar el estado del arte en materia de bancos de laboratorio, para enmarcar el diseño conceptual de un banco de pruebas. **RESULTADO:** revisión bibliográfica para una síntesis de información. **INDICADOR:** se utilizarán fuentes académicas y comerciales, así como base de datos del campo específico de los motores de combustión interna.

Realizar el diseño conceptual y básico para la construcción e instrumentación del banco de pruebas para motores de cuatro tiempos mono-cilíndrico a gasolina. **RESULTADO:** Se entregaran memorias de cálculos. **INDICADOR:** El diseño se fundamentará en documentos de diseño de elementos de maquinas, motores de combustión interna, normas técnicas, etc.

Montar y probar los elementos y sistemas que constituyen el banco de pruebas para motores alternativos a gasolina. **RESULTADO:** comisionamiento del banco de pruebas. **INDICADOR:** la documentación generada que permitan asegurar actividades de operación, mantenimiento y puesta a punto del banco siguiendo estándares con referencias de reconocida trayectoria.

Elaborar el manual de pruebas de experimentos para el banco de motores de combustión interna. **RESULTADO:** documento para práctica del laboratorio, el documento permitirá a los estudiantes de ingeniería mecánica la realización de experimentos específicos de laboratorio. **INDICADOR:** normas técnicas, guías existentes para pruebas de motores, recomendaciones de la universidad para este tipo de documentos, contenido de la asignatura motores de combustión interna.

1. MARCO TEORICO

Este capítulo presenta una síntesis bibliográfica de los aspectos más importantes relacionados con el principio de funcionamiento y las principales características de los elementos que conforman un banco de pruebas para motores de combustión interna.

1.1 DEFINICION DE BANCO DE PRUEBAS

Un banco de pruebas es un equipo industrial, una plataforma para experimentar con prototipos, maquinas o sistemas complejos.

De acuerdo con el departamento de máquinas y motores térmicos de la universidad del país vasco [1] y con el documento de la revista todo motores de chile [2], un banco de pruebas tiene varias aplicaciones favorables para el fabricante, preparador y para el usuario.

Los motores nuevos son sometidos a una larga serie de mediciones, alternadas con severas pruebas de durabilidad y de carga, que se repiten hasta alcanzar su óptimo desempeño y se alcancen los resultados previstos por el constructor [1]. En el caso de un motor reacondicionado, es posible comprobar si su potencia es similar a la del equipo original. En motores deportivos de alto desempeño, resulta indispensable para alcanzar una puesta a punto óptima, ya que permite una corrección en vivo de parámetros de carburación y puesta a punto del encendido. Con esto se consigue obtener la máxima eficiencia permisible.

También es útil al momento de adquirir un motor usado, ya que se puede conocer su verdadero estado, efectuando una prueba de torque y potencia que serán comparadas con las especificaciones originales del fabricante del motor [2].

Las pruebas principales son las que sirven para obtener los valores relativos al par motor, la presión media efectiva, la potencia desarrollada, el consumo específico de combustible, los diferentes rendimientos así como la composición de los gases de escape.

De la fiabilidad y estabilidad del funcionamiento del banco dependerá la exactitud de las diferentes pruebas y mediciones a efectuar, esto es, el banco debe ser capaz de estabilizar el funcionamiento del motor en cualquier punto de operación de su gama de trabajo [1]. Igualmente el uso de normas técnicas de asociaciones reconocidas como la ISO y la SAE.

1.2 TIPOS DE ENSAYOS EN UN BANCO DE PRUEBAS

Hay dos tipos de ensayos en los motores de combustión interna: ensayos de investigación y desarrollo, y ensayos de producción.

1.2.1 Ensayos de Investigación y Desarrollo. Estos se efectúan en espacios debidamente equipados, siendo su objetivo el desarrollo de un motor o de algunos de sus componentes, o bien el análisis de algunos de los procesos que tienen lugar en el mismo. Por lo que en general se precisa una instrumentación sofisticada.

Las principales pruebas experimentales son aquellas que sirven para determinar los valores de:

- Par motor
- Potencia
- Presión media efectiva
- Potencia absorbida por rozamiento
- Consumo de combustible
- Rendimientos

También se efectúan otras pruebas con el objeto de investigar el desarrollo de los fenómenos físicos y químicos, determinando por ejemplo:

- Evolución de las presiones en el cilindro.
- Composición de los gases de escape.
- Pérdidas de calor.

1.2.2 Ensayos de Producción. Los ensayos de producción son aquellos que se realizan a los motores fabricados en serie, y sirven para verificar que sus características corresponden a la de los prototipos, y al mismo tiempo, efectuar un periodo de rodaje o asentamiento del motor. Por tanto la instrumentación necesaria es relativamente simple [1].

1.3 PROCEDIMIENTO GENERAL DE ENSAYOS

En la literatura de Ruiz et al [3], se encuentra una serie de recomendaciones útiles para desarrollar prácticas en el laboratorio, junto con la gama de medición de variables que se pueden realizar.

Se destacan el empleo de planillas especialmente diseñadas para la toma de datos de cada ensayo, verificar el correcto funcionamiento y calibración de los instrumentos a utilizar en la medición de cada variable, verificar los líquidos del motor antes de encenderlo y una marcha corta del motor previo al ensayo.

Las mediciones generalmente efectuadas están asociadas con:

- a) Potencia del motor, se mide la potencia al freno y la velocidad de rotación.
- b) Consumo del motor, tanto de combustible, lubricantes y algunas veces el aire.
- c) Comportamiento del motor, para lo que será necesario medir sus temperaturas de operación (termocupla), y algunas presiones (manómetros).
- d) Condiciones atmosféricas, se miden presión, temperatura y humedad relativa ambientes.

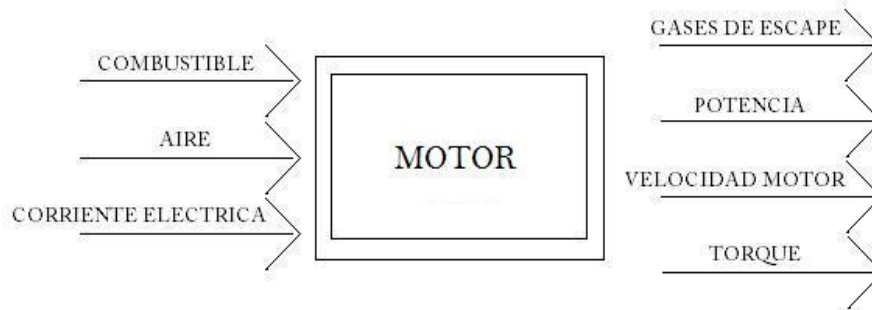
1.4 CARACTERISTICAS GENERALES DE UN BANCO DE PRUEBAS

Los bancos de pruebas deben considerar algunas recomendaciones generales para su diseño y construcción [3]. Los más relevantes son:

- a) Una cimentación que absorba las vibraciones que se producen debido a la existencia en el motor de fuerzas de inercia no equilibradas y de los correspondientes momentos resultantes.
- b) Una bancada, cuya misión es soportar el motor.
- c) Soportes para montar y fijar el motor en la bancada, así como regular la altura y alinear el motor con el freno.
- d) Freno dinamométrico que absorba la potencia desarrollada por el motor, ofreciendo una resistencia al giro de éste, y que esté provisto de un dispositivo para medir el par motor.
- e) Transmisión que permita la conexión freno-motor con una cierta elasticidad y capacidad de absorber desalineaciones.
- f) Sistema de alimentación de combustible al motor con instrumentos de medición de consumo.
- g) Sistema de refrigeración del motor
- h) Sistema de evacuación de los gases de escape. Los gases de escape son enviados tras pasar por un silenciador a la atmósfera.
- i) Sistema de ventilación de la sala. Debe evitar el sobrecalentamiento del local por la radiación de calor del motor. Se efectúa mediante ventiladores axiales o centrífugos de impulsión y extracción.
- j) Cuando el banco se instala en una habitación o cámara cerrada y aislada se habla de una celda o cabina de ensayo de motores. En este caso existe un pupitre de instrumentos en el exterior de la celda con los órganos de puesta en marcha y de gobierno del motor y freno, así como los instrumentos de control y registro [3].

1.5 POSIBLES PARÁMETROS A MEDIR EN UN BANCO DE PRUEBAS

Figura 1. Variables entradas y salidas de un motor



Fuente: Freddy Márquez y Miller Rojas, 2011.

La variedad de parámetros asociados a los ensayos del motor hace que estos se clasifiquen entre: parámetros fundamentales y parámetros específicos [3].

1.5.1 Parámetros Fundamentales. Son aquellos que dan información directa de las prestaciones del motor (véase tabla 1), por ejemplo, par, consumo de combustible y potencia [3].

Tabla 1. Parámetros fundamentales

| Parámetros a medir | Parámetro derivativo | Instrumentación |
|------------------------------|---|--|
| Par efectivo Me | Presión media <i>efectiva</i> Pme | Balanzas Células de carga frenos |
| Régimen de giro n | Velocidad lineal Cm Potencia efectiva Ne | Tacómetros: -ópticos -magnéticos -mecánicos |
| Gasto de combustible mf | Consumo específico gef Rendimiento efectivo Ne | Medidores: -volumétricos -gravimétrico |

Ruiz, R. Bermúdez, S

1.5.2 Parámetros Específicos. Son aquellos que nos proporcionan información cualitativa de las prestaciones de un motor: gasto de aire, temperatura y presión de admisión, etc.

Los parámetros específicos medios proporcionan información de aquellos procesos del motor que se pueden considerar estacionarios o casi estacionarios [3] (véase tabla 2).

Tabla 2. Parámetros específicos medios

| Parámetros a medir | Parámetros derivado | Instrumentación |
|---------------------------|--------------------------------|--|
| Temperatura media T | Control mf Control ma | Termopares Termorresistencias Semiconductores |
| Presión media P | Presión media de bombeo | Columnas líquidas Transductores Piezorresistivos |
| Gasto de aire | Rendimiento volumétrico dosado | Toberas Diafragmas Flujo laminar anemómetro |
| Contaminantes: | | |
| C0,C02 | | Infrarrojos |
| NOx | | Quimioluminiscencia |
| HC | | Ionización de llama |

Ruiz, R. Bermúdez, S

Los parámetros específicos instantáneos proporcionan información de las variables que cambian con el tiempo, se puede decir que el parámetro más importante dentro de esta clasificación es la presión instantánea en el cilindro, a partir de esta es posible determinar las variables indicadas del motor (tabla 3).

Tabla 3. Parámetros específicos instantáneos

| Parámetros a medir | Parámetro derivativo | Instrumentación |
|-------------------------------|---|---|
| presión instantánea ρ | En el cilindro: - p. media indicada - potencia indicada - Rend. Indicado - Rend. Mecánico - presión máxima | Transductores: - piezoeléctricos - muelle débil |
| | En colectores: - gasto instantáneo | Transductores: - piezoeléctricos - piezorresistivos |
| Angulo de giro α | Variación del volumen | Transductores: - ópticos - magnéticos |

Ruiz, R. Bermúdez, S

1.6 COMISIONAMIENTO DE BANCO DE PRUEBAS

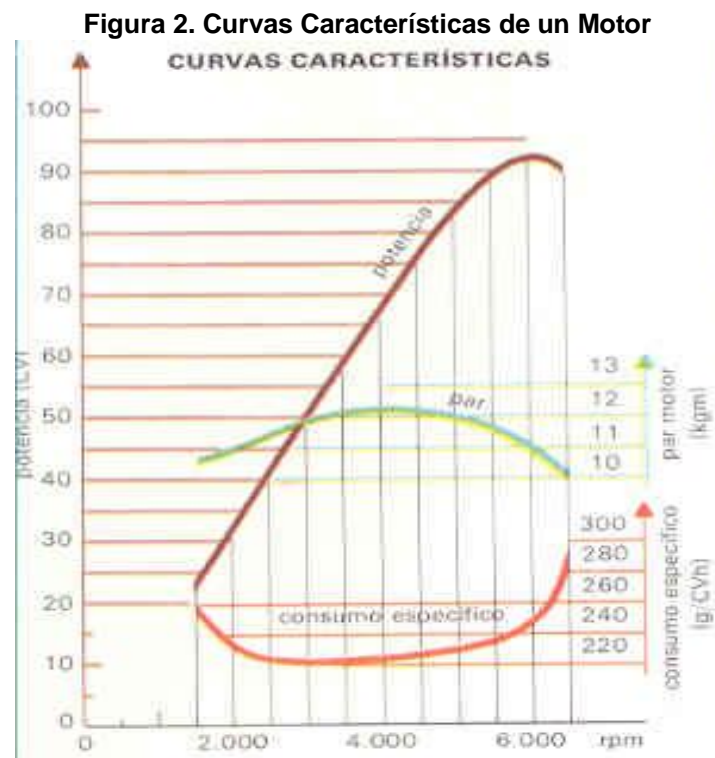
El desarrollo del comisionamiento, no solo es un proceso de pruebas y puesta en marcha de un equipo; es un proceso sistemático para garantizar que el conjunto de elementos que conforman un proyecto, interactúen en sí, de acuerdo con la documentación originada en la planeación, diseño, construcción y las necesidades de operación del cliente. Por tal motivo, el comisionamiento debe ejecutarse con la planeación del proyecto, desarrollar las etapas de diseño y construcción; teniendo en cuenta la normatividad vigente y las normas de seguridad pertinentes para evitar accidentes que puedan ocasionar lesiones graves o leves al personal involucrado en el proceso.

Los bancos de pruebas didácticos, cuentan con equipos para la medición de variables e instrumentación, que van cambiando a medida que las tecnologías avanzan. El comisionamiento de un elemento de medición, por ejemplo, debe verificar el desempeño del equipo correspondiente a las características de operación y los demás factores físicos involucrados para su correcto funcionamiento, igualmente demostrar la capacidad de realizar el trabajo para el cual fue diseñado. Los parámetros operacionales del instrumento deben ser medidos para tener información completa de su comportamiento. Continuamente se deberán realizar rutinas de inspección y mantenimiento, teniendo como base la información obtenida en el comisionamiento para realizar los ajustes necesarios de los elementos involucrados, optimizar el proceso y lograr mejores rendimientos. Igualmente la documentación obtenida deberá ser anexada a los diferentes manuales de operación y mantenimiento que se elaboren durante las posteriores o

siguientes etapas del mismo. El proceso de comisionamiento puede ser aplicado a equipos nuevos y para reacondicionar equipos que hayan cumplido su vida útil. Luego de la etapa de pruebas y puesta en marcha del equipo, se realiza la entrega con la documentación necesaria para su posterior utilización. Este desarrollo permite realizar nuevas modificaciones al sistema, actualizarlo con nuevas técnicas e instrumentos disponibles en el mercado, que va avanzando continuamente; obteniendo mejores rendimientos y aumentando la vida útil del equipo.

1.7 CURVAS CARACTERÍSTICAS DE UN MOTOR ALTERNATIVO

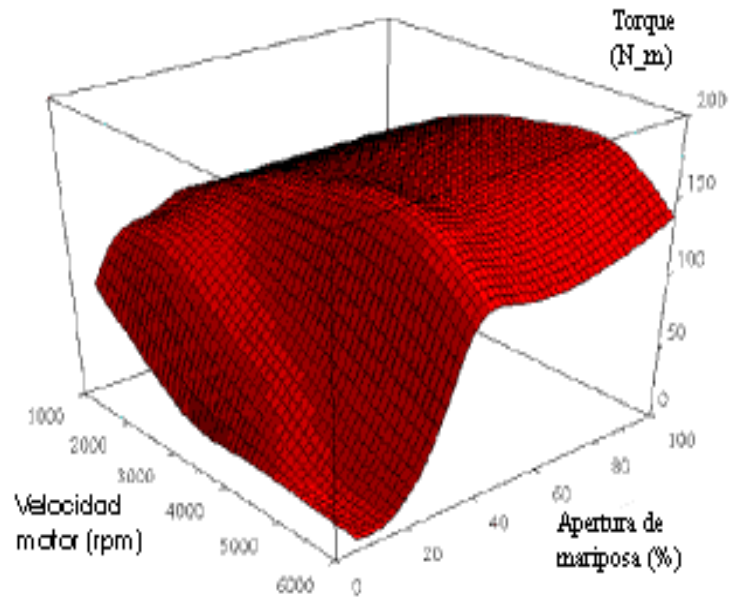
Las curvas características del motor de combustión interna permiten conocer su comportamiento bajo diferentes condiciones de operación y como una función de la velocidad de rotación del motor, la potencia, el par y el consumo específico del mismo [4]. Están incluidas en un rango de revoluciones, debajo del cual el motor funciona muy irregularmente o tiende a apagarse y si se sobrepasa el límite superior los elementos mecánicos están muy cerca de sufrir daños irremediables. Estos dos extremos determinan el campo de utilización de un motor [4]. En la figura 2 se observan las curvas características típicas (potencia, torque y consumo específico de combustible) de un motor de cuatro tiempos.



Fuente: Ganesan, V. [5].

1.7.1 Motor y Curva de Potencia. La representación generalizada del torque y la potencia presenta estos dos parámetros en función de la velocidad de rotación tal como se muestra en la figura 2, sin embargo, el comportamiento se pueden representar también en forma de superficies irregulares, que dependen de la apertura de la mariposa del acelerador y la velocidad de rotación del motor [6]. Estas superficies son obtenidas según procedimientos estándar de la SAE para pruebas dinamométricas [27], en la que se establece una apertura de mariposa y una carga determinada, y se permite que el motor se estabilice en una velocidad de rotación. La figura 3 muestra una superficie típica para un motor a gasolina.

Figura. 3. Curva característica de torque de un motor



Fuente:

http://guaica.uniandes.edu.co:5050/dspace/bitstream/1992/233/1/mi_1206.pdf. [7].

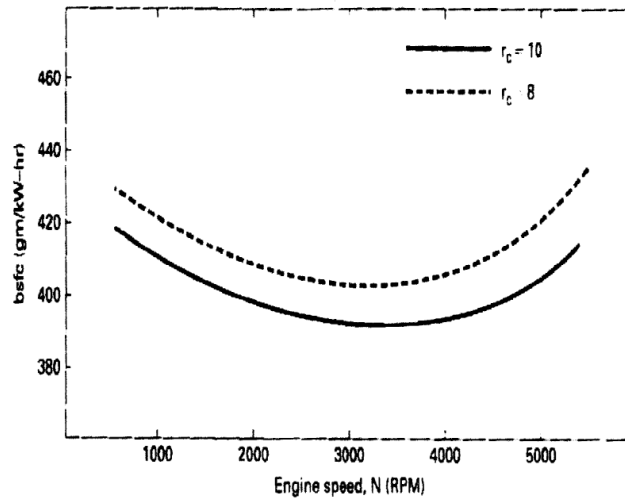
Dentro de esta superficie, existen dos curvas de interés: la curva de torque con mariposa del acelerador completamente abierta y la curva de consumo mínimo de combustible [7].

Del fabricante del motor, es posible obtener la curva de torque con mariposa totalmente abierta, que es reportada, usualmente, como una serie de datos puntuales de torque a diferentes rpm.

1.7.2 Curvas de Consumo. Para caracterizar el motor se pueden construir curvas de consumo de aire y consumo de combustible. En la literatura [8] se encuentra que el consumo específico de combustible es la cantidad carburante consumido por unidad de potencia generada y tiempo de funcionamiento y se reporta en g/Kw-h.

Típicamente (véase figura 4), la curva de consumo específico de combustible decrece al aumentar el nivel de revoluciones hasta llegar a un mínimo y a partir de allí empieza a crecer suave y gradualmente hasta el límite de utilización del motor; como la relación de compresión aumenta el consumo de combustible disminuye debido a una mayor eficiencia térmica [8].

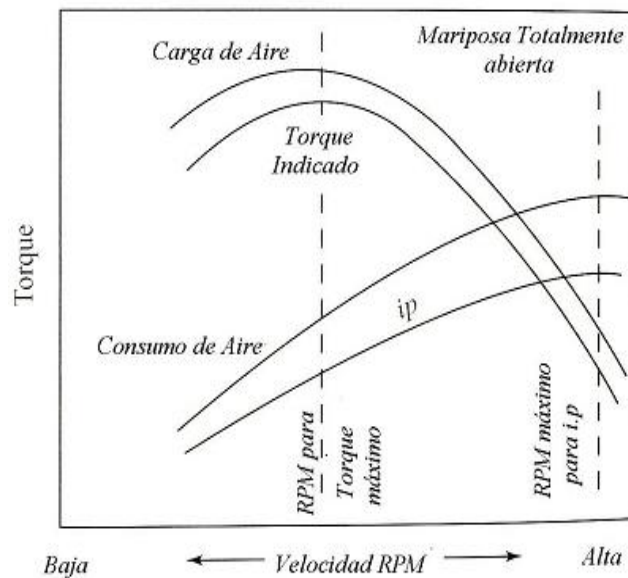
Figura. 4. Curva de Consumo Especifico



Fuente: Pulkrabek. [9].

De otra parte, existen también representaciones del consumo de aire de un motor en función de la velocidad como se muestra en la figura 5.

Figura 5. Curvas de consumo de aire en función de velocidad de un motor



Fuente: Ganesan, V. [5].

1.8 SISTEMAS DE ALIMENTACION EN UN MOTOR ALTERNATIVO

1.8.1 Sistema de Alimentación de Aire. El sistema de alimentación de aire es importante para el buen funcionamiento del motor, ya que debe suministrar el aire en una cantidad necesaria y además debe retener partículas sólidas que tiene el aire en suspensión [10].

Este sistema permite la toma de aire del medio ambiente, por medio de un filtro de tipo seco, que mediante una serie de laberintos de papel, retiene las partículas sólidas contenidas en el aire de ingreso, luego lo introduce en un ducto que lo deriva al carburador, este lo dosifica y lo envía al cilindro gracias a la aspiración ejercida por el mismo en el tiempo de admisión del motor.

La medición del consumo de aire es de suma importancia en ciertas pruebas, especialmente en las de carburación y también es muy útil en las pruebas de motores prototipo para la determinación del rendimiento volumétrico. En efecto, la potencia y el rendimiento de un motor son alterados por muchos factores, pero en el fondo la capacidad de un motor para producir trabajo depende de su capacidad para realizar una buena combustión, que depende de la cantidad de aire fresco que es capaz de aspirar, de ahí el interés que tiene su determinación [10].

1.8.2 Sistema de Alimentación de Combustible. El propósito de este sistema es almacenar el combustible y entregar una cantidad precisa, limpia y a una presión correcta, para satisfacer las exigencias del motor [12].

Un sistema en buenas condiciones y bien diseñado, asegura un flujo abundante y efectivo de combustible en todas sus fases, como por ejemplo en un cambio de velocidad, en una maniobra violenta y repentina, en las aceleraciones y desaceleraciones.

El combustible que ha de servir para que el motor funcione se encuentra en un tanque o depósito de almacenamiento totalmente hermético y sin fugas, el cual está ubicado sobre el carburador a una distancia suficiente para dar presión por medio de la gravedad al flujo de combustible [10].

El sistema toma el combustible desde el depósito y lo hace circular por medio de la gravedad en el ducto que lo introduce en un filtro de gasolina, el cual retiene las partículas sólidas en suspensión, para luego alimentar el carburador.

El carburador es el encargado de alimentar el motor con la mezcla de aire-combustible precisa para funcionar. El carburador dosifica la gasolina y la pulveriza en el aire que el motor aspira. Si la mezcla no incorpora suficiente gasolina (mezcla demasiado pobre) o su cantidad es excesiva (mezcla demasiado rica) el motor no funcionara adecuadamente.

Para mantener en óptimas condiciones este sistema, es necesario dos precauciones fundamentales, una es la de mantener siempre un nivel en el depósito de combustible, evitando que se vacíe completamente, la otra es la de

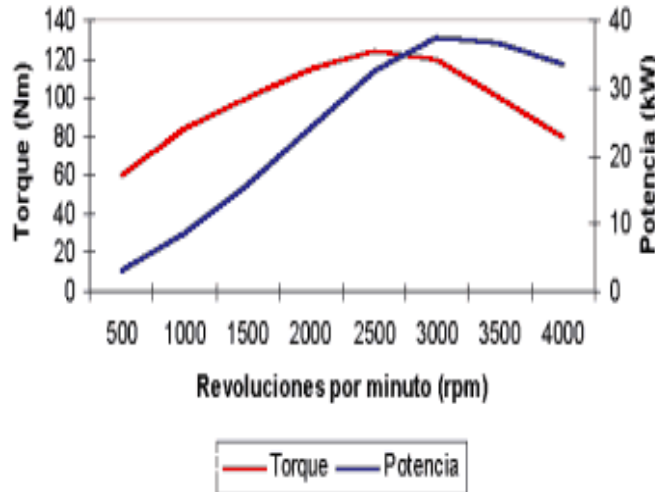
realizar un recambio periódico del filtro, de acuerdo con la recomendaciones que indica el fabricante.

1.8.3 Torque y Potencia. El torque o par motor es el momento de fuerza que ejerce un motor sobre el eje de salida del cigüeñal. Para medirlo se utiliza un banco o freno dinamométrico que no es más que un mecanismo en el que el motor puede girar a toda su capacidad conectado mediante un eje a un dispositivo que lo frena en forma gradual y mide la fuerza con que se está frenando.

Los motores de combustión interna alternativos se caracterizan por el torque máximo se produce a un determinado número de revoluciones y bajo ciertas condiciones de operación.

La figura 6 presenta las curvas de un motor con un torque máximo de 125 Nm a 2500rpm, lo que significa que el motor es capaz de producir un momento de fuerza de 125 newton metro, cuando está acelerado al máximo (con la válvula de mariposa del sistema de admisión completamente abierta), y gira a 2500 revoluciones por minuto.

Figura. 6 curvas de torque y potencia
Curvas de Torque y Potencia



Fuente: <http://www.automotriz.net/tecnica/torque.html> [14]

Tener el concepto claro de torque máximo de un motor es interesante al momento de comparar motores, ya que sin importar el tamaño, el tipo, el sistema de encendido ó el de inyección, se dice que un motor tiene más fuerza que otro cuando su torque máximo sea mayor. La tendencia mundial es lograr motores con el torque más alto posible en todas las revoluciones y principalmente al momento de arrancar.

La potencia es el trabajo que se puede desarrollar por unidad de tiempo, es decir la rapidez con la que produce trabajo y se calcula con el producto del torque y las revoluciones a las que se producen. En el caso de la grafica 5, el motor tiene una potencia máxima de 38 Kw a 3000 rpm. [14]

$$\text{Potencia} = \text{Torque} \times \text{velocidad angular}$$

Donde, el torque se expresa en N-m (Newton metro), y la potencia se expresa en W (Vatios).

1.8.4 Revoluciones del Motor (RPM). Es una unidad de frecuencia, usada para medir la velocidad angular del motor. En este contexto, una revolución es una vuelta de una rueda, un eje, un disco o cualquier cosa que gire sobre su propio eje.

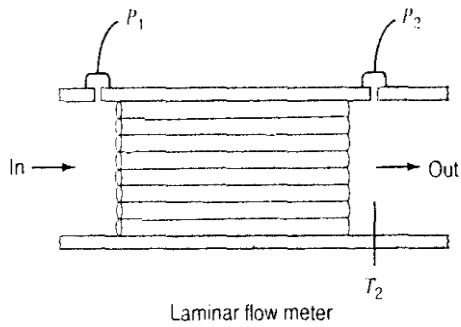
La velocidad del motor se mide con técnicas ópticas o eléctricas. Una técnica óptica utiliza un disco con agujeros montado en el eje del motor rotativo. Un diodo emisor de luz se monta en un lado del disco y un fototransistor se monta en el otro lado. Cada vez que un agujero en el disco pasa por el sensor óptico, un pulso de luz incide sobre el fototransistor, lo que genera una señal periódica, cuya frecuencia es proporcional a la velocidad del motor [9].

1.9 SISTEMAS DE MEDICION EN UN MOTOR ALTERNATIVO

1.9.1 Medición de Consumo de Aire: De acuerdo con Ferguson y Kirkpatrick [11], hay diversos tipos de medidores de consumo de aire en un motor pero los más utilizados actualmente y al mismo tiempo los más sencillos son los siguientes:

1.9.1.1 Medidor de Flujo Laminar: La figura 7 muestra la representación grafica de un medidor de flujo laminar, en donde por estos medidores se hace fluir agua en un tubo transparente; cuando el régimen de flujo se encuentra bien establecido, se inyecta un líquido de color. En el régimen laminar, no existe mezclado y el colorante se mueve en línea recta, lo que permite que el fluido se considere como un fluido de placas mínimas que son desplazadas por la acción del esfuerzo cortante que se les aplica. Bajo estas condiciones, el caudal depende linealmente de la caída de presión en el medidor [9].

Figura. 7 Medidor de flujo laminar

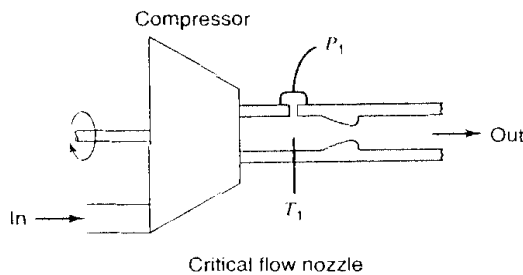


$$\dot{m} = C \frac{P_1}{T_2} (P_1 - P_2)$$

Fuente: Ferguson, C.R.; Kirkpatrick, A.T. [11]

1.9.1.2 Boquilla o Tobera de Flujo Crítico: Es un instrumento medidor de flujo que consiste en un orificio con una garganta parecida a la del tubo Vénturi pero con una forma más prolongada que la de un medidor orificio sencillo (véase figura 8). En general, los cálculos en una boquilla o tobera son exactamente los mismos que en un tubo Vénturi, al instalar un medidor de este tipo se logran mediciones más exactas. Además las toberas son prácticamente exclusivas para el uso en líquidos, en ocasiones se utilizan para gases, utilizando un líquido para medir la diferencia de presión, su forma hidrodinámica evita que sedimentos transportados por el fluido queden adheridos a la tobera [9].

Figura. 8 Boquilla de flujo crítico



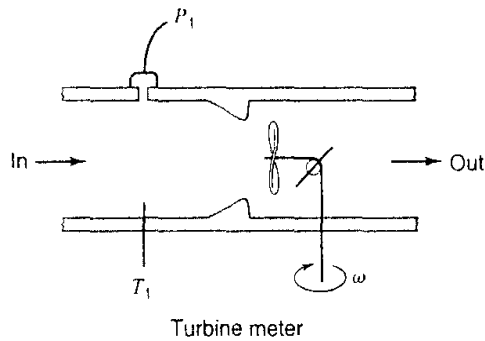
$$\dot{m} = C \frac{P_1}{\sqrt{T_1}}$$

Fuente: Ferguson, C.R.; Kirkpatrick, A.T. [11]

1.9.1.3 Medidor de Turbina: Los medidores de turbina tienen un rotor que puede girar libremente cuando el fluido lo empuja, entonces la velocidad de rotación de la turbina es proporcional a la velocidad del fluido (véase figura 9). Para determinar el número de revoluciones de la turbina el medidor consta de un dispositivo

captador que genera un impulso eléctrico cada vez que un alabe de la turbina pasa frente a él. A pesar de su simplicidad, no pueden usarse cuando hay sólidos suspendidos o agentes corrosivos [9].

Figura. 9 Medidor de turbina

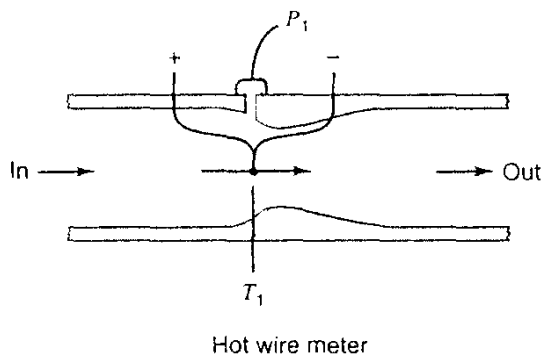


$$\dot{m} = C \frac{P_1}{T_1} \omega$$

Fuente: Ferguson, C.R.; Kirkpatrick, A.T. [11].

1.9.1.4 Medidor de Hilo Caliente: Consiste en un fino alambre, generalmente de platino, que se calienta por medios eléctricos dentro del seno del gas al cual se le va a medir la velocidad (véase figura 10). A medida que la velocidad aumenta, dicho alambre se enfría, de modo que la resistencia eléctrica aumenta, con lo que se puede determinar por medio de la lectura de la resistencia eléctrica la velocidad de flujo del mismo, o bien, se puede trabajar el alambre a temperatura constante, midiendo la corriente eléctrica necesaria para mantener el cable a temperatura constante. En estos equipos, la tasa de flujo de aire es proporcional a la velocidad de la línea central [9].

Figura 10. Medidor de hilo caliente



$$\dot{m} = C \frac{P_1}{T_1} V_{\text{C}}$$

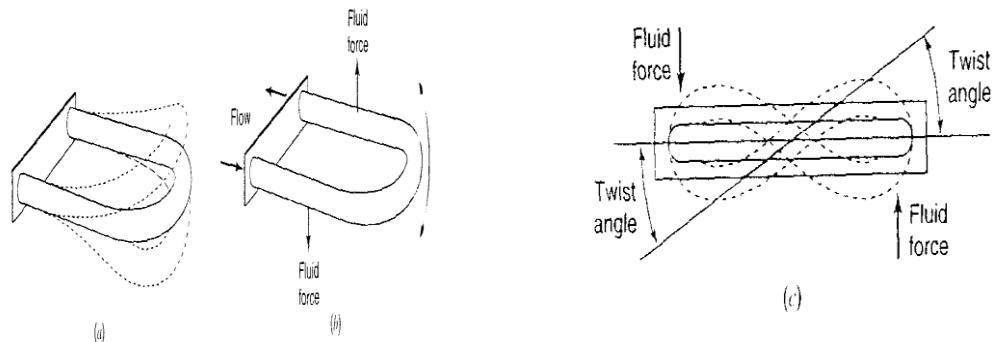
Fuente: Ferguson, C.R.; Kirkpatrick, A.T. [11]

1.9.1.5 Anemómetros: Son instrumentos para la medición de la velocidad del viento y del caudal volumétrico. Son muy sencillos pero son sensibles al impacto y a la corrosión, por lo que no son recomendables para gases corrosivos, ni que manejen sólidos en suspensión. Están generalmente constituidos por una turbina y un encoder, y en la mayoría de los casos permite transmitir de manera directa los datos de medición de temperatura y velocidad del aire a un PC o a un portátil. [9].

1.9.2 Medición de Consumo de Combustible. El objeto de esta medición es conocer el rendimiento real o efectivo del motor. De acuerdo con Ferguson [11], existen diferentes sistemas de medición de combustible que pueden utilizarse en bancos de pruebas de motores.

1.9.2.1 Medidor de Flujo Másico Coriolis: La medición de caudal por el efecto Coriolis es también conocida como medición directa o dinámica; consiste en una señal directamente proporcional al caudal másico e independiente de las propiedades como la conductividad, presión, viscosidad o temperatura. En estos dispositivos, dos tubos de medición por donde pasa el combustible oscilan en su frecuencia de resonancia (véase figura 11). El caudal másico provoca un cambio en la fase de la oscilación entre la entrada y la salida del equipo. Este desfase es proporcional al caudal másico, después de una amplificación crea la señal de salida. Las frecuencias de resonancia de los tubos de medición dependen de la masa oscilante en los tubos y por lo tanto de la densidad del producto. Un posible problema es la vibración, que si no está controlada y no actúa en forma correcta sobre los elementos preparados para tal fin, se puede transmitir a los tubos y, consecuentemente, someterlos a un proceso de fatiga que conduciría a finalizar con un deterioro prematuro [11].

Figura. 11 Caudalímetro efecto Coriolis.

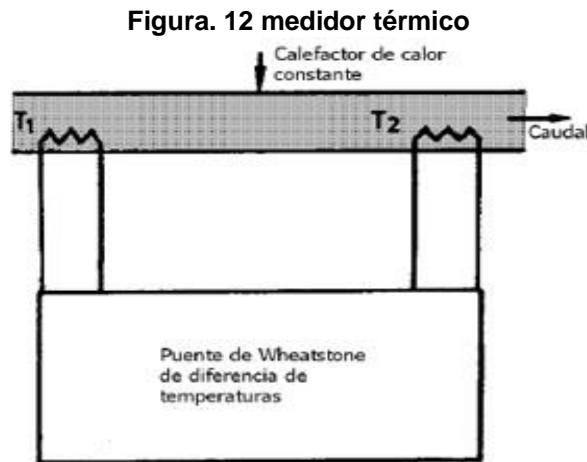


Fuente: Pulkrabek. [9].

1.9.2.2 Medidor de Flujo Másico Térmico: Su funcionamiento está sujeto a dos principios físicos: La elevación de temperatura del fluido en su paso por un cuerpo caliente, y la pérdida de calor experimentada por un cuerpo caliente inmerso en el fluido.

La figura 12 muestra un esquema general de estos medidores. Generalmente se tiene una fuente eléctrica de alimentación que proporciona calor constante al punto medio del tubo por el cual circula el caudal. En puntos paralelos de la fuente eléctrica se encuentran dos termocuplas para medir la temperatura; cuando el fluido está en reposo, la temperatura es idéntica en las termocuplas y cuando el fluido circula, transporta una cantidad de energía hacia el segundo elemento de medición T_2 , y se presenta una diferencia de temperaturas que va aumentando progresivamente entre las termocuplas a medida que aumenta el caudal. Esta diferencia es proporcional a la masa que circula a través del tubo, de acuerdo con la primera ley de la termodinámica, la pérdida de calor del fluido (q) es proporcional al caudal másico (m), al calor específico (c_p) y al delta térmico (ΔT) = $T_1 - T_2$

$$q = m * c_p * \Delta T$$



Fuente: Pulkrabek. [9].

El sistema está conectado a un puente de Wheatstone que determina la diferencia de temperaturas y la amplifica [11].

1.9.2.3 Medidor de Flujo Másico Electrónico: Es un transductor que detecta la velocidad de un flujo utilizando un ducto con una turbina de paletas suspendida axialmente en la dirección del flujo. El combustible en el ducto choca con las aletas de la turbina provocando su rotación. Un sensor de proximidad externo

detecta la rotación de la turbina sondeando el movimiento de las partículas. La rotación de la turbina es lineal con respecto al caudal.

La principal característica de este sensor es la precisión. Este medidor puede instalarse en cualquier orientación siempre y cuando se tenga cuidado de mantener el medidor lleno de líquido [14].

1.9.2.4 Medidor de Flujo (Método Volumétrico): Este método es el más simple y el más exacto, consiste en medir con un cronómetro el tiempo que tarda el motor en consumir un volumen dado de combustible (flujómetro volumétrico).

Todo lo necesario para efectuar esta medición es un vaso de capacidad conocida conectado por medio de una válvula al tubo que transporta el combustible del tanque principal.

La capacidad del vaso de medida debe ser tal, que a plena carga el motor demore aproximadamente 1 minuto en consumir su volumen. Según la norma SAE J15-26 de junio de 1987 [28], para que la medida del tiempo que demora en consumir el combustible sea exacta, es necesario controlar visualmente el nivel de combustible, de modo que las marcas indicadoras del volumen calibrado deben encontrarse en tubos de pequeña sección de tal manera que no hayan filtraciones de burbujas de aire evitando así alterar las mediciones de volumen.

De este modo se mide el tiempo "t" (segundos) que demora el motor en consumir la cantidad Q (litros) de combustible, mientras el freno indica que esta entregando la potencia "Ne". La determinación que en el fondo interesa efectuar es la de consumo específico de combustible que se mide en gramos por C.V. hora, y que se indica Ce. $Ce = \text{gramos de combustible por hora} / \text{potencia (Ne)}$ [3].

1.9.2.5 Medidor de Flujo (Método Gravimétrico): Se emplea un sistema de pesaje, por medio de una balanza para determinar la masa del combustible que fluye a través del sistema en un lapso de tiempo determinado. La masa neta se deduce de la diferencia de masa en los dos instantes de tiempo establecidos.

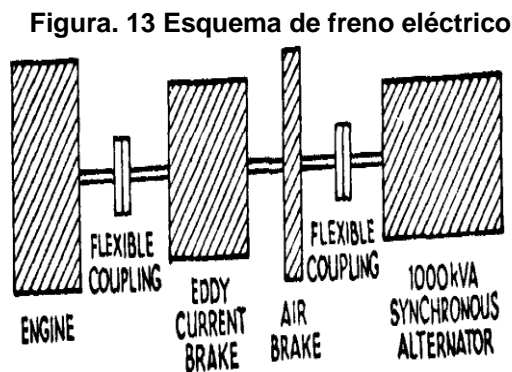
1.9.3 Medición de Torque y Potencia. En la literatura de diseño de elementos de máquinas [16] se encuentra que los primeros sistemas de medición de torque y potencia fueron los frenos dinamométricos; estos utilizan la fricción mecánica para absorber la potencia del motor. Un ejemplo vivo de estos dispositivos es el conocido Freno Pronny.

En términos generales, un freno dinamométrico es un mecanismo encargado de crear un par resistente que absorbe y disipa la energía mecánica proporcionándole una carga al motor con el objeto de efectuar la medición de torque o par motor.

Esta carga debe ser variable para ensayar en distintas condiciones operativas del motor [15].

Se han desarrollado varios tipos de frenos basados en los distintos principios. Los más difundidos son:

1.9.3.1 Freno Eléctrico. Para determinar la potencia se puede utilizar un generador de corriente eléctrica para cargar al motor. Si se acopla un motor térmico a un dinamofreno conectado a una resistencia eléctrica, la potencia del motor se utiliza en el accionamiento de la resistencia. Esta potencia eléctrica se puede determinar con instrumentos eléctricos (voltímetro y un amperímetro). La figura 13 muestra un esquema general de este dispositivo. Cuando se utiliza este método debe tenerse en cuenta que existen pérdidas por rozamiento por efecto del aire y pérdidas eléctricas que dependen de la carga en el generador, por lo que la medida no es muy precisa [16].

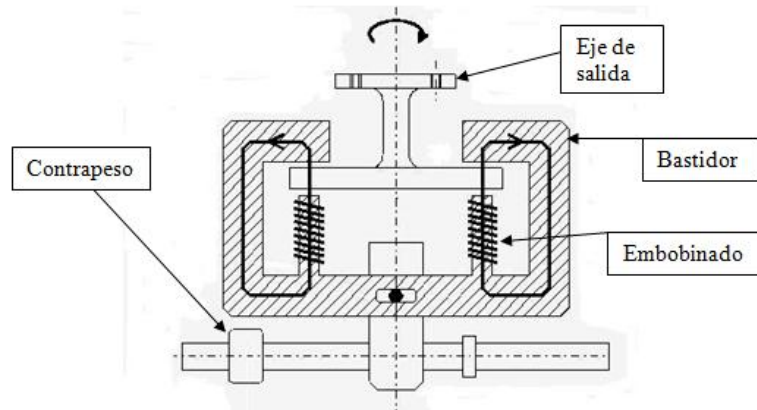


Fuente: Rojas, H. [14].

1.9.3.2 Freno de Foucault. Es un freno de accionamiento eléctrico que se encuentra dentro de la familia de los frenos electromagnéticos, conocido también como freno de excitación por corriente continua o freno de Pasqualini.

Se trata de una evolución del freno Pronny, y está compuesto de una carcasa o bastidor flotante, un eje de salida y contactos con dos electroimanes excitados por la corriente continua, que son los que generan el efecto de frenado por excitación de corrientes parásitas al inducir el voltaje adecuado [15]. La figura 14 presenta los elementos que generalmente lo constituyen.

Figura 14. Esquema general del freno de Foucault



Fuente: Niemann, G. [15].

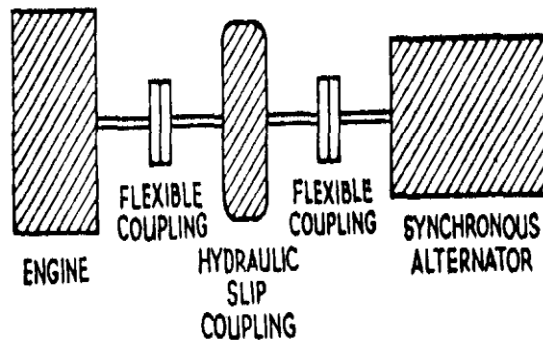
1.9.3.3 Freno Hidráulico: La figura 15 muestra las partes que componen un freno hidráulico; principalmente consiste en un disco montado en una cubierta, la cual contiene un fluido (agua) que sirve como un elemento de frenado y como refrigerante.

La resistencia que encuentra el disco al girar es igual y opuesta a la reacción que tiende a hacer girar a la cubierta. La potencia del motor absorbida por el freno se transforma en calor, necesiándose una alimentación continua de agua fría.

Los frenos dinamométricos hidráulicos se emplean cuando se tienen cargas muy pesadas y a altas velocidades, ya que la velocidad es aproximadamente proporcional al cuadrado de la velocidad de giro. Sin embargo a bajas velocidades la capacidad de absorción es relativamente limitada.

La ventaja de los dinamómetros hidráulicos es la variedad de aplicaciones que pueden tener como por ejemplo en máquinas de tensión y compresión, troqueladoras, apriete de platos, tapas, apriete de tuberías, perforación de pozos petroleros, grúas de carga, soldadoras de puntos, medicina, prueba de ferrocarriles [16].

Figura. 15 Esquema de freno hidráulico



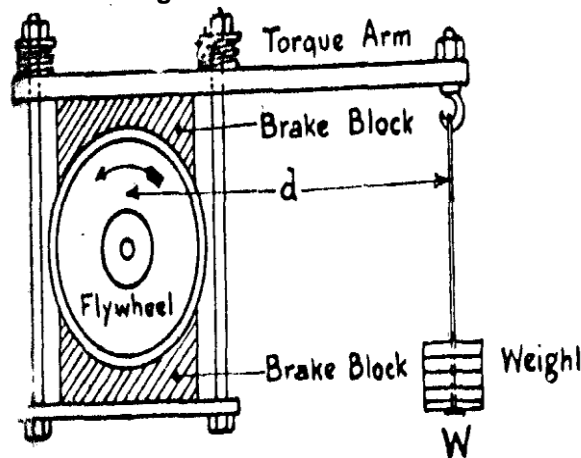
Fuente: Rojas, H. [14].

1.9.3.4 Freno de Fricción. Conocido también como freno Pronny, está diseñado para disipar la energía cinética del eje del motor al convertirla en calor. Siempre consta de un cuerpo fijo sobre el cual se presiona un cuerpo a frenar, tal como se ilustra en la figura 16.

Cuando el sistema se equilibra y no tiende a girar a ningún lado, el par del motor se iguala al par resistente generado por el freno. Como el par resistente es el producto de un peso conocido por una distancia conocida, esto indica que el par del motor es el mismo.

Debido a que este tipo de freno es económico, su construcción es fácil y a que su funcionamiento es simple es utilizado con frecuencia en pruebas de motores pequeños, motores que trabajan a bajas velocidades y en motores alternativos [16].

Figura. 16 freno mecánico



Fuente: Rojas, H. [14].

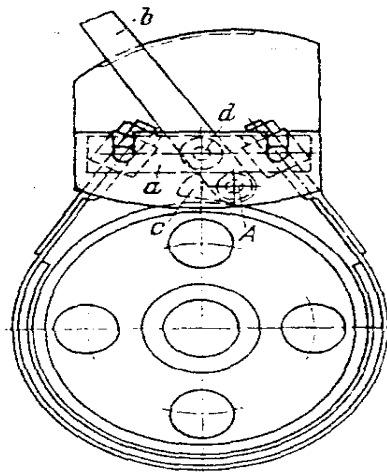
1.9.3.5 Freno de Banda o de Cinta: Estos frenos se caracterizan porque envuelven parcialmente al tambor a frenar que está unido al eje de salida del motor y la acción de frenado se obtiene tirando de la cinta o de la banda para que se apriete contra el tambor (véase figura 17).

Por lo general estos frenos son muy simples y ocupan poco espacio, frenan enérgicamente.

La banda normalmente es de acero inoxidable y está revestida por una guarnición, siendo asbesto lo más empleado. Su capacidad de frenado depende del ángulo de abrace de la banda con el tambor o polea, del coeficiente de fricción banda vs tambor y de las tensiones f_1 y f_2 [6].

F_1 y f_2 son las fuerzas de tensión en los extremos de la banda a las que están sometidos los dinamómetros siendo f_1 la mayor y f_2 la menor al tener en cuenta la fricción entre la banda y la polea.

Figura. 17 freno de banda o de cinta



Fuente: Niemann, G. [15].

1.10 PROTOCOLOS DE PRUEBAS PARA CARACTERIZACIÓN DE MOTORES DE COMBUSTION INTERNA

La bibliografía especializada, describe de manera general los procedimientos estandarizados para la realización de las curvas de torque, potencia, consumo específico de combustible, emisiones, etc. [3; 9; 11; 18]. Sin embargo, la Sociedad Americana Automotriz, SAE, establece el estándar específico utilizado para pruebas de motores comerciales que es comúnmente usado para los motores comerciales. El estándar SAE j13 49 [25] documenta la prueba tanto para motores de de encendido por chispa como para motores de encendido por compresión, con

aspiración natural o turbo cargados con o sin carga de aire de enfriamiento. Estas pruebas no son aplicables para motores de avión o motores marinos pero describe de manera general las características de los equipos de laboratorio a utilizar para la realización de pruebas dinamométricas. Deben resaltarse como aspectos importantes que fija la exactitud de la instrumentación utilizada y el procedimiento de corrección de las pruebas de acuerdo con la temperatura de suministro de aire. En cuanto a las mediciones relacionadas con los propósitos de este proyecto, el estándar define las condiciones del dinamómetro usadas para obtener la potencia neta y el torque. De una parte, se indica la manera en la que deben registrarse las medidas de torque y velocidad. En este caso, las medidas deben ser tomadas con incrementos continuos de no más de 500 rpm desde la velocidad más baja hasta la más alta recomendada por el fabricante. Las velocidades de operación registradas en la prueba deben incluir potencia pico y torque pico. La velocidad del motor durante la prueba no debe ser desviada de la velocidad de prueba nominal en más de 1 % o 5 rpm.

Los datos no deben ser tomados hasta que las medidas de torque y velocidad hayan alcanzado el estado estable dentro de 1% y la temperatura controlada haya permanecido estable dentro de +/-2% por C para mínimo un minuto. Las medidas registradas deben ser el promedio de lecturas sobre un rango de un minuto. Los resultados son considerados válidos si la repetitividad de cómo mínimo de 3 medidas está dentro del 1% de la media.

2. METODOLOGIA Y PROCESO DE DISEÑO

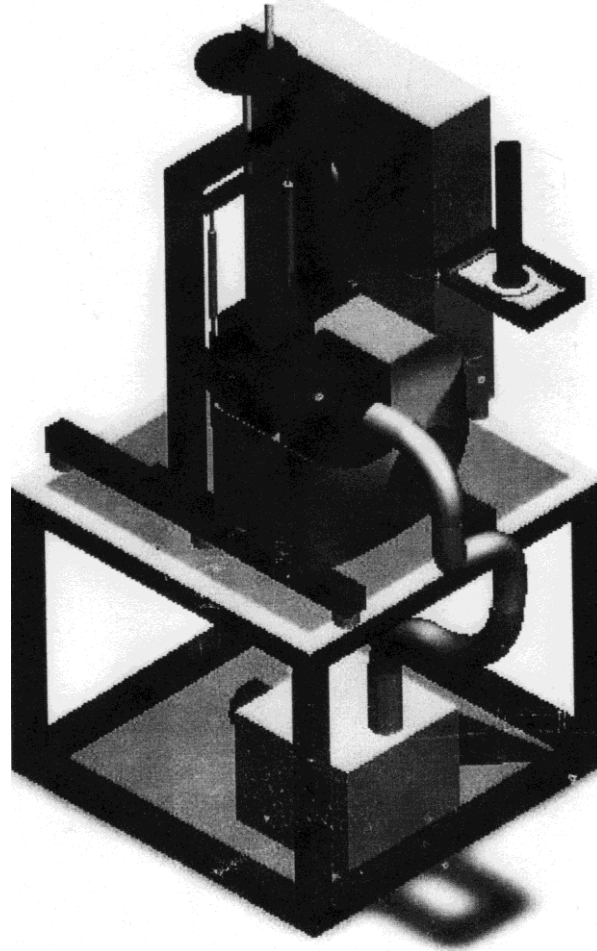
Como punto de partida el proceso de diseño se fijaron requerimientos con base en el tipo de equipo y las condiciones de operación a las que se someten. De aquí se estableció que el banco debe ser móvil, de bajo costo, con buena maniobrabilidad, sencillo de manejar, que su montaje y desmontaje no necesite herramientas especializadas, para que su mantenimiento sea más fácil y para que también pueda ser operado por los alumnos de la asignatura Laboratorio De Motores De Combustión Interna Alternativos. Así mismo, debe estar equipado con un motor mono cilíndrico de 4 tiempos a gasolina, con su respectiva caja de herramientas y sistema de medición consumo de aire, sistema de medición consumo de combustible, sistema de medición de potencia y sistema de medición de revoluciones.

Se dispuso utilizar los programas SOLID WORKS® Y ANSYS® para optimizar el tiempo de desarrollo del diseño y minimizar los errores de cálculos que se hacen a mano de los elementos estructurales del banco de pruebas. El diseño se soportó en un análisis estático de los elementos que lo componen. De acuerdo con Avilés, R. [17], se puede obviar el análisis dinámico si el factor de seguridad de las piezas es alto; cuanto menor sea el factor de seguridad mayor la necesidad de un análisis dinámico.

2.1 DISEÑO CONCEPTUAL

Inicialmente y con base en la bibliografía consultada se elaboró un modelo general de un banco de pruebas para motores alternativos con todos los elementos involucrados; teniendo en cuenta los objetivos del proyecto, su alcance y las restricciones propias de un banco con fines académicos se planteó un modelo para el proyecto. La figura 18 muestras esquemáticamente el modelo del banco.

Figura 18. Esquema del banco de pruebas



Fuente: Freddy Márquez y Miller Rojas, 2011.

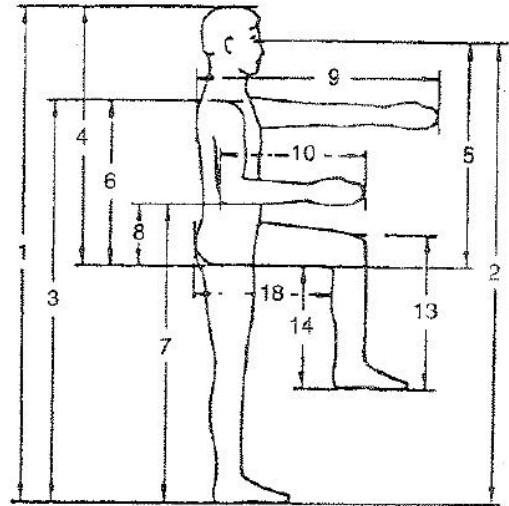
A partir de lo anterior, se planteó un diseño conceptual que involucró los elementos constitutivos plasmados en el anteproyecto y los instrumentos de medición disponibles en los laboratorios de la Universidad. La figura 17, ilustra esta primera aproximación. Posteriormente se procedió a realizar el dimensionamiento general del banco a partir de parámetros como el tamaño del motor, las dimensiones del sistema de freno pronny, los criterios ergonómicos para la operación segura del banco, los sistemas de medición y la disponibilidad de espacio para ubicarlo en el laboratorio sin afectar las operaciones de los demás proyectos.

2.1.1 Recomendaciones Ergonómicas. Como el trabajo en el banco se caracteriza por una posición erguida de los operarios, el diseño de la estructura se desarrolla considerando que debe permitir el acceso a todos los operarios. Para esto se tienen en cuenta las características antropométricas propias de la población colombiana. La estructura se diseña sobre la estatura mínima promedio

de la población objetivo, en este caso el percentil recomendado será el Percentil 5 (p5), lo cual indica, que el 5% de la población tomada como muestra está por debajo de esta medida, es decir que un 95% de la población podría manipular el banco sin problema alguno y un 5% tendría que realizar un esfuerzo mayor para hacerlo [19]. Las variables antropométricas consideradas en este estudio se referencian en la figura 19

Figura 19: variables antropométricas

- 1 Altura
- 2 Altura a nivel de los ojos
- 3 Altura a nivel de los hombros
- 4 Altura de la cabeza al asiento
- 5 Altura de los ojos respecto al asiento
- 6 Altura de hombros respecto al asiento
- 7 Altura a nivel de los codos
- 8 Altura de los codos respecto al asiento
- 9 Alcance de la mano hacia delante (dedos en posición de aprehender)
- 10 Longitud del antebrazo (desde el codo a la punta de los dedos)
- 11 Envergadura de los brazos
- 12 Distancia naigas-rodilla
- 13 Distancia planta de pie-rodilla
- 14 Distancia planta de pie-pliegue de rodilla
- 15 Anchura de espalda
- 16 Anchura de caderas
- 17 Grosor de los muslos
- 18 Distancia espalda-pliegue de las rodillas



Fuente: Farrer, F. Minaya, G., [et al]. [21]

A partir de los resultados de un estudio antropométrico de la población laboral colombiana realizados por la universidad de Antioquia en 1995, en una muestra poblacional de 2100 trabajadores colombianos, hombres y mujeres, en edades entre los 20 y los 59 años de edad [20] y referenciados en el (anexo a), se seleccionan las dimensiones específicas requeridas para el diseño de la estructura o área de trabajo optima y accesible a todo tipo de personas, garantizando el mejor desempeño en la tarea a realizar, estas medidas se agrupan en la tabla 4.

Tabla 4. Dimensiones seleccionadas para el diseño de la estructura para acceso y desempeño del operario en posición de pie.

| Medida | Percentil 5 | Percentil 50 | Percentil 95 |
|------------------------------------|-------------|--------------|--------------|
| Alcance vertical máximo | 198,0 | 213,1 | 229,4 |
| Alcance vertical asimiento | 183,7 | 198,3 | 213,2 |
| Alcance horizontal máximo | 71,5 | 76,9 | 82,9 |
| Estatura | 158 | 168 | 179 |
| Altura a nivel de los codos | 98.7 | 106.5 | 114.3 |

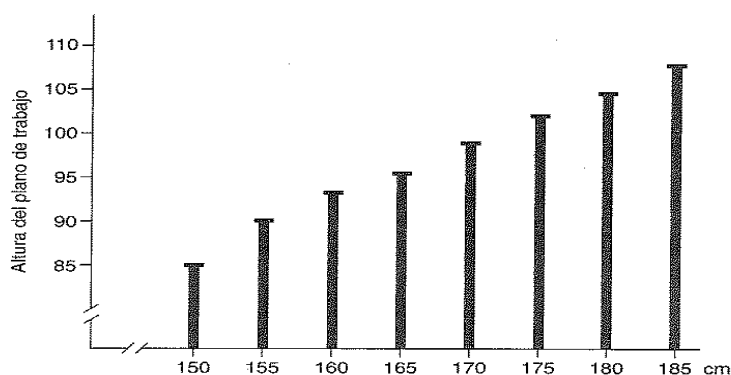
Fuente: Freddy Márquez y Miller Rojas, 2011.

2.1.2 Consideraciones Para el Diseño en General

2.1.2.1 Altura de la Mesa de Trabajo: Para definir la altura óptima de un banco o mesa para trabajar de pie, se toma la altura de codos como referencia. Para tareas con requerimientos normales con un nivel medio de fuerza y precisión, donde se manipulen objetos no muy pesados se debe diseñar la superficie de trabajo para que esté a la altura del codo o algo inferior aproximadamente 5-10 cm. por debajo. En caso de que el plano de trabajo no signifique área de apoyo de material o de los antebrazos la altura de la mesa deberá ser la de un trabajo normal sin esfuerzo [22]

Tomando como referencia la altura del operario con percentil 5 es decir para la mínima medida promedio, la altura de la mesa de trabajo deberá estar entre 85 cm y 90 cm. (Vease figura 20).

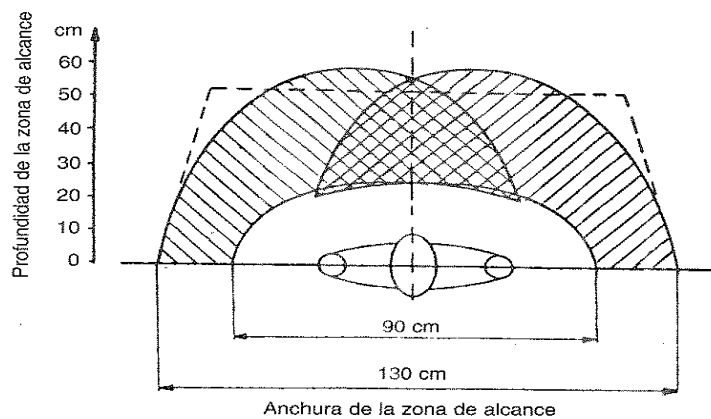
Figura 20: Planos de trabajo en posición de pie



Fuente: Farrer, F. Minaya, G., [et al]. [21]

2.1.2.2 Alcance Máximo Horizontal: El ancho y profundidad del plano superior de la mesa dependerá del alcance máximo del brazo en la dirección requerida; y quedarán establecidas por una semicircunferencia con centro en el hombro [21]. La zona óptima para un buen desempeño en el trabajo realizado en el banco de pruebas según el alcance máximo horizontal o longitud del brazo hacia adelante y lateralmente con percentil 5 según las tablas mencionadas debería ser de 130 cm de ancho por 70 cm de profundidad. (Véase figura 21)

Figura 21: zona de alcance óptima a la altura de la mesa
DISTANCIAS, ALCANCES Y DISPOSICIONES



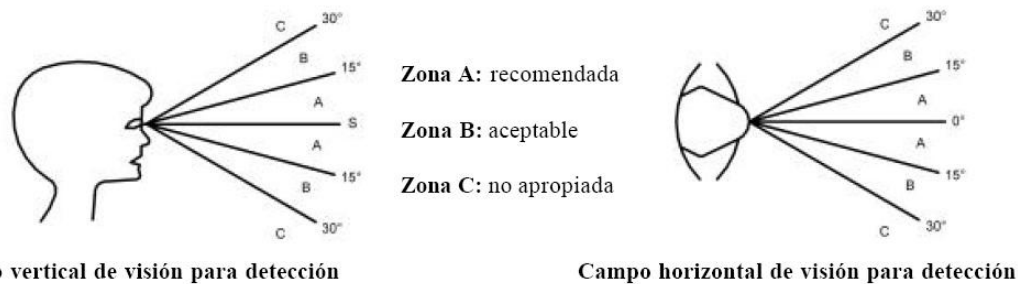
Zona de alcance óptima a la altura de la mesa (según Schmidtke).

Fuente: Farrer, F. Minaya, G., [et al]. [21]

2.1.2.3 Alcance Máximo Vertical. La altura máxima para aprehensión deberá ser de 198 cm hasta el final de la manivela, tomando en cuenta que estas son las medidas para el operario de menor estatura, por lo tanto los demás operarios podrán acceder a este comando con facilidad. [23]

2.1.2.4 Angulo Visual. Las señales visuales y dispositivos de información proporcionados por la maquina deberán estar situados de forma que quedan dentro del campo de visión de una persona, con una luminosidad y un contraste de color suficientes con relación a su entorno. En la figura 22 se ilustran los ángulos de visualización tanto vertical como horizontal para detección de información por parte del operario, deben tener una inclinación máxima de 30 grados a los lados y 30 grados arriba y abajo para una zona aceptable, aunque la zona recomendada la cual debería utilizarse siempre está en 15 grados vertical y horizontal.[24]

Figura 22: Campo vertical y horizontal de visión para detección de información



Fuente: <http://departamentos.unican.es/digteg/ingegraf/cd/ponencias/242.pdf> [24].

2.2 DISEÑO BASICO

A partir del diseño conceptual se planteó un diseño básico de la estructura y los diferentes elementos del banco de pruebas. Con esta configuración se realizó un estudio computacional (CAE) en ANSYS® que permitió establecer el factor de seguridad para los elementos diseñados con miras a la fabricación final en el taller. El anexo p muestra detalles de los planos de la estructura soporte del banco de pruebas desarrollados en el simulador tridimensional SOLID WORKS®.

Para simular en ANSYS®, primero fue necesario determinar el peso total que debe soportar la estructura (Tabla 5), hallando las dimensiones de cada elemento y su respectiva densidad. La fuente de información fueron catálogos de fabricantes y páginas web de distribuidores de materiales (Véanse anexos b,c,d,e,f,g)

Tabla 5. Pesos estimados del motor y sistemas de medición de variables

| Pesos estimados del motor y sistemas de medición de variables | componentes | Peso |
|--|-----------------------------|-------------|
| Motor | | 31000 gr |
| Sistema de medición de consumo de aire | Filtro de aire | 259,4 gr |
| | Caja de tanquilizacion | 2920,5 gr |
| | Manguera de aspiración aire | 721,3 gr |
| | Caja entrada aire | 541,7 gr |
| sistema de medición de consumo de combustible | Motor | 541,7 gr |
| | Bascula | 775,8 gr |
| | Probeta | 407,3 gr |
| | manguera | 400,3 gr |
| | Polea | 4650 gr |

| | | |
|-------------------|----------------------|-------------------|
| Freno-dinamómetro | Banda semi- elástica | 635,9 gr |
| | dinamómetros | 488,1 gr |
| | Sistema de tensión | 2682,1 gr |
| Tacómetro | | 298,9 gr |
| Total | | 45781,3 gr |

Fuente: Freddy Márquez y Miller Rojas, 2011.

Peso total = 45,78 Kg. + 10% = 50,36 Kg

Para la realización de la simulación se seleccionó perfiles de acero hr A36 (anexo b), ya que es el metal estructural más usado. Es fundamentalmente una aleación de hierro (mínimo 98%), con un contenido de carbono menor del 1%. Entre sus ventajas está la gran resistencia a la tensión, compresión y un costo razonable. Existen distintos tipos de perfiles estructurales; se elige uno de tipo rectangular de 1" y ½ por 2" calibre 12 (anexo c), por su bajo costo, bajo peso y buen comportamiento cuando es sometido a cargas por flexión.

También se utiliza Angulo 1" y ½ x 3/16 (anexo d), este elemento estructural es fabricado por procesos de laminación en caliente de palanquillas provenientes de la colada continua, por medio de la cual se conforman secciones transversales con formas de "L".

Los perfiles angulares son muy utilizados en todo el mundo para la construcción de torres de transmisión eléctrica, torres de telecomunicaciones, fabricación de vigas y columnas en celosía, cerchas, en cerrajería y en industria metal mecánica ligera.

Para los soportes se seleccionó una lámina Cold rolled calibre 20 (anexo e), normalmente para la fabricación de techos, perfiles soldados, elementos formados en frío, piezas automotrices, tubos soldados, electrodomésticos, carpintería metálica, etc.

La soldadura a utilizar es de arco eléctrico con electrodo metálico; el electrodo utilizado para este proyecto es el 6013 (anexo f), este electrodo cuenta con un Revestimiento a base de rutilo y potasio, lo cual le da muy buena estabilidad, fácil remoción de escoria, produce cordones de superficie suave, de aspecto liso y limpia diseñado para alto rendimiento, fácil aplicación para trabajos de lámina delgada como construcciones de Carrocerías, muebles metálicos, ductos de aire acondicionado, rejas, ventanas y ornamentación en general, inclusive al trabajar con corriente alterna en quipos de bajo voltaje de circuito abierto.

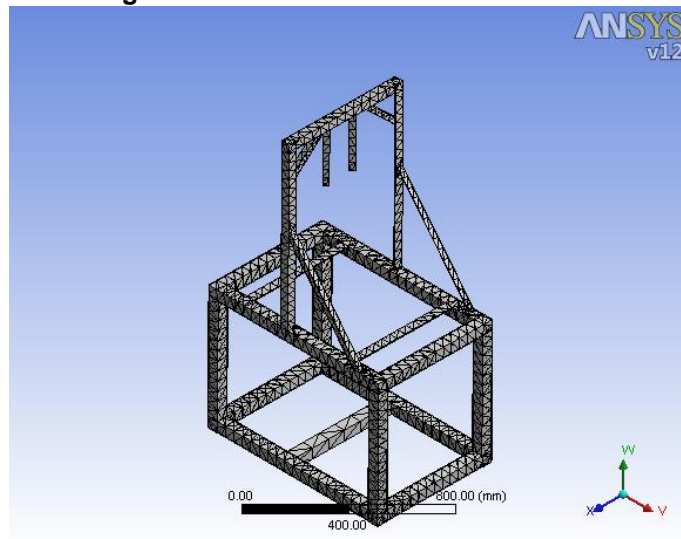
Para facilitar la movilidad del banco se seleccionaron ruedas marca IMSA de 29" (anexo g), soldadas a la bancada. Estas ruedas son utilizadas a nivel industrial

con una capacidad de 90 Kg cada una, estas soportan el peso total de la bancada más sus sistemas de medición.

2.2.1 Análisis Computacional de la Estructura del Banco de Pruebas. Para analizar el comportamiento de la estructura, se utilizó el método de simulación de elementos finitos. Con los resultados obtenidos se puede comprobar la resistencia de las piezas seleccionadas inicialmente.

2.2.2 Análisis de la Bancada. Para el análisis de la bancada se inició por realizar la malla de la geometría (véase figura 23), la cual permite analizar los diferentes puntos de un elemento; estos puntos se conocen como nodos y es ahí en donde el software efectúa los cálculos necesarios para conocer el comportamiento de la pieza. Se selecciona una malla con una calidad alta, como se relaciona en la Tabla 6, para hacer más exacto el análisis planteado.

Figura 23. Enmallado Estructura Banco



Fuente: Freddy Márquez y Miller Rojas, 2011.

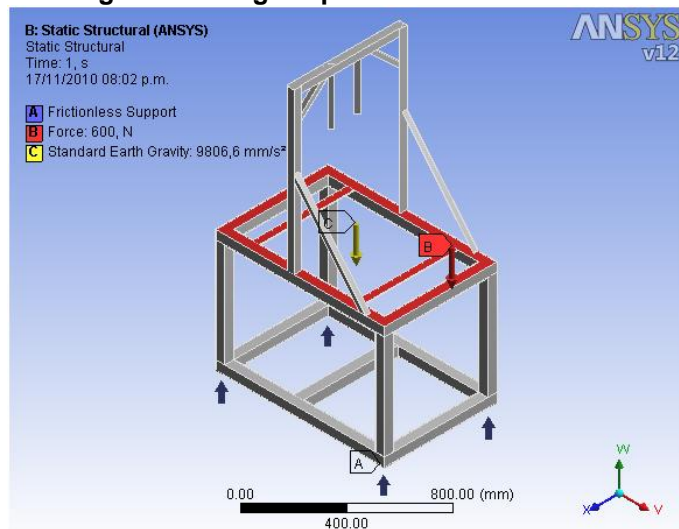
Tabla 6. Propiedades

| Propiedades | |
|-------------|-------|
| Nodos | 16333 |
| Elementos | 7933 |

Fuente: Freddy Márquez y Miller Rojas, 2011.

El análisis requiere la definición de las cargas a las cuales estará sometida la estructura. Para el modelo presentado en la figura 24, se utilizó un acero ASTM A36; se aplica una carga distribuida de 600 N en la cara superior y se definen 4 soportes de la estructura como soportes sin fricción.

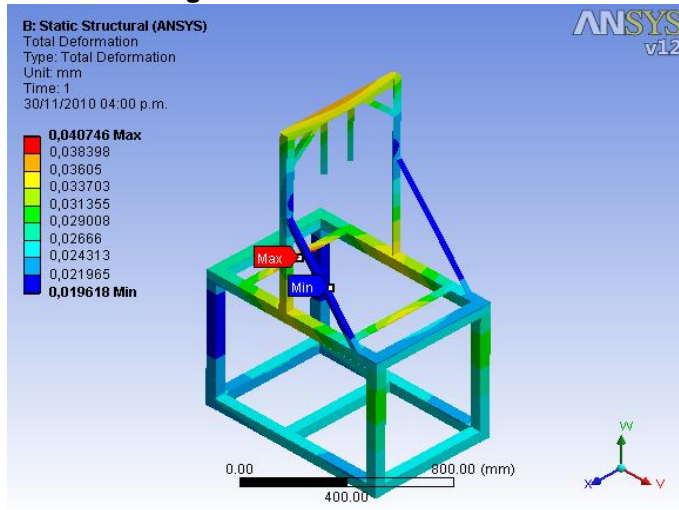
Figura 24. Cargas aplicadas a la estructura



Fuente: Freddy Márquez y Miller Rojas, 2011.

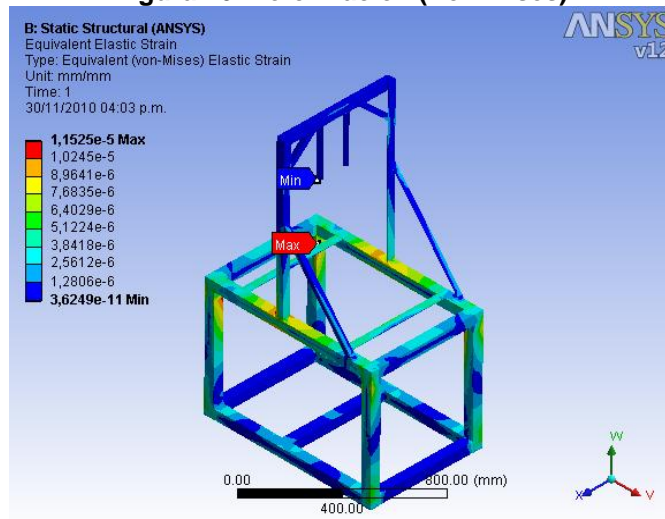
Para el análisis de resistencia de materiales se elige la deformación total (Figura 25) y el análisis según el criterio de Von-Mises tanto de deformación (Figura 26), como esfuerzo (Figura 27), teniendo en cuenta que dicho criterio es el más aproximado a situaciones reales.

Figura 25. Deformación Total



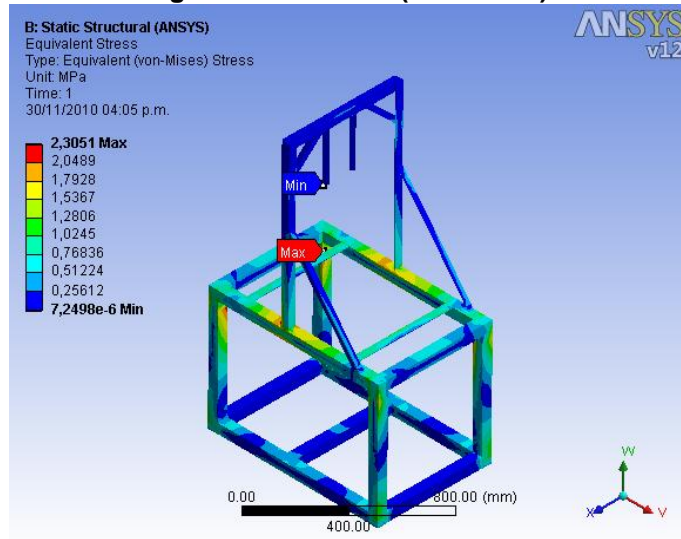
Fuente: Freddy Márquez y Miller Rojas, 2011.

Figura 26. Deformación (Von Mises)



Fuente: Freddy Márquez y Miller Rojas, 2011.

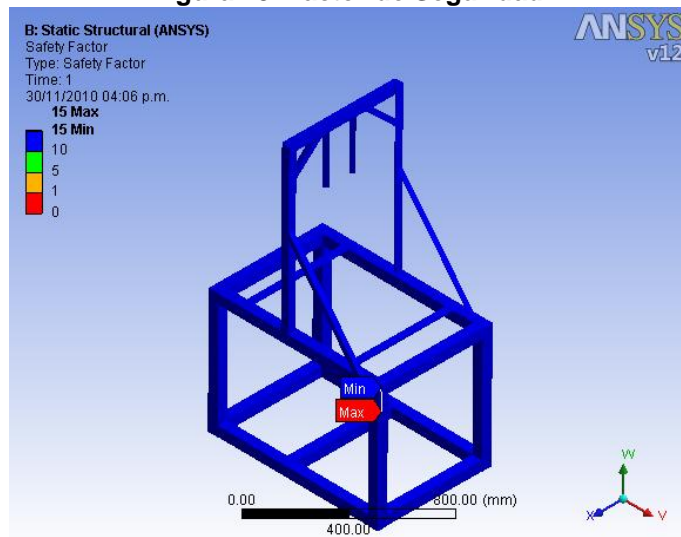
Figura 27. Esfuerzo (Von Mises)



Fuente: Freddy Márquez y Miller Rojas, 2011.

En la figura 28 se observa ella simulación de la estructura que sirve para hallar el factor de seguridad permitiendo verificar si es viable o no el diseño de la estructura, para condiciones de diseño es recomendable un factor de seguridad mayor o igual a 1 el cual se tomaría como optimo a la hora de diseñar la estructura.

Figura 28. Factor de Seguridad

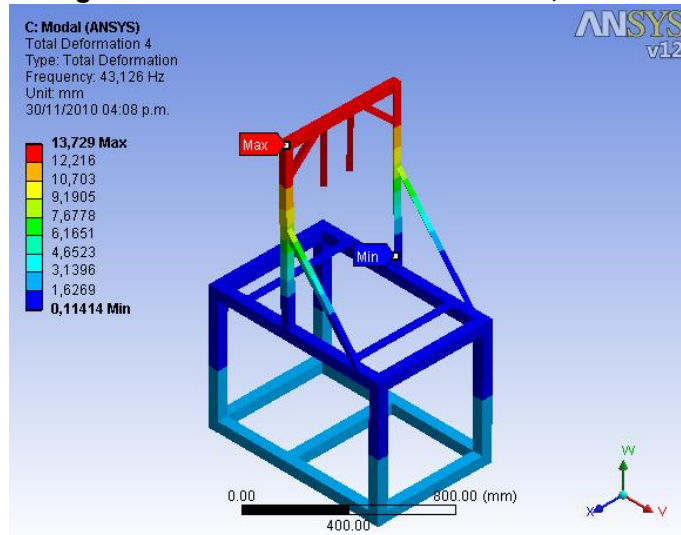


Fuente: Freddy Márquez y Miller Rojas, 2011.

Mediante análisis virtual se puede observar en la figura 28 que el factor de seguridad es mayor que 1 demostrando que la estructura en su diseño soporta el tipo de carga aplicada.

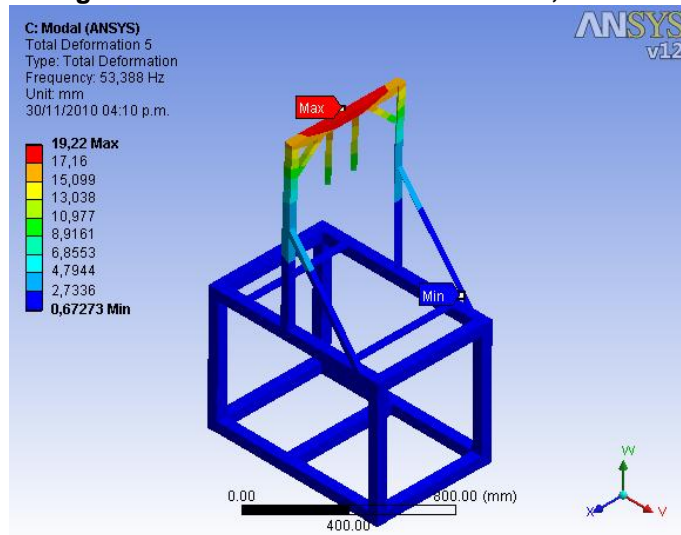
En razón a que la estructura está sometida a vibración originada por el motor, se hace un análisis virtual donde se observa su comportamiento a ciertos modos de vibración (véase figuras 29, 30 y 31). Así mismo, haciendo uso de otra de las herramientas de simulación, se encontró la frecuencia natural de forma tal que se pueda evitar que la estructura entre en resonancia.

Figura 29. Análisis modal frecuencia 43,126 Hz



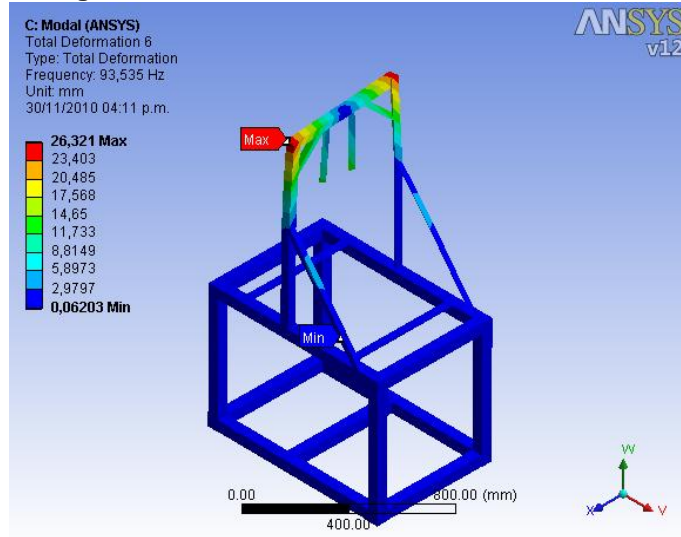
Fuente: Freddy Márquez y Miller Rojas, 2011.

Figura 30. Análisis modal frecuencia 53,388 Hz



Fuente: Freddy Márquez y Miller Rojas, 2011.

Figura 31. Análisis modal frecuencia 93,535 Hz

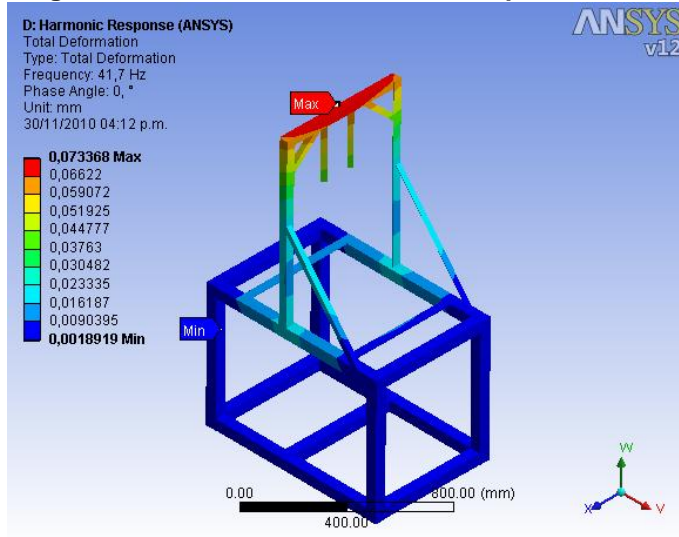


Fuente: Freddy Márquez y Miller Rojas, 2011.

En las figuras 29, 30 y 31 se observan los modos de vibración comprendidos entre 43 y 94 Hz que son los rangos en que se opera el motor comprendido entre 2500 y 4500 rpm permitiendo tener una idea de la deformación aproximada sufrida por la estructura en los rangos de operación.

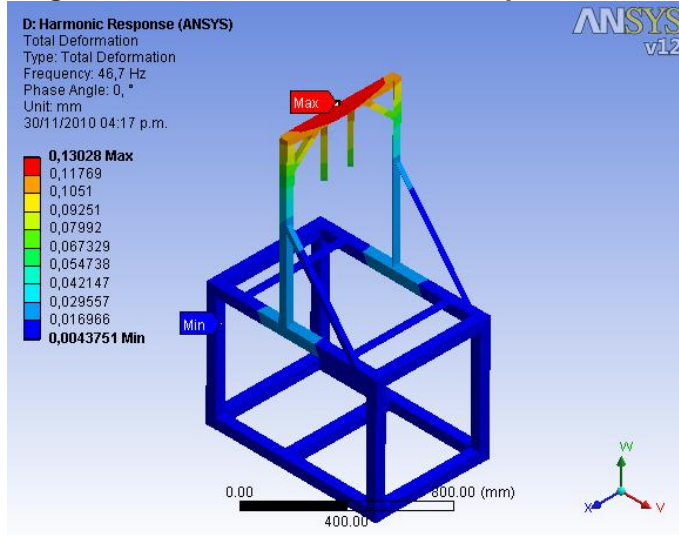
A continuación se realiza un análisis de respuesta armónica de vibración a la estructura dando a conocer el comportamiento de las frecuencias variando los rangos de las revoluciones en que se opera el motor (véase figuras 32, 33, 34, 35 y 36).

Figura 32. Análisis estructura a 2500 rpm – 41,7 Hz



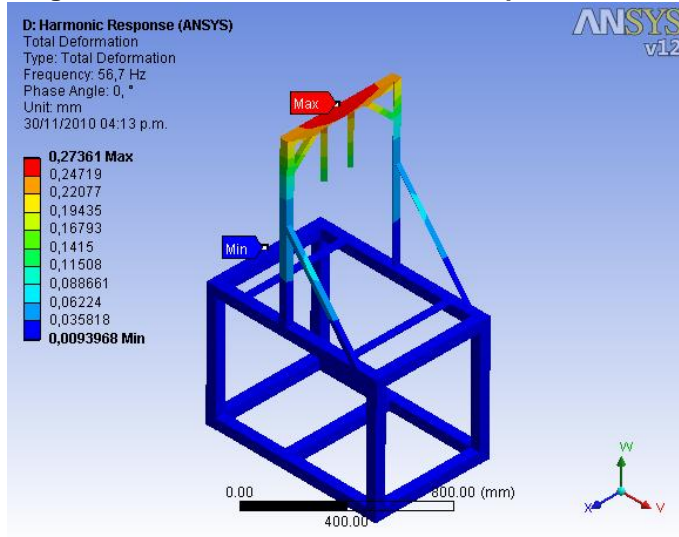
Fuente: Freddy Márquez y Miller Rojas, 2011.

Figura 33. Análisis estructura a 2800 rpm – 46,7 Hz



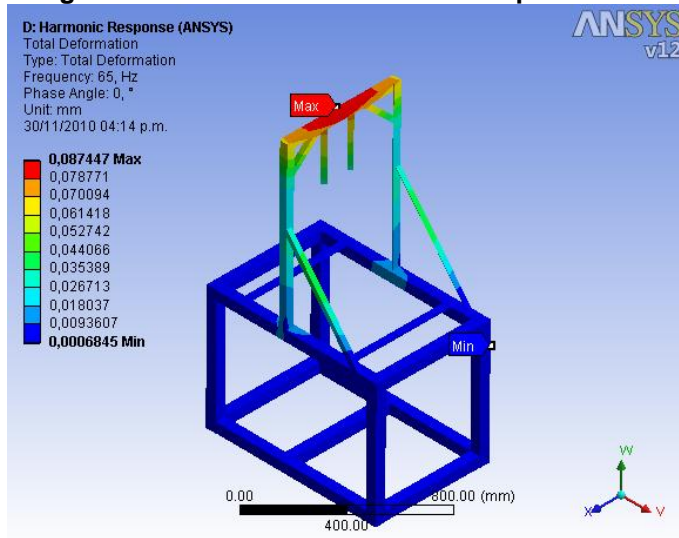
Fuente: Freddy Márquez y Miller Rojas, 2011.

Figura 34. Análisis estructura a 3400 rpm – 56,7 Hz



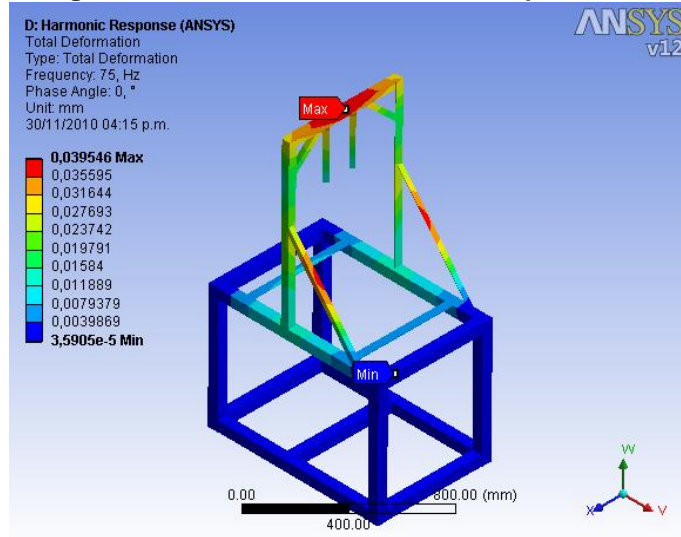
Fuente: Freddy Márquez y Miller Rojas, 2011.

Figura 35. Análisis estructura a 3900 rpm – 65 Hz



Fuente: Freddy Márquez y Miller Rojas, 2011.

Figura 36. Análisis estructura a 4500 rpm – 75 H

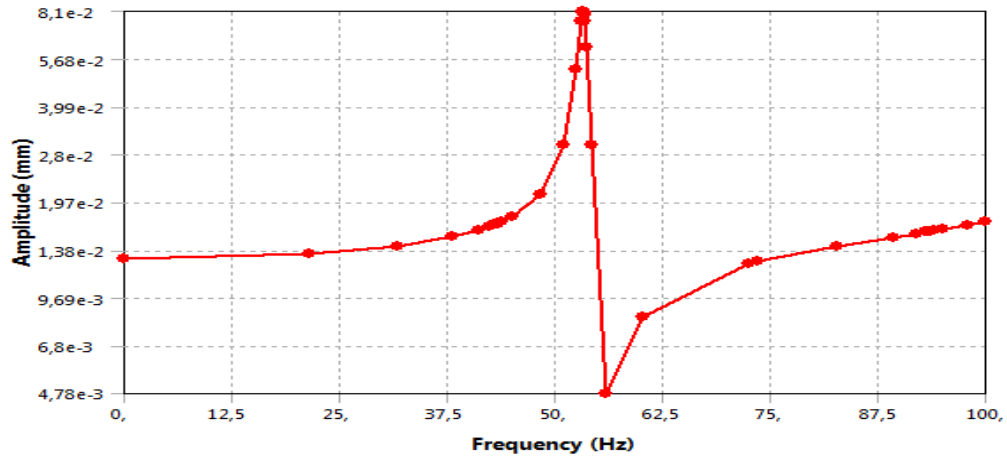


Fuente: Freddy Márquez y Miller Rojas, 2011.

En el análisis de respuesta armónica se observa que a medida que las revoluciones del motor tienden a acercarse a la frecuencia natural (ver tabla 7), la estructura tiende a tener un mayor aumento en su deformación como es el caso de las figuras.33 y 34 valores cercanos al de la frecuencia natural mientras por otro lado en las figuras 32, 35 y 36 donde se manejan rangos de frecuencias que no son cercanas a la frecuencia natural se observa que disminuye notablemente su deformación.

La figura 37 muestra una curva que permite analizar de manera detallada el comportamiento de las frecuencias paso a paso y la variación que sufre a medida que tiende a alcanzar la frecuencia natural.

Figura 37. Frecuencia natural (amplitud vs frecuencia)



Fuente:

Freddy Márquez y Miller Rojas, 2011.

Tabla 7. Resultados frecuencia natural

| Resultados | |
|-----------------|-----------------|
| Máxima Amplitud | 8,0962e-2 mm |
| Frecuencia | 53,28 Hz |
| Angulo de Fase | 110,86 ° |
| Real | -2,8827e-002 mm |
| Imaginaria | 7,5656e-002 mm |

Fuente: Freddy Márquez y Miller Rojas, 2011.

En la figura 37 se observa el comportamiento de la estructura de un rango de frecuencias de 0 hasta 100 Hz permitiendo observar que la frecuencia natural de la estructura se presenta a 53,28 Hz con una amplitud de 8,0962e-2 mm.

3. MEDICIONES EN EL BANCO DE PRUEBAS

En el laboratorio de la asignatura motores de combustión interna se realizaran pruebas para la medición del consumo de aire, consumo de combustible y de las variaciones de torque y potencia de un motor de combustión interna con carburador, usando gasolina como combustible. Los resultados de estas pruebas se han analizado y comparado para establecer la eficiencia de los diferentes sistemas empleados para las mediciones de las variables.

3.1 NORMAS APLICADAS

Para realizar las pruebas se usa como referencia los estándares internacionales SAE J13-49 [25] de agosto/04 y SAE J13-12 [26] de junio/90, que relacionan procedimientos para obtener gráficos del desempeño de los motores, encendido por chispa y encendido por compresión; también se citan las normas SAE J15-26 [27] de junio/87, que hace referencia al consumo de combustible, y la SAE J19-40 [28] de mayo/02, que hace referencia al procedimiento de medición de potencia.

3.2 INSTRUMENTOS UTILIZADOS

Para realizar las diversas pruebas de consumo de aire, o consumo de combustible, entre otras, se utilizan los siguientes instrumentos que se detallan a continuación.

3.2.1 Banco de Pruebas. Las pruebas que se realizan para la medición de consumo de combustible se hacen mediante un banco de pruebas auxiliar debido a las vibraciones emitidas por el motor cuando está sometido a poca carga ya que las RPM aumentan, las siguientes pruebas de consumo de aire, medición de rpm, medición de torque y potencia se efectúan en la bancada principal.

3.2.2 Motor de Combustión Interna. Es el eje central del diseño del banco, pues fue adquirido por la Facultad con el propósito de desarrollar el banco de medición de potencia y hacer pruebas de laboratorio con estudiantes de pregrado.

Se trata de un motor de combustión interna a gasolina de cuatro tiempos marca Tigmax de 13 hp, mono-cilíndrico, de carburador (véase figura 38). Las características y dimensiones generales se presentan en la tabla 1.

Figura 38. Motor Tigmax GX390



Fuente: Freddy Márquez y Miller Rojas, 2011.

En la Tabla 8 se documentan las especificaciones técnicas de motor Tigmax GX390, para especificaciones generales véase (anexo h)

Tabla 8 Especificaciones Técnicas del Motor TIGMAX GX-390

| Modelo | GX-390 |
|---|--|
| Tipo | OHV, inclinación, monocilíndrico, 4 tiempos, refrigerado por aire forzado, motor de gasolina |
| Potencia Máxima (Kw/Hp) | 9,7/13 |
| Potencia Neta de salida Hp (Kw/rpm) | 11,3 (8,3/3000) |
| Torque máximo (N-m/rpm) | 26,5/2500 |
| Rango de rpm Rango de rpm para pruebas | 0/4600 2500/4500 |
| Consumo de Combustible (gr/Kw-h) | <=370 |
| Diámetro Carrera (mm) | 88*64 |
| Cilindrada (c.c.) | 389 |
| Relación de compresión | 8:1 |
| Sistema de encendido | Transistor Eléctrico |
| Dimensiones (mm) (W * L * H) | 450 * 405 * 443 |
| Peso neto (kg) | 31 |

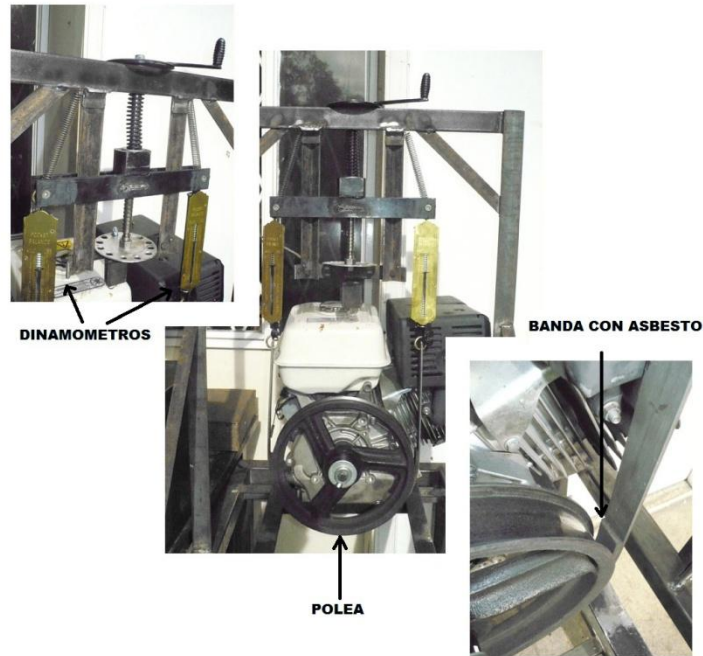
Fuente: Freddy Márquez y Miller Rojas, 2011.

3.2.3 Dinamómetro (Freno Pronny). Un dinamómetro es un instrumento que permite medir la potencia de un motor.

Se optó por un freno pronny para el sistema de medición de torque y potencia debido a que su diseño es fácil y económico, y es recomendado por la literatura especializada para motores de baja potencia (menores de 20 HP) [14].

Los elementos que lo componen son una Estructura, Polea, Banda semielastica, Dinamómetros, Mecanismo de ajuste. Para calcular sus dimensiones se parte de la potencia máxima que debe disipar y el rango de revoluciones en las que debe trabajar. Fijando el diámetro del disco de frenado, se deriva el torque a medir y las tensiones en los extremos de la banda. La figura 39 muestra el esquema del freno pronny utilizado en el banco de pruebas.

Figura 39. Freno pronny con banda semielastica



Fuente: Freddy Márquez y Miller Rojas, 2011.

En base a la bibliografía se adoptó un freno dinamométrico de banda semielastica. Sobre la periferia de una polea concéntrica al eje del motor, se instala una banda en cuyos extremos libres se fijan los dinamómetros de gancho, estilo romana, con una escala de 0 a 50kg.

Mediante un mecanismo con tornillo sinfín se tensiona la banda para inducir la carga en el motor. A continuación se presentan las dimensiones de los elementos que componen el sistema de freno tabla 9.

Tabla 9. Dimensiones de los elementos que componen el sistema (freno pronny)

| | Dimensiones | material |
|-------------------------|-------------|------------------|
| Diámetro de la polea | 28cm | Fundición gris |
| Banda | 120 cm | Acero inoxidable |
| Dinamómetros | 50 kg | |
| Coeficiente de fricción | 0.31 | |
| Angulo de abrace | 180° | |

Fuente: Freddy Márquez y Miller Rojas, 2011.

3.2.3.1 Cálculos del Freno Pronny: La tabla 10 muestra los cálculos realizados para diseñar el freno pronny y de este modo seleccionar los elementos a usar tales como la selección de la banda y los dinamómetros.

Las siguientes ecuaciones hacen referencia al libro Instrumentación Industrial [30].

Tabla 10. Cálculos de diseño del freno pronny

| | |
|---|--|
| $\tau = \text{Torque}$ $\tau = b * R^2 * p_{max} * (1 - e^{-\mu * \alpha})$ | $\tau = 26,5 \text{ N} - \text{m} \cong 234,54 \text{ Lbf} - \text{in}$ $b = \text{ancho de la banda} = ?$ $R = 14 \text{ cm} \cong 5,51181 \text{ in}$ $p_{max} = \text{presion de contacto maxima}$ $100 \text{ psi para condiciones de diseño}$ $\mu = 0,31$ $\alpha = 180^\circ \cong \pi$ |
| $b = 0,1240 \text{ in} = 0,31 \text{ cm}$ | |
| $\tau = R * (F_1 - F_2)$ $\frac{F_1}{F_2} = e^{\mu * \alpha} \gg F_1 = e^{\mu * \alpha} * F_2$ | $\tau = R * ((e^{\mu * \alpha} * F_2) - F_2)$ $= R * F_2 * (e^{\mu * \alpha} - 1)$ |
| $F_2 = 25,8168 \text{ Lbf} = 114,8385 \text{ N} = 11,71 \text{ Kgf}$ $F_1 = 68,3690 \text{ Lbf} = 304,1193 \text{ N} = 31 \text{ Kgf}$ | |

Fuente: Freddy Márquez y Miller Rojas, 2011.

Según los cálculos obtenidos para una polea de 28 cm de diámetro en material fundición gris debidamente balanceada para minimizar efectos de vibración, esta polea se encuentra sometida a un torque máximo de 26,5 N-m; se debe usar una banda de 0,31cm de ancho. Sin embargo considerando el aspecto, ajustes, economía, disponibilidad en el mercado y comodidad para el diseño y construcción de la misma se seleccionó una banda de 2,5 cm de ancho cumpliendo así con los parámetros de diseño. Igualmente se calculó la magnitud de las fuerzas aplicadas para un torque de 26,5 N-m, obteniéndose como resultado una fuerza mayor de 31 Kgf y una menor de 11,71 N-m por lo cual se opta por escoger dos dinamómetros disponibles en el mercado y con el mismo valor para distribuir de manera uniforme las fuerzas (dinamómetros con capacidad 0 kgf A 50 kgf) cumpliendo con los valores requeridos en los cálculos de diseño.

3.2.4 Termoanemometro. Este es un equipo de medición es utilizado en ensayos de laboratorio de aire acondicionado para pruebas de velocidad y temperaturas de aire y pruebas de convección en la asignatura de transferencia de calor. El instrumento se muestra en la figura 40, y sus especificaciones están en el anexo j.

Figura 40 Termoanemometro Erasmus EA200



Fuente: Freddy Márquez y Miller Rojas, 2011.

3.2.5 Bascula. Para la medición de consumo específico utilizó una báscula marca Lexus MIX-A (véase figura 41) es un equipo electrónico que una conexión directa a un PC donde se pueden visualizar los datos sus especificaciones se encuentran en el anexo k.

Figura 41 Bascula Lexus MIX-A



Fuente: Freddy Márquez y Miller Rojas, 2011.

3.2.6 Tacómetro. Este instrumento de medición (véase figura 42), permite medir fácilmente la velocidad de giro del eje del motor puesto que es un instrumento portátil y de fácil manejo, con sensor óptico o de contacto. Sus especificaciones se dan en el anexo I.

Figura 42 Tacómetro Digital Lutron DT2236



Fuente: Freddy Márquez y Miller Rojas, 2011.

3.2.7 Cronometro. Para la determinación del consumo específico de combustible, es necesario utilizar un cronómetro. En el proyecto se uso uno de referencia Casio HS-3 como el sé que se muestra en la figura 43.

Figura 43 Cronometro Casio HS-3v-1r



Fuente: Freddy Márquez y Miller Rojas, 2011.

3.3 MÉTODOS UTILIZADOS ACTUALMENTE

Con la ayuda de las normas mencionadas en el apartado 4.1 y los manuales de operación de los equipos, se han establecido procedimientos específicos para cada una de las pruebas que se realizan. A continuación se detallan.

3.3.1 Medición de Consumo de Aire. El consumo de aire del motor se deriva de la medición de la velocidad del mismo en la sección transversal de un conducto dispuesto aguas arriba del carburador. Para el diseño de este sistema se partió de un termo anemómetro ERASMUS EA 200. Este equipo electrónico de aspas giratorias permite transmitir de manera directa los datos de medición a un PC o a un portátil. El rango de medición de velocidad del aire de este equipo se ajusta a las condiciones de operación del proyecto puesto que las velocidades medias del flujo de aire del motor son del orden de $[2.5 / 3.7]$ m/s

Para la medición del flujo se toma aire del ambiente que es pasado por un filtro de papel para separar las impurezas en estado sólido, el diámetro interno del filtro debe ser el mismo diámetro de la entrada de aire de la caja de reposo debidamente diseñada. Esta caja está ubicada en la parte inferior de la bancada, con ella se estabiliza el flujo de aire, disminuyendo la turbulencia.

El aire se conduce por medio de una manguera de aspiración que conecta la caja de reposo con la entrada de aire del motor, esta manguera se encuentra interrumpida en la mitad del tramo para hacer la instalación del termo anemómetro.

3.3.2 Medición del Consumo de Combustible. Se hace por el método gravimétrico y consiste básicamente en medir con un cronómetro el tiempo que tarda el motor en consumir una masa dada de combustible, para ello se utiliza una Balanza Lexus MIX-A.

Para efectuar esta medición se usa una probeta de capacidad conocida conectada por medio a la manguera que transporta el combustible a la entrada del motor. La capacidad del tanque de medida debe ser tal, que a plena carga el motor demore aproximadamente 1 minuto en consumir cierta cantidad de masa de combustible. Según la norma SAE J15-26 de junio de 1987 [27], para que la medida del tiempo que demora en consumir el combustible sea exacta, es necesario controlar visualmente en la báscula la cantidad de masa de combustible consumida en un tiempo específico de la prueba, de modo que se pueda hacer una diferencia entre las cantidades en gramos al inicio y final de la prueba.

De este modo se mide el tiempo t [s] que demora el motor en consumir la cantidad de masa [gr] de combustible, mientras el freno indica que está entregando la potencia [\dot{W}]

La determinación que en el fondo interesa efectuar es la de consumo específico de combustible que se mide en gramos por Kilovatio - Hora, y que se indica sfc.

$Sfc = \text{gramos de combustible por hora [g/hr]} / \text{potencia } [\dot{W}]$

La báscula que se utiliza para medir la variación en peso del tanque de suministro de combustible es un equipo electrónico que permite visualizar directamente los datos o enviarlos a un PC por comunicación serial. Su resolución es de mínimo 2g / máximo 3000 g, por lo que se ajusta a las variaciones en peso del tanque de combustible, estimadas a partir del consumo máximo de combustible del motor que son del orden de ≤ 370 (gr/ Kw*h). (Véase tabla 5).

3.3.3 Medición de la Velocidad de Rotación del Motor. En el banco se utiliza un tacómetro óptico Lutron DT2236. Este equipo hace la medición sin contacto usando un haz de luz visible reflejado por una cinta (banda reflectante) que se adhiere a las piezas giratorias (polea) del sistema de medición. El rango de operación del motor del banco de pruebas se encuentra dentro de la ventana de medición del instrumento ($V_{max} < 1000\text{rpm}$; $V_{min} 0.1\text{rpm}$) por lo que se justifica su utilización.

La toma de datos se hace siguiendo varios pasos. Primero se enciende el tacómetro, se coloca en la función de óptico y se colocan las unidades en que se requieren la lectura. Después se coloca en el eje de salida del motor o en el centro de la polea un trozo de cinta reflectiva blanca, a una distancia máxima de 8cm y con el motor encendido se apunta hacia la cinta con el tacómetro manteniendo oprimido el botón de inicio del tacómetro. En la figura 44 se ilustra el uso del tacómetro.

Figura 44. Medición de velocidad con el tacómetro óptico



Fuente: Freddy Márquez y Miller Rojas, 2011.

4. METODOLOGIA PARA LA OBTENCIÓN DE LAS CURVAS DE OPERACIÓN DE MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA

Con base en la literatura consultada [3] [9] [11] [18] [25] [26] [27] [28] y teniendo en cuenta la instrumentación utilizada en el banco de pruebas, se estableció la metodología para la obtención de las curvas de operación del motor de combustión interna.

4.1 MEDICION DE LA VELOCIDAD DE OPERACIÓN DEL MOTOR

El procedimiento general para la medición de la velocidad de giro del motor es la siguiente:

- Ubicar los elementos (tacómetro)
- Encender el motor
- Acelerar el motor hasta que el tacómetro indique una velocidad de 4500 rpm
- Proporcionar carga al motor con el sistema de manivela del freno dinamómetro hasta que la lectura en el tacómetro disminuya en 500 el número de rpm, con la mariposa del acelerador fija en la posición del paso 3
- Repetir los pasos 4 cada 4500, 3900, 3400, 2800 y 2500 rpm
- Desacelerar el motor.

4.2 MEDICIÓN DE CONSUMO DE AIRE

El procedimiento general para la medición del consumo de aire del motor es el siguiente:

- Verificar las unidades del termoanemometro y el cronometro
- Puesta en marcha del motor durante unos minutos para calentar, eliminar gases y residuos para una mejor lectura
- Ajuste del freno pronny en las rpm requeridas.
- Ubicar el termoanemometro en la caja para empezar a tomar lectura de la velocidad y la temperatura del aire durante un minuto
- Con ayuda del freno pronny se cambian las rpm para diferentes valores, tomando lecturas de temperatura y velocidad para cada una de ellas. Esta prueba se debe realizar 5 veces
- Llenado del formato de la toma de datos
- Repetir el procedimiento anterior en su totalidad, después de finalizada la primera corrida de toma de datos

4.2.1 Cálculos para Hallar el Consumo de Aire. En la tabla 11 están tabulados los cálculos necesarios para determinar el consumo de aire del motor.

Tabla 11. Correlación para el cálculo de flujo de aire

| Parámetro | Correlación |
|--|--|
| $\dot{m}_a = \text{flujo masico de aire [gr/s]}$ | $\dot{m}_a = V_{anem} * A * \rho$ Ec.1 Donde, $V_{anem} = \text{velocidad anemometro}$ $A = \text{area seccion transversal manguera} = 2,124 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ $\rho = \text{densidad aire} = 1210 \text{ gr/m}^3$ |

Fuente: Freddy Márquez y Miller Rojas, 2011.

4.3 MEDICIÓN DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE

El procedimiento general para la medición del consumo de combustible del motor es el siguiente:

- Verificar las unidades de la báscula y el cronometro
- Puesta en marcha del motor durante unos minutos para calentar, eliminar gases y residuos para una mejor lectura
- Ajuste del freno pronny en las rpm requeridas
- Ubicar los instrumentos de medición para empezar a tomar lectura de la báscula que es la cantidad inicial de combustible y pasado un minuto hacer la lectura de la cantidad final de combustible
- Con ayuda del freno pronny se cambian las rpm para diferentes valores, tomando lecturas inicial de combustible y la lectura al transcurrir un minuto. Esta prueba se debe realizar 5 veces
- Llenado del formato de la toma de datos
- Repetir el procedimiento anterior en su totalidad, después de finalizada la Primera corrida de toma de datos.

4.3.1 Cálculos para hallar el consumo de combustible. En la tabla 12 están tabulados las correlaciones usadas para hallar el consumo de combustible.

Tabla 12. Correlaciones para el cálculo del consumo específico de combustible

| Parámetro | Correlación |
|--|---|
| sfc = Consumo específico de combustible [gr/Kw-hr] | $sfc = \frac{\dot{m}_f}{\dot{W}} \quad \text{Ec.2}$ <p>Donde, \dot{m}_f = flujo másico de combustible $\left[\frac{gr}{s}\right]$ \dot{W} = potencia [Kw]</p> |
| \dot{m}_f = Flujo másico de combustibles [gr/s] | $\dot{m}_f = \frac{P_{in} - P_{fin}}{t} \quad \text{Ec.3}$ <p>Donde, P_{in} = peso de combustible inicial P_{fin} = peso de combustible final t = tiempo de prueba</p> |

Fuente: Freddy Márquez y Miller Rojas, 2011.

4.4 MEDICIÓN DEL TORQUE Y LA POTENCIA

La medición de torque y potencia usa un freno de fricción (pronny), que consta de una polea, banda semielastica, dinamómetros, sistema de ajuste por manivela, este sistema de medición está ubicado en el eje de salida del motor y tacómetro.

El procedimiento general para la medición del torque y la potencia del motor es el siguiente:

- Verificar las escalas de los dinamómetros que se encuentren en cero “0”
- Poner en marcha del motor durante unos minutos para calentar, eliminar gases y residuos para una mejor lectura
- Ajustar del freno pronny, aplicando carga al motor con el sistema de manivela (mecanismo cuya función es hacer que el motor reduzca su velocidad de giro con aplicación de carga generando fricción entre la banda con asbesto y la polea) y verificar con el tacómetro hasta conseguir las rpm a requeridas.
- Tomar lectura de los dos dinamómetros en escala de kilogramos.
- Llenar el formato de adquisición de datos, calcular torque con la Ec. 4 y de la misma manera calcular potencia con la Ec. 5.
- Repetir el procedimiento anterior en su totalidad, después de finalizada la Primera corrida de toma de datos.

4.4.1 Cálculos para Hallar el Torque y la Potencia del Motor. En la Tabla 113 se encuentran las ecuaciones, variables y conversiones aplicadas en el cálculo del torque y la potencia.

Tabla 13. Correlaciones para cálculos de torque y potencia

| Parámetro | Correlación |
|----------------------------------|---|
| $\tau = \text{Torque [N - m]}$ | $\tau = (P_{may} - P_{men}) * R * g \quad \text{Ec.4}$ <p>Donde, $R = \text{radio polea} = 13.5 \text{ cm} = 0,135 \text{ m}$ $g = \text{gravedad} = 9.81 \text{ m/s}^2$</p> |
| $\dot{W} = \text{Potencia [Hp]}$ | $\dot{W} = 2 * \pi * N * \tau \quad \text{Ec.5}$ <p>Donde $N = \text{RPS} = \text{Revoluciones Por Segundo}$ $= \text{RPM} / 60 \text{ s}$ $1 \text{ Kw} = 1,341 \text{ Hp}$</p> |

Fuente: Freddy Márquez y Miller Rojas, 2011.

5. ANALISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS

“De acuerdo con el estándar de la SAE para pruebas de motores (para torque y potencia), No se toman datos hasta que el torque y las mediciones de velocidad se hayan mantenido estables en el 1% durante al menos 1 minuto. De otro lado, Las mediciones a tener en cuenta serán el promedio de las lecturas en un lapso de 1 minuto. Los resultados se considerarán válidos si la repetición de al menos tres mediciones es del 1% de la media.”

Una vez establecidos los procedimientos para cada prueba es necesario detallar como se obtienen los resultados de las mismas y como se los procesa y analiza para obtener los resultados finales.

Los datos de la tabla, son ingresados a un archivo de Excel, dependiendo del caso previamente preparado para hacer conversiones de datos o aplicar formulas, para de esta manera realizar las gráficas en el mismo programa e interpretarlas posteriormente.

5.1 FLUJO MASICO DE AIRE

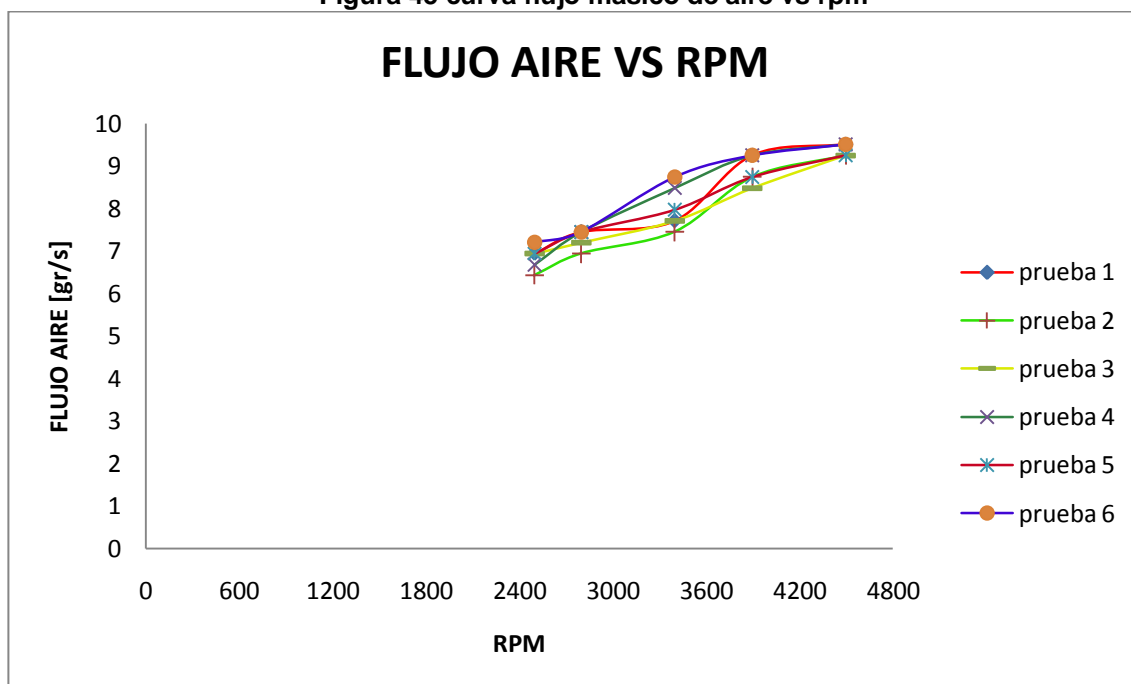
Se realizó un total de 6 pruebas para cada rango de velocidad de giro contenidos en el (anexo m), dichos datos recolectados en las pruebas se reemplazan en la Ec. 1 planteada en la tabla 8 expresando de esta manera el flujo másico de aire. En la tabla 14 se encuentran los reportes calculados del flujo másico de aire junto con las curvas superpuestas en un mismo sistema de coordenadas contenido allí el flujo másico de aire en función del régimen de giro del motor (véase figura 45).

Tabla 14 datos flujo másico de aire

| RPM | FLUJO MASICO DE AIRE | | | | | |
|------|----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | gr/s | | | | | |
| | Prueba 1 | Prueba 2 | Prueba 3 | Prueba 4 | Prueba 5 | Prueba 6 |
| 4500 | 9,51 | 9,25 | 9,25 | 9,51 | 9,25 | 9,51 |
| 3900 | 9,25 | 8,74 | 8,48 | 9,25 | 8,74 | 9,25 |
| 3400 | 7,71 | 7,45 | 7,71 | 8,48 | 7,97 | 8,74 |
| 2800 | 7,45 | 6,94 | 7,2 | 7,45 | 7,45 | 7,45 |
| 2500 | 6,94 | 6,43 | 6,94 | 6,68 | 6,94 | 7,2 |

Fuente: Freddy Márquez y Miller Rojas, 2011.

Figura 45 curva flujo másico de aire vs rpm



Fuente: Freddy Márquez y Miller Rojas, 2011.

La figura 45 representa las curvas superpuestas de consumo de aire versus revoluciones por minuto del motor.

La tendencia en el desarrollo de las curvas de flujo de aire para todas las pruebas realizadas es la misma. Las desviaciones se mantienen en los rangos esperados. En la prueba No. 1 y 3, encontramos una desviación importante que pudieron ser ocasionadas por algún tipo de inestabilidad en el flujo de aire por turbulencia, en la puesta en marcha del motor por ineficiencia en el calentamiento (prueba 1), o por una ineficiente eliminación de gases y residuos a la prueba 3. Sin embargo los parámetros se mantienen en línea y acorde a las especificaciones de motores de 4 tiempos como las del motor a prueba.

5.2 CONSUMO ESPECIFICO DE COMBUSTIBLE

Realizadas las 6 tomas de datos para cada régimen de velocidad del motor mencionadas anteriormente e incluidos en el (anexo n) son reemplazados inicialmente en la Ec 3 para hallar el flujo másico de combustible para luego ser reemplazado en la Ec 2 y así hallar el consumo específico de combustible.

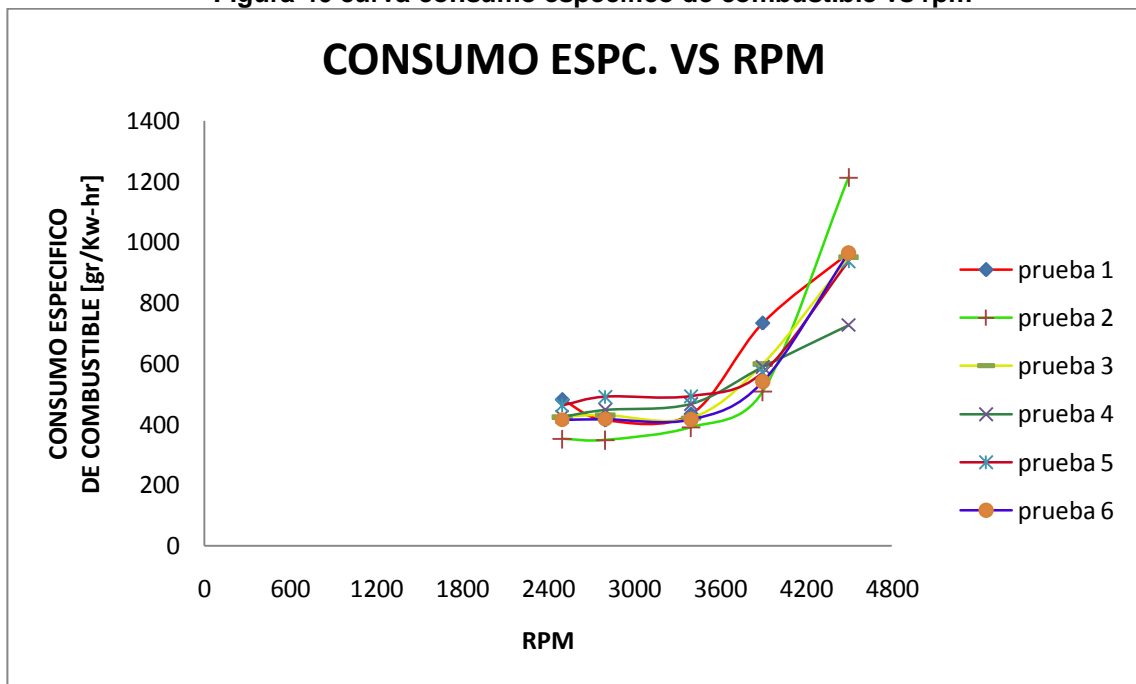
En la tabla 15 se encuentran los resultados calculados del consumo específico de combustible junto con las curvas superpuestas del consumo específico de combustible en función del régimen de giro del motor (véase figura 46).

Tabla 15 datos consumo especifico de combustible

| RPM | CONSUMO ESPECIFICO DE COMBUSTIBLE gr/Kw-hr | | | | | |
|------|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| | Prueba 1 | Prueba 2 | Prueba 3 | Prueba 4 | Prueba 5 | Prueba 6 |
| 4500 | 964,8 | 1212,83 | 950,4 | 726,92 | 936 | 964,8 |
| 3900 | 733,33 | 507,16 | 598,42 | 588,92 | 569,92 | 540,42 |
| 3400 | 433,02 | 389,81 | 420,38 | 466,98 | 492,45 | 416,19 |
| 2800 | 413,12 | 347,64 | 429,98 | 446,84 | 490,49 | 417,17 |
| 2500 | 480,63 | 351,22 | 424,04 | 424,04 | 461,78 | 415,08 |

Fuente: Freddy Márquez y Miller Rojas, 2011.

Figura 46 curva consumo específico de combustible vs rpm



Fuente: Freddy Márquez y Miller Rojas, 2011.

Se puede observar en la curva, como durante un amplio rango de RPM desde la mínima hasta aproximadamente las 3.600 RPM, se mantiene el consumo específico de combustible muy próximo al valor mínimo, presentándose un cambio brusco al alza en la medida de que el motor supera los 3.600 RPM.

El motor en ensayo, presenta su menor rendimiento global y en consumo de combustible en el rango comprendido entre las revoluciones mínimas de 2.500 y las 3.600 RPM.

En la prueba No. 2, se da el mayor pico de consumo de combustible a las 4.500. La misma puede haber sido ocasionado por algún desajuste en el sistema de alimentación del mismo.

Las especificaciones del fabricante indican que el motor debería mantener un consumo específico de combustible menor o igual a 370 (gr/kw-hr), sin embargo para el rango donde probamos el menor consumo, este es un 16% mayor que el especificado.

5.3 RELACION AF (AIRE / COMBUSTIBLE)

Teniendo ya los resultados de el flujo másico de aire y el flujo másico de combustible es fácil la hallar la relación AF simplemente reemplazando (\dot{m}_a/\dot{m}_f), obtenidos de la división entre la Ec. 1 y la Ec. 3 para cada toma de datos en cada una de las 6 pruebas de cada régimen de giro, a continuación están tabulados según el orden de las pruebas en la tabla 16

Tabla 16. Reporte de toma de datos pruebas 1

| RPM | Relación Aire Combustible AF | | | | | |
|------|------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | Prueba 1 | Prueba 2 | Prueba 3 | Prueba 4 | Prueba 5 | Prueba 6 |
| 4500 | 14,19 | 14,68 | 14,02 | 15,1 | 14,23 | 14,19 |
| 3900 | 14,02 | 14,33 | 13,46 | 14,92 | 14,57 | 14,23 |
| 3400 | 15,12 | 14,61 | 14,02 | 15,42 | 13,74 | 14,57 |
| 2800 | 15,2 | 15,42 | 14,12 | 15,06 | 14,06 | 13,79 |
| 2500 | 13,61 | 14,61 | 14,16 | 13,63 | 14,16 | 13,85 |

Fuente: Freddy Márquez y Miller Rojas, 2011.

Los rangos de Relación Aire / Combustible para el motor Tigmax, está dentro de los parámetros para motores convencionales de cuatro tiempos donde se maneja un valor ideal de Relación Aire / Combustible cercano a 15, partiendo de esta apreciación no se encontraron desviaciones de importancia. Ahora bien, vale indicar que en pruebas experimentales es necesaria una relación definida para obtener la máxima potencia y otra relación diferente para máxima economía.

La máxima economía del motor se obtiene cuando la liberación sea máxima, esta condición se logra cuando el combustible se quema completamente obteniendo así una Combustion eficiente.

5.4 TORQUE Y POTENCIA

Realizadas las 6 tomas de datos para cada régimen de velocidad del motor mencionados e incluidos en el (anexo o) se toman los valores de los pesos

brindados por los dinamómetros y reemplazados en la Ec. 4 y de esta manera obtener el torque, como acto seguido este valor de torque lo reemplazamos en la Ec 5 obteniendo como resultado la potencia disipada por el motor.

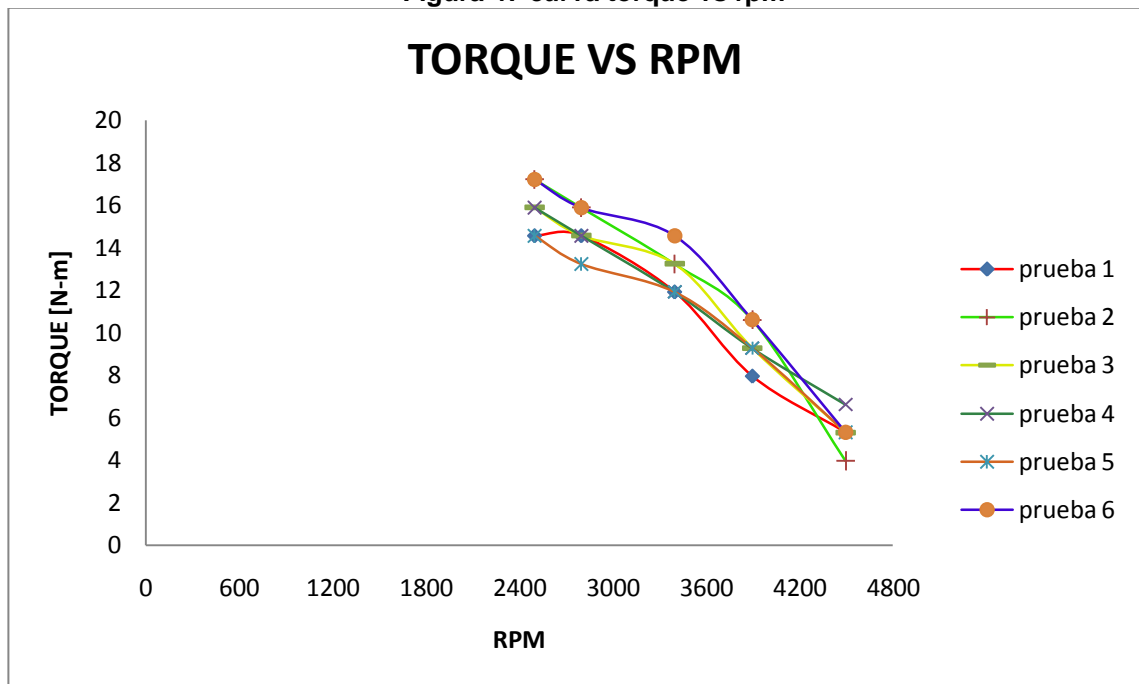
En las tablas 17, 18 y 19 se encuentran los reportes de los datos calculados de torque y la potencia, junto con sus respectivas curvas de toque y potencia superpuestas y estas en función del régimen de giro del motor (véase figuras 47 y 48)

Tabla 17. Datos torque

| RPM | TORQUE N-m | | | | | |
|------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 4500 | 5,3 | 3,97 | 5,3 | 6,62 | 5,3 |
| 3900 | 7,95 | 10,6 | 9,27 | 9,27 | 9,27 | 10,6 |
| 3400 | 11,92 | 13,24 | 13,24 | 11,92 | 11,92 | 14,57 |
| 2800 | 14,57 | 15,89 | 14,57 | 14,57 | 13,24 | 15,89 |
| 2500 | 14,57 | 17,22 | 15,89 | 15,89 | 14,57 | 17,22 |

Fuente: Freddy Márquez y Miller Rojas, 2011.

Figura 47 curva torque vs rpm



Fuente: Freddy Márquez y Miller Rojas, 2011.

En esta grafica se puede observar que el torque es constante en el intervalo de 2500 a 2800 rpm, en el intervalo de 3400 rpm muestra un decrecimiento de alta pendiente. Como también se puede observar que el torque máximo en todas las

curvas coincide que está en las 2500 rpm y a partir de este pico empieza a descender.

El torque del motor cambia con el régimen de giro en forma decreciente, en razón de que las explosiones no siempre son igual de fuertes donde influyen diversos factores. Las curvas en prueba del motor Tigmax muestran claramente que a diferencia de la potencia su punto máximo de torque se encuentra a bajas revoluciones, como también es válido afirmar que todas las pruebas tienen en común su torque máximo en las 2500 rpm con un valor de torque comprendido entre 15 N-m y 17 N-m y a medida que avanzan las rpm empiezan a decaer. Ese límite, el torque máximo, es el momento en el que el motor alcanza el esfuerzo de torsión máxima. No existe demasiada diferencia entre una curva y otra, denotando un comportamiento típico y describiendo una misma tendencia.

Tabla 18 datos potencia [Hp]

| RPM | POTENCIA HP | | | | | |
|------|----------------|------|------|------|------|------|
| 4500 | 3,35 | 2,51 | 3,35 | 4,18 | 3,35 | 3,35 |
| 3900 | 4,35 | 5,81 | 5,08 | 5,08 | 5,08 | 5,81 |
| 3400 | 5,69 | 6,32 | 6,32 | 5,69 | 5,69 | 6,96 |
| 2800 | 5,73 | 6,25 | 5,73 | 5,73 | 5,21 | 6,25 |
| 2500 | 5,12 | 6,05 | 5,58 | 5,58 | 5,12 | 6,05 |

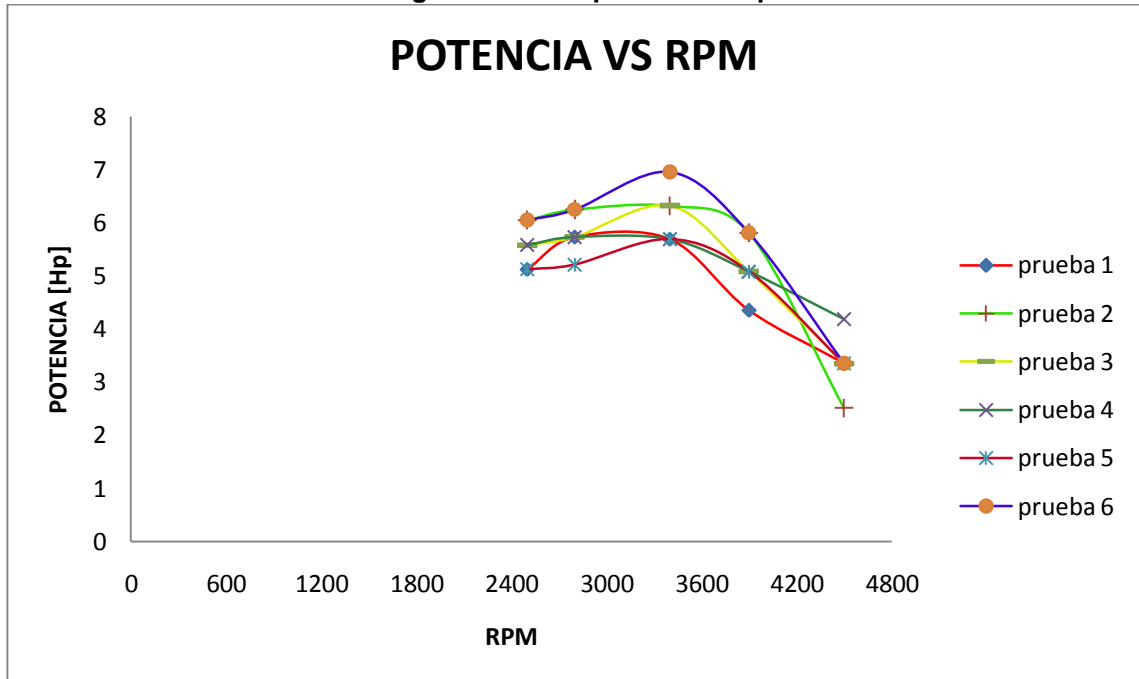
Fuente: Freddy Márquez y Miller Rojas, 2011.

Tabla 19 datos potencia [Kw]

| RPM | KW | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|------|
| 4500 | 2,5 | 1,87 | 2,5 | 3,12 | 2,5 | 2,5 |
| 3900 | 3,24 | 4,33 | 3,79 | 3,79 | 3,79 | 4,33 |
| 3400 | 4,24 | 4,71 | 4,71 | 4,24 | 4,24 | 5,19 |
| 2800 | 4,27 | 4,66 | 4,27 | 4,27 | 3,89 | 4,66 |
| 2500 | 3,82 | 4,51 | 4,16 | 4,16 | 3,82 | 4,51 |

Fuente: Freddy Márquez y Miller Rojas, 2011.

Figura 48 curva potencia vs rpm



Fuente: Freddy Márquez y Miller Rojas, 2011.

En esta grafica muestra primero que las curvas sufren un incremento de potencia entre 2500 a 2800 rpm, luego tienden a permanecer constantes entre 2800 a 3400 rpm y finalmente decrecen presentando un comportamiento similar.

Al igual que él en las curvas de Torque máximo, en la de la potencia se observa que también varía con el régimen de giro, lo que permite obtener una curva de potencia relacionando la variación de la misma con las revoluciones. Si se trató de superponer ambas curvas, la de potencia y la de torque, se puede observar que a partir del régimen al que el torque empieza a disminuir la potencia sigue aumentando. Esta situación se compadece lógica, puesto que la potencia no es más que el producto del torque por las revoluciones y por una constante, por lo que la potencia seguirá subiendo si el incremento de revoluciones compensa la pérdida de torque. Cuando esto ya no sucede es cuando se obtiene la potencia máxima. Las líneas tomadas en la prueba, demuestran claramente esta tendencia y evolución.

5.5 CURVAS CON DATOS PROMEDIO

Una vez realizadas las 6 pruebas se efectúa un análisis estadístico basado en el promedio total de cada variable de las pruebas tales como: promedios de “torque, potencia, consumo específico de combustible y flujo másico de aire”, como también la desviación estándar y la cantidad de pruebas realizadas; estos datos

son reemplazados en la Ec. 6 permitiendo obtener una estimación del error máximo o permisible [29].

Tabla 20 Correlación para la estimación del error máximo o permisible

| Parámetro | Correlación |
|--------------------------------|---|
| $e_d = \text{error de diseño}$ | $e_d = \frac{Z \cdot S}{\sqrt{n}} \quad \text{Ec. 6}$ <p>DONDE, Z = 1,96 con un nivel de confianza del 95% S = desviación estándar n = tamaño de la muestra = 6</p> |

Fuente: Freddy Márquez y Miller Rojas, 2011.

Este procedimiento se debe realizar a cada uno de los promedios de las pruebas de tal forma que permita verificar si el muestreo realizado presenta un nivel aceptable de confianza en la precisión de los instrumentos utilizados en la realización de las pruebas (véanse tablas 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27 y 28), como también se obtienen las curvas que se muestran a continuación en las figuras 49, 50, 51 y 52. Partiendo de esta apreciación para realizar una comparación entre las curvas obtenidas como resultado de las pruebas realizadas al motor Tigmax con las del fabricante tomando como referencia las curvas características de un motor Honda dado que por especificaciones de los motores tienden a ser las más aproximadas, esto se realiza debido a que para el motor Tigmax sus curvas características no se encuentran disponibles.

Tabla 21 promedio y desviación estándar torque

| TORQUE PROMEDIO [N-m] | DESVIACION ESTANDAR |
|------------------------------|----------------------------|
| 5,30 | 0,84 |
| 9,49 | 1,00 |
| 12,80 | 1,08 |
| 14,79 | 1,00 |
| 15,89 | 1,19 |

Fuente: Freddy Márquez y Miller Rojas, 2011.

Tabla 22 promedio y desviación estándar potencia [Kw]

| POTENCIA PROMEDIO [Kw] | DESVIACION ESTANDAR |
|------------------------|---------------------|
| 2,50 | 0,40 |
| 3,88 | 0,41 |
| 4,56 | 0,39 |
| 4,34 | 0,29 |
| 4,16 | 0,31 |

Fuente: Freddy Márquez y Miller Rojas, 2011.

Tabla 23 promedio y desviación estándar potencia [Hp]

| POTENCIA PROMEDIO [Hp] | DESVIACION ESTANDAR |
|------------------------|---------------------|
| 3,35 | 0,53 |
| 5,20 | 0,55 |
| 6,11 | 0,52 |
| 5,82 | 0,39 |
| 5,58 | 0,42 |

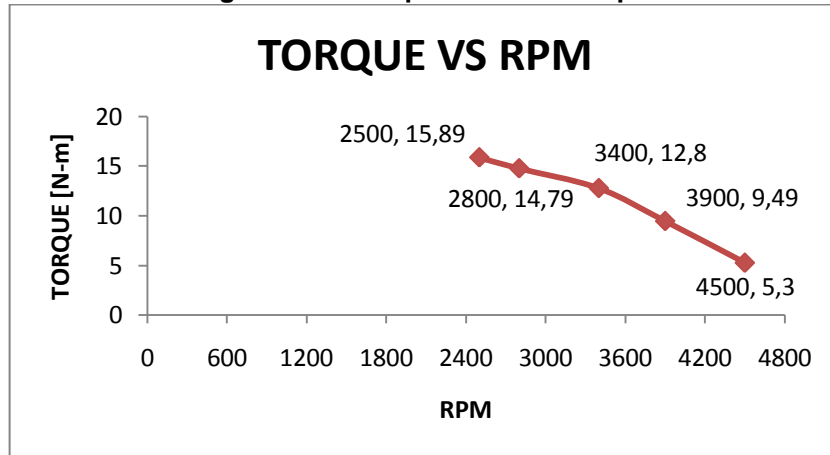
Fuente: Freddy Márquez y Miller Rojas, 2011.

Tabla 24. Promedio total pruebas torque potencia

| PRUEBA | RPM | TORQUE [N-m] | POTENCIA [Hp-(Kw)] |
|--------|-------------|--------------|--------------------|
| 1 | 4500 ± 0,05 | 5,30 ± 0,67 | 3,35(2,50) ± 0,32 |
| 2 | 3900 ± 0,05 | 9,49 ± 0,8 | 5,20 (3,88) ± 0,33 |
| 3 | 3400 ± 0,05 | 12,80 ± 0,86 | 6,12 (4,56) ± 0,31 |
| 4 | 2800 ± 0,05 | 14,79 ± 0,8 | 5,82 (4,34) ± 0,23 |
| 5 | 2500 ± 0,05 | 15,89 ± 0,95 | 5,58 (4,16) ± 0,25 |

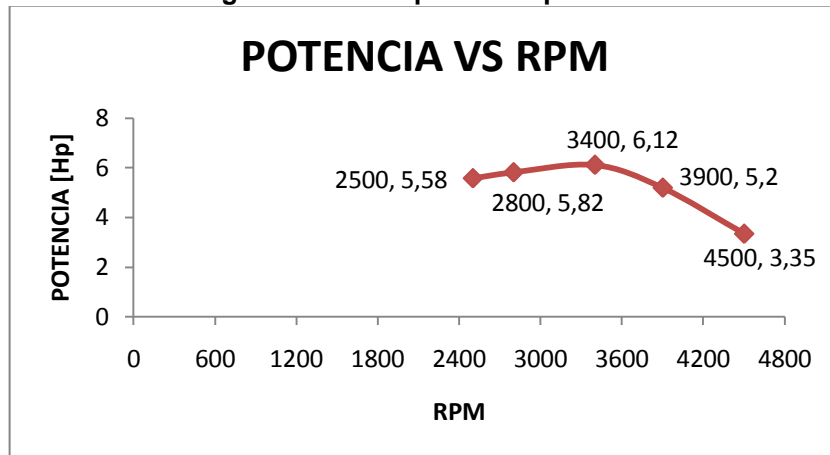
Fuente: Freddy Márquez y Miller Rojas, 2011.

Figura 49. Curva promedio de torque



Fuente: Freddy Márquez y Miller Rojas, 2011.

Figura 50. Curva promedio potencia



Fuente: Freddy Márquez y Miller Rojas, 2011.

Tabla 25 promedio y desviación estándar de consumo específico de combustible

| PROMEDIO | DESVIACION ESTANDAR |
|----------|---------------------|
| 959,29 | 154,25 |
| 589,70 | 77,90 |
| 436,47 | 37,21 |
| 424,21 | 46,85 |
| 426,13 | 44,68 |

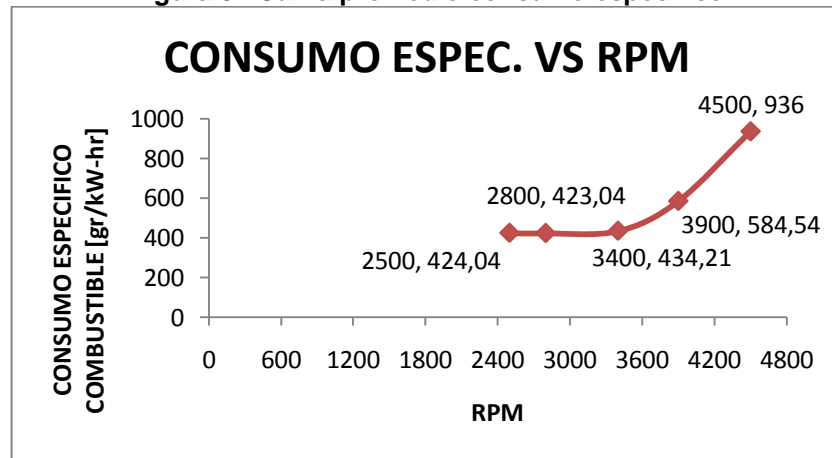
Fuente: Freddy Márquez y Miller Rojas, 2011.

Tabla 26. Promedio total pruebas consumo específico

| PRUEBA | RPM | CONS. ESPC. COMB. sfc [gr/Kw-hr] |
|--------|-------------|----------------------------------|
| 1 | 4500 ± 0,05 | 936 ± 123,43 |
| 2 | 3900 ± 0,05 | 584,54 ± 62,33 |
| 3 | 3400 ± 0,05 | 434,21 ± 29,8 |
| 4 | 2800 ± 0,05 | 423,04 ± 37,49 |
| 5 | 2500 ± 0,05 | 424,04 ± 35,75 |

Fuente: Freddy Márquez y Miller Rojas, 2011.

Figura 51. Curva promedio consumo específico



Fuente: Freddy Márquez y Miller Rojas, 2011.

Tabla 27. Promedio y desviación estándar datos flujo másico de aire

| PROMEDIO | DESVIACION ESTANDAR |
|----------|---------------------|
| 9,38 | 0,14 |
| 8,95 | 0,34 |
| 8,01 | 0,50 |
| 7,32 | 0,21 |
| 6,86 | 0,27 |

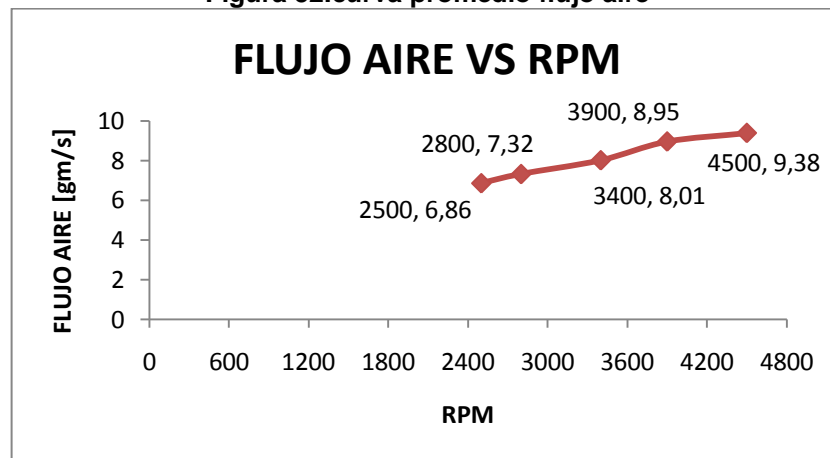
Fuente: Freddy Márquez y Miller Rojas, 2011.

Tabla 28. Promedio total pruebas flujo másico de aire

| PRUEBA | RPM | FLUJO MASA DE AIRE \dot{m}_a [gr/s] |
|--------|-------------|--|
| 1 | 4500 ± 0,05 | 9,38 ± 0,11 |
| 2 | 3900 ± 0,05 | 8,95 ± 0,27 |
| 3 | 3400 ± 0,05 | 8,01 ± 0,40 |
| 4 | 2800 ± 0,05 | 7,32 ± 0,17 |
| 5 | 2500 ± 0,05 | 6,86 ± 0,22 |

Fuente: Freddy Márquez y Miller Rojas, 2011.

Figura 52. curva promedio flujo aire



Fuente: Freddy Márquez y Miller Rojas, 2011.

Las gráficas obtenidas permiten corroborar que el banco de pruebas tiene una alta repetitividad lo que representa o asegura confiabilidad para otras pruebas que se deseen realizar como también el promedio de cada una permite hacer la comparación de curvas características tanto del motor Tigmax como del Honda. Las diferentes graficas a valores promedio obtenido en las pruebas al motor describe las líneas básicas del comportamiento del mismo proporcionando los valores de torque, potencia, consumo específico y flujo de aire, todos a régimen nominal. La máxima potencia se logra al rango de 3.400 rpm y equivale a las 6,12 hp (véase figura 50). Este valor de máxima potencia corresponde a la potencia “nominal” o potencia de homologación. Esta es la potencia que en definitiva puede entregar el motor visto desde las pruebas realizadas. Y en consecuencia es la potencia que describe al motor.

En concordancia con las curvas características de los motores a gasolina, las curvas obtenidas al final de las pruebas realizadas son casi equivalentes y se puede comprobar analizando a la luz de los resultados que la máxima potencia no es proporcional con el régimen del torque motor (figura 49), puesto que el Torque

máximo se entrega a las 2500 rpm y equivale a 15,89 N-m. Este torque máximo se obtiene a un número de vueltas por minuto, o revoluciones por minuto (rpm). Lo anterior se debe a que la potencia es el producto del par motor por el número de vueltas, y por lo tanto, a partir del momento en que el torque empieza a disminuir levemente, las rpm siguen aumentando en incrementos proporcionales superiores a los descensos del torque y por ello su producto (la potencia) sigue aumentando. El tramo en el cual se logra el máximo torque (2.500 rpm) y en el cual se logra la máxima potencia (3.400 rpm), corresponde a una zona de la curva en que la alimentación o flujo de aire en un motor atmosférico como el analizado se encuentra en incremento (figura 52) y este rango es en el que ocurre el máximo aprovechamiento de la energía disipada por el motor, mientras que para el tramo correspondiente a las 3.400 rpm a 4.500 rpm después de alcanzar la máxima potencia, se observan que empiezan a aparecer dificultades relacionadas, fundamentalmente con:

- Inadecuada evacuación de los gases quemados.
- Insuficiente llenado de aire en cada ciclo.
- La combustión empieza a ser más imperfecta.
- La fracción de tiempo para cada combustión se reduce.
- La mezcla de aire- combustible no se acaba de completar.
- El avance a la inyección no es suficiente.

En consecuencia, aunque quememos más combustible, la potencia decrece y también el torque en mayor proporción. De ahí que los consumos específicos óptimos estén en valores próximos a la zona de torque máximo.

El consumo específico presenta una idea de la eficiencia que tiene el motor a la hora de aprovechar la energía contenida en el interior del combustible para transformarla en energía aprovechable a la toma de fuerza o volante. En la figura 51, donde se observa que en el rango de las 2500 rpm y 3400 rpm el consumo de combustible tiende a ser constante con valores que oscilan entre 424,04 (gm/Kw-hr) y 434,21 (gm/Kw-hr) es donde ocurre el mayor aprovechamiento de las propiedades del motor, mientras que en el rango comprendido entre las 3400 rpm y las 4500 rpm presenta un incremento desproporcionado del consumo de combustible afectando el desempeño del motor debido a que está generando pérdidas reflejadas en las curvas de torque y potencia.

En las pruebas realizadas, la potencia medida es conocida como potencia neta, o potencia en el eje, que tiene en cuenta las pérdidas en la transmisión. Para la comparación con los datos de la tabla entregada por el fabricante, los mismos obedecen a potencias brutas, es decir potencia sin considerar pérdidas en transmisión.

Al no contar con la gráfica de la curva de potencia entregada por el fabricante, no es posible contrastar como es la entrega de potencia de motor y demás

parámetros en todo su rango de rpm, contra el régimen obtenido de rpm experimentado.

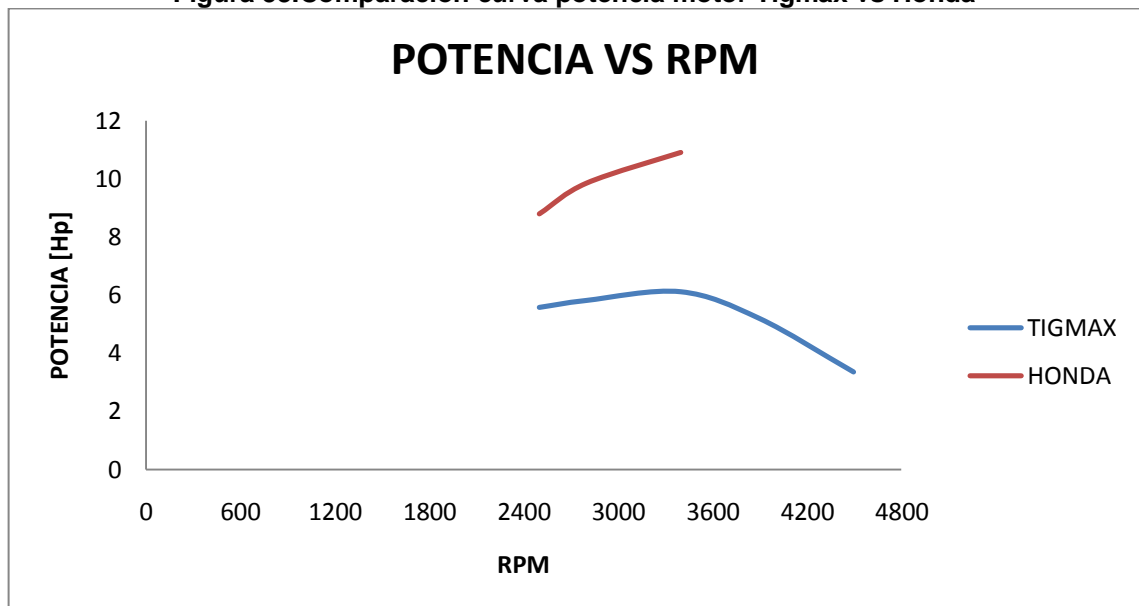
5.6 COMPARACION DE CURVAS DEL MOTOR A PRUEBA Y EL HONDA

Tabla 29. Tabla datos Potencia motor Tigmax y motor Honda

| RPM | POTENCIA TIGMAX | POTENCIA HONDA |
|------|-----------------|----------------|
| 4500 | 3,35 | |
| 3900 | 5,2 | |
| 3400 | 6,12 | 10,9 |
| 2800 | 5,82 | 9,85 |
| 2500 | 5,58 | 8,8 |

Fuente: Freddy Márquez y Miller Rojas, 2011.

Figura 53. Comparación curva potencia motor Tigmax vs Honda



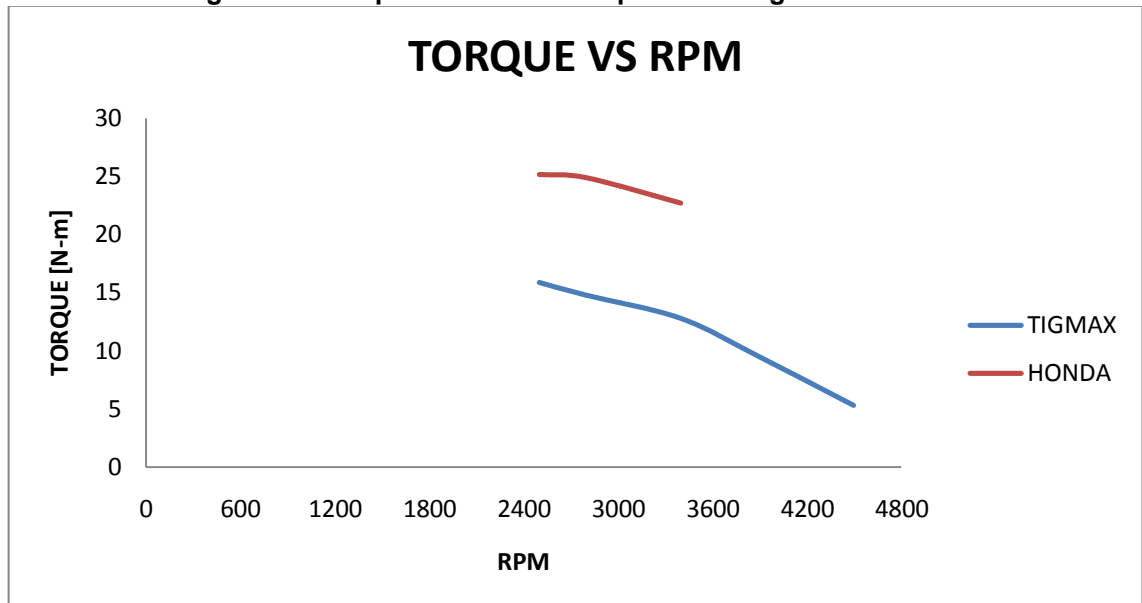
Fuente: Freddy Márquez y Miller Rojas, 2011.

Tabla 30. Tabla datos Torque motor Tigmax y motor Honda

| RPM | TORQUE TIGMAX | TORQUE HONDA |
|------|---------------|--------------|
| 4500 | 5,3 | |
| 3900 | 9,49 | |
| 3400 | 12,8 | 22,7 |
| 2800 | 14,79 | 24,9 |
| 2500 | 15,89 | 25,18 |

Fuente: Freddy Márquez y Miller Rojas, 2011.ç

Figura 54. Comparación curva torque motor Tigmax vs Honda



Fuente: Freddy Márquez y Miller Rojas, 2011.

En las figuras 52 y 53 las curvas de color azul indican el comportamiento de potencia y torque respectivamente del motor Tigmax GX-390 comparadas con las de color azul curvas del fabricante (Honda). De ellas se puede observar que describen un comportamiento similar pero en menor proporción con la única diferencia que el motor Honda posee su máxima potencia alrededor de las 3600 rpm mientras que el Tigmax alcanza su máxima potencia en loas 3400 rpm. Es claro afirmar que estas diferencias en las curvas de potencias pueden ser ocasionadas debido a que en el caso del motor Honda usan elementos de precisión especializados para este tipo de pruebas mientras que los realizados en el banco de pruebas son instrumentos de baja precisión, costo significativamente bajo y poco avance tecnológico comparado con los instrumentos utilizados por una empresa dedicada probar y construir motores en masa. Estas grandes diferencias pueden llegar a inferir en las pruebas y generar que se puedan llegar a alterar los resultados. Sin embargo podemos decir que las curvas de Potencia del Motor Tigmax y la del motor Honda, vistas desde un análisis grafico y con las mismas

especificaciones, desarrolla contra el Tigmax niveles de potencia mayores a las mismas rpm.

La curva de Torque del Tigmax es bastante similar a la del Honda describiendo una misma tendencia decreciente de torque a mayores rpm. Sin embargo se observa que los valores de torque del Honda superan por una amplia proporción al Tigmax. Ahora bien, este Torque alcanzado por el motor Honda comprendido entre las 2.500 rpm y las 3600 rpm demuestra que el fabricante prácticamente trabaja el Torque en límites de operación del motor, destacando los sectores de mayor eficiencia en sus prestaciones.

5. CONCLUSIONES

- Con la información recopilada en el estado del arte y desarrollo de este proyecto, se logra la creación de una herramienta efectiva para apoyar el conocimiento de los motores de combustión interna específicamente en el desarrollo de sus variables operativas (potencia, torque, velocidad, consumo de combustible, consumo de aire) lo que permite delimitar los parámetros operativos y la instrumentación del mismo, obteniendo así un banco de pruebas didáctico práctico que se apoya para sus logros en equipos de medición como el Dinamómetro (freno Pronny), el termoanemometro y el tacómetro.
- Las correspondientes pruebas, han sido desarrolladas bajo la normativa SAE J1349, y con las mismas se ha podido comprobar cómo los parámetros a medir y sus correspondientes curvas representativas, que los mismos mantienen una estructura similar al comportamiento de motores de combustión a gasolina de cuatro tiempos. Este método de experimentación puesta a prueba permite simular el comportamiento del motor bajo diferentes niveles de operación esperada.
- Para comparación de las curvas obtenidas por el método experimental siguiendo la normativa SAE para el efecto, se tuvo el inconveniente de que no fue posible obtener las curvas del fabricante del motor dispuesto. En tal sentido solo se pudieron contrastar los resultados contra las especificaciones técnicas numéricas entregadas en la carta del motor, sin conocer la evolución de las curvas principales de potencia y torque. Sin embargo las curvas obtenidas posibilitan sin duda alguna el estudio del desempeño de un motor a gasolina.
- El método gravimétrico como sistema de metrología, por ser un método fácil, práctico y además simplificado que permite la determinación del consumo de masa del líquido, en nuestro caso combustible (Gasolina) en apoyo de una balanza y un cronometro, permite dentro de las pruebas en el banco, el cálculo adecuado del flujo másico de combustible, además al plasmar este consumo en los diferentes rangos de rpm para realizar la curva de consumo específico con apego a la norma SAE J15-26, deja apreciar claramente que aunque los resultados no son comparables con los datos suministrados por el fabricante, se muestran una tendencia con la que se puede analizar el funcionamiento del motor bajo las condiciones del método experimental.

- Las pruebas de medición del flujo másico de aire permite demostrar que la utilización del anemómetro como instrumento de medición y la adecuación de la caja tranquilizadora de aire, como herramienta de control de turbulencias ayudan de forma significativa a mejorar el ingreso de aire al motor, y a que el ingreso del mismo a la cámara de combustión no se vea alterado por efectos dinámicos de la masa de aire, dicha apreciación es corroborada en los cálculos la relación de aire combustible donde se puede observar que se obtiene un valor aproximado al teórico empleado en motores de combustión interna a gasolina
- El diseño del banco de pruebas, deja abiertas las puertas para que en una próxima etapa, puedan desarrollarse análisis con utilización de otro tipo de equipos de medición para pruebas de larga duración, como por ejemplo un freno de corrientes de Foucault, como evolución del freno Pronny e incluso un freno eléctrico como generador de corriente eléctrica. Igualmente para el sistema de alimentación queda abierta la posibilidad de desarrollar pruebas con utilización de un sistema de inyección electrónica monopunto, midiendo en esto la correspondiente eficiencia en consumo de aire y combustible del motor con el uso de este componente electrónico y su incidencia en los factores críticos de torque y potencia.
- El diseño de la estructura física que apoya el banco de pruebas con el uso de herramientas de diseño mecánico computacional como es el caso SOLID WORKS y ANSYS un simulador computacional de elementos finitos, dichas herramientas demuestran la importancia de la incorporación didáctica de las mismas al correcto balanceo de los diferentes componentes mecánicos que producirán tanto carga dinámica como carga estática sobre toda la estructura. Igualmente el diseño ergonómico del mismo, permite a los estudiantes trabajar en una posición erguida considerando que debe permitir el acceso a todos los operarios.
- La guía para las prácticas de laboratorio contenida en el anexo (q), elaborada como parte de este proyecto, permite al estudiante de ingeniería mecánica de la Universidad Pontificia Bolivariana durante la experiencia de laboratorio con el banco de pruebas visualizar de manera detallada el trabajo experimental hecho en este proyecto y así comprender el comportamiento de un motor a gasolina monocilíndrico de cuatro tiempos y de esta manera diferenciar con la información teórica manejada por los estudiantes en la asignatura de motores de Combustion interna, igualmente, se desarrolló una macro en Excel para la elaboración de las curvas representativas a partir de los datos obtenidos en el banco de pruebas. Esta herramienta facilita enormemente la interpretación de los resultados en las prácticas.

6. RECOMENDACIONES

- Dar el mantenimiento adecuado al motor del banco de prueba para que mantenga sus características idóneas de funcionamiento.
- Se recomienda verificar la calibración y programación de las unidades de los instrumentos antes de realizar las pruebas.
- Al instalar termoanemometro en el sistema de medición de consumo de aire se debe verificar que lo coloque en el sentido correcto de flujo indicado en el instrumento, que no existan fugas de aire.
- Instalar un filtro en la caja de reposo antes de la lectura del termoanemometro para evitar que ingresen partículas que puedan interrumpir el paso de flujo o que a su vez averíen el instrumento
- Verificar que el tacómetro este en la opción de óptico para cumplir con las normas de seguridad del laboratorio.
- Tener en cuenta la posición del tacómetro y la distancia de 8cm como mínimo para evitar lecciones en los estudiantes
- Tener cuidado cuando el motor este recibiendo carga por medio del freno ya que la polea puede ocasionar lecciones.
- Para realizar las pruebas con carga, se debe comprobar que el motor este alineado y bien sujetado al freno pronny para evitar vibraciones excesivas.
- Tener precaución de que los cables y mangueras no se acerquen demasiado a las partes especialmente calientes del motor.
- Estar atentos en la medición de consumo especifico con el depósito de combustible que no quede vacio mediante se esté haciendo la prueba
- Usar el combustible adecuado para el motor.
- Manipular los instrumentos de medición correctamente, de preferencia asignar una persona responsable en el manejo de ellos, ya que éstos son delicados.

BIBLIOGRAFIA

[1] Millán J.A., Gómez I., Gutiérrez de Rozas J.L., “ensayo de motores de combustión interna alternativos - curvas características”, Universidad del País Vasco, San Sebastián – España, (en línea), 3 mayo de 2001, (fecha de consulta 3 Marzo de 2010), <http://www.sc.ehu.es/nmwmigaj/bancomot.htm>

[2] Gac, J. C., “medición potencia de automóviles”, automotriz chile, (en línea), (fecha de consulta 4 Marzo de 2010), http://www.todomotores.cl/banco/prueba_motores.htm

[3] Ruiz, R. Bermúdez, S. [et al], “Prácticas de motores de combustión”, 1ª ed., Alfaomega, México (2005).

[4] Bruzos, T., “Curvas Características del motor”, (en línea), (fecha de consulta 3 Marzo de 2010), <http://www.sabelotodo.org/automovil/curvasmotor.html>

[5] Ganesan, V., “Internal Combustion Engine”. Ed McGraw-Hill pp. 485, 2003

[6] Zhijian Lu, “Acceleration Simulation of a Vehicle with a Continuously Variable Power Split Transmission”, (en PDF), 24 Agosto de 2010, http://wvuscholar.wvu.edu:8881//exlibris/dtl/d3_1/apache_media/L2V4bGlicmlzL2R0bC9kM18xL2FwYWNoZV9tZWVpYS80NjA2.pdf, USA (1998).

[7] Arias, D. A., “desarrollo de una metodología para evaluación de desempeño mecánico, energético y ambiental de vehículos automotores, mediante pruebas de carretera”, (en PDF), 25 Agosto de 2010, http://guaica.uniandes.edu.co:5050/dspace/bitstream/1992/233/1/mi_1206.pdf, Colombia (2005).

[8] Macmillan, “Revista del motor unidad 6. Características de los motores”, (en PDF), 15 Septiembre de 2010, http://www.macmillanprofesional.es/fileadmin/files/online_files/profesionalvehiculos/MOTunidad06_finales.pdf, España (2010)

[9] Pulkrabek, Willard W., “Engineering Fundamentals of the Combustion Engine”, 2^{da} ed., Pearson prentice-hall, USA (2003).

[10] Mailxmail, S.L., “Capítulo 12: Alimentación de aire.”, ISSN: 1699-4914 (en línea), 2 Mayo de 2005, (fecha de consulta 25 Marzo de 2010), <http://www.mailxmail.com/curso-motores-combustion-interna/alimentacion-aire>, Barcelona-España

[11] Ferguson, C.R.; Kirkpatrick, A.T., “Internal Combustion Engines”, 2^{da} ed., Ed. John Wiley & Sons, USA (2001).

[12] Castillo. E. J, “El sistema de alimentación “el carburador”, Automotriz Colombia, (en línea), [fecha de consulta 15 Abril de 2010], http://funesmotos-motosfunes.blogspot.com/2009/05/el-sistema-de-alimentacion-el_18.html

[13] Klapper. F., “¿Qué es y cómo se interpretan el torque y la potencia de un motor?”, Automotriz Venezuela, (en línea), [fecha de consulta 15 Octubre de 2010], <http://www.automotriz.net/tecnica/torque.html>

[14] Rojas, H. “Diseño de Maquinas II”, Publicaciones UIS, Bucaramanga-Colombia (1992).

[15] Niemann, G., “Elementos de Maquinas”, Ed. Labor S. A., tomo 2, Barcelona-España, (1973).

[16] Wildi, T., “Máquinas eléctricas y sistemas de Potencia”, Ed Pearson Prentice Hall, México (2007).

[17] Avilés, R., “Análisis de fatiga en maquinas” Ed. Thompson, pp. 445, España (2005).

[18] Heywood, J., “Internal Combustion Engine Fundamentals”, 1a ed, Ed. McGraw-Hill, pp. 930, New York-USA (1988).

[19] Mondelo, P. Torada, E... [Et al], “Diseño de puestos de trabajo, Ergonomía 3”, 2^{da} ed, Ed UPC, Barcelona (1999)

[20] Estrada. J., “Parámetros antropométricos de la población laboral colombiana”, (en PDF), 2 Marzo de 2011,

<http://www.udea.edu.co/portal/page/portal/bibliotecaSedesDependencias/unidadesAcademicas/FacultadNacionalSaludPublica/Diseno/archivos/Tab5/Parametros%20antropometricos%20de%20la%20poblacion%20laboral.pdf>, Universidad de Antioquia, Medellín-Colombia (1995).

[21] Farrer, F. Minaya, G., [et al]. “Manual de Ergonomía, Fundación Mapfre”, Ed Mapfre S.A., Madrid (1994).

[22] Instituto de Biomédica de Valencia (IBV), “alturas de mesas y bancos para trabajar de pie”, (en línea), (fecha de consulta 4 Marzo de 2011), <http://portaldisseny.ibv.org/factoreshumanos/verficha.asp?ficha=128>

[23] Estrada, J., “Ergonomía, Introducción al análisis del trabajo”, volumen 3, Ed. Universidad de Antioquia, Medellín-Colombia (1993)

[24] Cebollada Pras F.; Torres Portero, M.A., “principios ergonómicos generales para aplicar en el diseño de máquinas Seguras, bajo normativa europea” (en PDF), 4 Marzo de 2011 <http://departamentos.unican.es/digteg/ingegraf/cd/ponencias/242.pdf>, Universidad de Zaragoza, Santander-España (2002)

[25] SAE J1349, ENGINE POWER TEST CODE-SPARK IGNITION AND COMPRESSION IGNITION NET POWER RATING, PP 7, (2004).

[26] SAE J1312, PROCEDURE FOR MAPPING PERFORMANCE SPARK IGNITION AND COMPRESSION IGNITION ENGINES, PP 1, (1995).

[27] SAE J1526, JOINT TMC/SAE FUEL CONSUMPTION IN-SERVICE TEST PROCEDURE TYPE III, PP 13, (1987)

[28] SAE J1940, SMALL ENGINE POWER AND TORQUE RATING PROCEDURE, PP 1, (2002)

[29] Figliola, R. Beasley, D., “Mediciones Mecánicas Teoría y Diseño”, 3ª ed, Ed Alfaomega (2003)

[30] Creus, A., “Instrumentación industrial”, 6a ed, Ed Alfaomega, México (1998).

ANEXOS

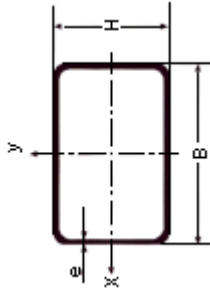
Anexo A. Parámetros Antropométricos Población Laboral Colombiana

| NOMBRE VARIABLE | P5 | P10 | P25 | P50 | P75 | P90 | P95 |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1, MASA CORPORAL | 53,7 | 56,8 | 62,4 | 69,1 | 76,8 | 83,0 | 87,9 |
| 2, ESTATURA | 158,0 | 160,7 | 164,6 | 168,6 | 173,3 | 177,1 | 179,3 |
| 3, ALCANCE VERTICAL MAXIMO | 198,0 | 202,1 | 207,4 | 213,1 | 219,8 | 225,3 | 229,4 |
| 4,ALCANCE VERTICAL ASIMIENTO | 183,7 | 187,6 | 192,9 | 198,3 | 204,4 | 209,7 | 213,2 |
| 5, ALTURA OJOS [PARADO] | 147,3 | 150,0 | 153,9 | 157,9 | 162,3 | 166,2 | 168,4 |
| 6, ALTURA SENTADO NORMAL | 80,0 | 81,4 | 83,6 | 85,9 | 88,2 | 90,3 | 91,8 |
| 7, ALTURA SENTADO ERGUIDO | 83,4 | 84,5 | 86,5 | 88,6 | 90,7 | 92,7 | 94,1 |
| 8, ALTURA OJOS [SENTADO] | 73,1 | 74,4 | 76,3 | 78,4 | 80,5 | 82,6 | 83,6 |
| 9, ALTURA ACROMIAL [PARADO] | 128,2 | 130,6 | 134,4 | 137,9 | 141,8 | 145,3 | 147,4 |
| 10,ALTURA CRESTAILIACA [PARADO] | 92,4 | 94,3 | 97,4 | 100,7 | 104,0 | 106,8 | 108,6 |
| 11,ALTURA ACROMIAL [SENTADO] | 54,2 | 55,3 | 57,0 | 58,8 | 60,7 | 62,4 | 63,3 |
| 12, ALTURA RADIAL [PARADO] | 98,7 | 100,6 | 103,3 | 106,5 | 109,6 | 112,4 | 114,3 |
| 13, ALTURA MUÑECA [PARADO] | 74,8 | 76,3 | 78,8 | 81,4 | 84,0 | 86,5 | 88,0 |
| 14,ALTURA DEDO MEDIO [PARADO] | 57,8 | 59,2 | 61,2 | 63,6 | 65,9 | 68,1 | 69,3 |
| 15, ALTURA RADIAL [SENTADO] | 19,3 | 20,4 | 22,2 | 23,8 | 25,4 | 26,8 | 27,8 |
| 16, ALTURA MUSLO [SENTADO] | 12,9 | 13,4 | 14,2 | 15,0 | 15,7 | 16,6 | 17,1 |
| 17, ALTURA RODILLA [SENTADO] | 48,2 | 49,3 | 50,7 | 52,5 | 54,4 | 55,8 | 56,6 |
| 18,ALTURA FOSAPOPLITEA [SENTADO] | 38,6 | 39,3 | 40,9 | 42,4 | 43,9 | 45,3 | 46,2 |
| 19, ANCHURA BICIGOMATICA | 13,0 | 13,2 | 13,6 | 14,0 | 14,4 | 14,8 | 15,1 |
| 20, ANCHURA TRANSVERS, CABEZA | 14,5 | 14,7 | 15,0 | 15,5 | 15,8 | 16,2 | 16,5 |
| 21, ANCHURA BIACROMIAL | 36,3 | 37,1 | 38,3 | 39,6 | 41,1 | 42,3 | 43,2 |
| 22, ANCHURA BDELTOIDEA | 41,7 | 42,6 | 44,3 | 46,1 | 48,1 | 49,9 | 50,9 |
| 23, ANCHURA TRANSVERSAL TORAX | 25,4 | 26,3 | 27,5 | 29,1 | 30,9 | 32,6 | 33,7 |
| 24, ANCHURA ANT, POST, TORAX | 17,4 | 18,0 | 19,1 | 20,3 | 21,6 | 23,0 | 23,8 |
| 25, ANCHURA BICRESTAL | 24,3 | 25,1 | 26,3 | 27,8 | 29,4 | 30,8 | 31,7 |
| 26, ANCHURA BITRONCANTEREA | 29,3 | 29,9 | 30,9 | 32,1 | 33,4 | 34,5 | 35,3 |
| 27, ANCHURA CODO A CODO | 37,7 | 39,2 | 41,4 | 44,7 | 47,8 | 50,5 | 52,3 |
| 28, ANCHURA CADERAS | 30,9 | 31,5 | 33,2 | 34,9 | 36,6 | 38,3 | 39,2 |
| 29, ANCHURA CODO | 6,2 | 6,3 | 6,6 | 6,8 | 7,0 | 7,3 | 7,4 |
| 30, ANCHURA MUÑECA | 4,9 | 5,1 | 5,3 | 5,5 | 5,7 | 5,9 | 6,0 |
| 31, ANCHURA DE LA MANO | 7,7 | 7,9 | 8,1 | 8,4 | 8,7 | 8,9 | 9,1 |
| 32, ANCHURA DE RODILLA | 8,8 | 9,0 | 9,3 | 9,7 | 10,1 | 10,4 | 10,7 |
| 33, ANCHURA DEL TOBILLO | 6,8 | 6,9 | 7,1 | 7,4 | 7,6 | 7,9 | 8,0 |
| 34, ANCHURA DEL TALON | 6,0 | 6,2 | 6,5 | 6,8 | 7,1 | 7,4 | 7,6 |
| 35, ANCHURA DEL PIE | 9,0 | 9,2 | 9,5 | 9,9 | 10,3 | 10,6 | 10,9 |
| 36, LARGURA ANT, POST, CABEZA | 17,6 | 17,9 | 18,4 | 18,9 | 19,5 | 19,9 | 20,2 |
| 37, LARG, ALCANCE LAT, ASIMIENTO | 71,5 | 72,5 | 74,7 | 76,9 | 79,3 | 81,5 | 82,9 |
| 38, LARG, ALCANCE ANT, ASIMIENTO | 66,1 | 67,2 | 69,2 | 71,4 | 73,6 | 76,0 | 77,2 |
| 39, LARGURA DE LA MANO | 16,8 | 17,2 | 17,7 | 18,3 | 19,0 | 19,6 | 20,0 |
| 40, LARGURA PALMA DE LA MANO | 9,3 | 9,5 | 9,9 | 10,3 | 10,7 | 11,0 | 11,3 |
| 41,LARGURA NALGA A FOSA POPLITEA | 42,7 | 43,6 | 45,2 | 46,8 | 48,5 | 50,0 | 50,9 |
| 42, LARGURA NALGA A RODILLA | 52,7 | 53,7 | 55,3 | 57,0 | 58,7 | 60,3 | 61,3 |
| 43, LARGURA DEL PIE | 23,2 | 23,6 | 24,4 | 25,2 | 26,1 | 26,8 | 27,3 |
| 44, LARGURA PLANTA DEL PIE | 18,7 | 19,1 | 19,7 | 20,3 | 21,0 | 21,6 | 22,0 |
| 45, PERIMETRO CEFALICO | 52,8 | 53,4 | 54,4 | 55,5 | 56,6 | 57,8 | 58,5 |

Anexo B. Propiedades Mecánicas de Materiales de Ingeniería (Unidades inglesas)

| Material | Peso específico lb/in. ³ | Resistencia última | | | Fluencia ^b | | Módulo de elasticidad, 10 ⁶ psi | Módulo de rigidez, 10 ⁶ psi | Coeficiente de expansión, 10 ⁻⁶ /°F | Ductilidad, porcentaje de elongación en 2 in. |
|---|--|--------------------|---------------------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|---|---|---|---|
| | | Tensión, ksi | Compresión, ^a ksi | Constante, ksi | Tensión, ksi | Constante, ksi | | | | |
| Acero | | | | | | | | | | |
| Structural (ASTM-A36) | 0.284 | 58 | | | 36 | 21 | 29 | 11.2 | 6.5 | 21 |
| Alta resistencia-baja aleación | | | | | | | | | | |
| ASTM-A709 Grado 50 | 0.284 | 65 | | | 50 | | 29 | 11.2 | 6.5 | 21 |
| ASTM-A913 Grado 65 | 0.284 | 80 | | | 65 | | 29 | 11.2 | 6.5 | 17 |
| ASTM-A992 Grado 50 | 0.284 | 65 | | | 50 | | 29 | 11.2 | 6.5 | 21 |
| Templado | | | | | | | | | | |
| ASTM-A709 Grado 100 | 0.284 | 110 | | | 100 | | 29 | 11.2 | 6.5 | 18 |
| Inoxidable AISI 302 | | | | | | | | | | |
| Laminado en frío | 0.286 | 125 | | | 75 | | 28 | 10.8 | 9.6 | 12 |
| Recocido | 0.286 | 95 | | | 38 | 22 | 28 | 10.8 | 9.6 | 50 |
| Acero de refuerzo | | | | | | | | | | |
| Resistencia media | 0.283 | 70 | | | 40 | | 29 | 11 | 6.5 | |
| Alta resistencia | 0.283 | 90 | | | 60 | | 29 | 11 | 6.5 | |
| Fundición: | | | | | | | | | | |
| Fundición gris | | | | | | | | | | |
| 4.5% C, ASTM A-48 | 0.260 | 25 | 95 | 35 | | | 10 | 4.1 | 6.7 | 0.5 |
| Hierro fundido | | | | | | | | | | |
| 2% C, 1% Si, ASTM A-47 | 0.264 | 50 | 90 | 48 | 33 | | 24 | 9.3 | 6.7 | 10 |
| Aluminio | | | | | | | | | | |
| Aleación 1100-H14 (99% Al) | | | | | | | | | | |
| | 0.098 | 16 | | 10 | 14 | 8 | 10.1 | 3.7 | 13.1 | 9 |
| Aleación 2014-T6 | | | | | | | | | | |
| | 0.101 | 66 | | 40 | 58 | 31 | 10.9 | 3.9 | 12.8 | 13 |
| Aleación 2024-T4 | | | | | | | | | | |
| | 0.101 | 68 | | 41 | 47 | | 10.6 | | 12.9 | 19 |
| Aleación 5456-H116 | | | | | | | | | | |
| | 0.095 | 46 | | 27 | 33 | 19 | 10.4 | | 13.3 | 16 |
| Aleación 6061-T6 | | | | | | | | | | |
| | 0.098 | 38 | | 24 | 35 | 20 | 10.1 | 3.7 | 13.1 | 17 |
| Aleación 7075-T6 | | | | | | | | | | |
| | 0.101 | 83 | | 48 | 73 | | 10.4 | 4 | 13.1 | 11 |
| Cobre | | | | | | | | | | |
| Libre de oxígeno (99.9% Cu) | | | | | | | | | | |
| Recocido | 0.322 | 32 | | 22 | 10 | | 17 | 6.4 | 9.4 | 45 |
| Endurecido | 0.322 | 57 | | 29 | 53 | | 17 | 6.4 | 9.4 | 4 |
| Latón amarillo (65% Cu, 35% Zn) | | | | | | | | | | |
| Laminado en frío | 0.306 | 74 | | 43 | 60 | 36 | 15 | 5.6 | 11.6 | 8 |
| Recocido | 0.306 | 46 | | 32 | 15 | 9 | 15 | 5.6 | 11.6 | 65 |
| Latón rojo (85% Cu, 15% Zn) | | | | | | | | | | |
| Laminado en frío | 0.316 | 85 | | 46 | 63 | | 17 | 6.4 | 10.4 | 3 |
| Recocido | 0.316 | 39 | | 31 | 10 | | 17 | 6.4 | 10.4 | 48 |
| Estaño bronce (88 Cu, 8 Sn, 4 Zn) | | | | | | | | | | |
| | 0.318 | 45 | | | 21 | | 14 | | 10 | 30 |
| Manganeso bronce (63 Cu, 25 Zn, 6 Al, 3 Mn, 3 Fe) | | | | | | | | | | |
| | 0.302 | 95 | | | 48 | | 15 | | 12 | 20 |
| Aluminio bronce (81 Cu, 4 Ni, 4 Fe, 11 Al) | | | | | | | | | | |
| | 0.301 | 90 | 130 | | 40 | | 16 | 6.1 | 9 | 6 |

Anexo C. Perfiles Estructurales Rectangulares 1" 1/2 * 2"



| RECTANGULAR B x H (mm) | ESPESOR (e) | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0.55 | 0.60 | 0.70 | 0.80 | 0.90 | 1.00 | 1.10 | 1.25 | 1.40 | 1.60 | 1.80 | 2.00 | 2.50 | 3.20 |
| PESO POR METRO (Kg/m) | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 x 20 | 0.252 | 0.270 | 0.312 | 0.354 | 0.396 | 0.477 | 0.536 | 0.594 | 0.669 | | | | | |
| 10 x 25 | 0.296 | 0.316 | 0.367 | 0.417 | 0.466 | 0.563 | 0.634 | 0.703 | 0.794 | 0.882 | | | | |
| 10 x 30 | 0.340 | 0.363 | 0.422 | 0.479 | 0.536 | 0.649 | 0.731 | 0.812 | 0.919 | 1.022 | | | | |
| 10 x 40 | 0.427 | 0.457 | 0.531 | 0.604 | 0.677 | 0.820 | 0.926 | 1.031 | 1.168 | 1.303 | | | | |
| 10 x 50 | | | 0.640 | 0.729 | 0.817 | 0.992 | 1.121 | 1.249 | 1.418 | 1.584 | | | | |
| 15 x 20 | | | 0.367 | 0.417 | 0.466 | 0.563 | 0.634 | 0.703 | 0.794 | 0.882 | | | | |
| 15 x 25 | 0.340 | 0.363 | 0.422 | 0.479 | 0.536 | 0.649 | 0.731 | 0.812 | 0.919 | 1.022 | | | | |
| 15 x 30 | | | 0.476 | 0.542 | 0.607 | 0.734 | 0.829 | 0.922 | 1.043 | 1.163 | 1.279 | 1.422 | | |
| 20 x 30 | 0.427 | 0.457 | 0.531 | 0.604 | 0.677 | 0.820 | 0.926 | 1.031 | 1.168 | 1.303 | 1.435 | 1.597 | 1.755 | |
| 20 x 40 | | | 0.640 | 0.729 | 0.817 | 0.992 | 1.121 | 1.249 | 1.418 | 1.584 | 1.747 | 1.948 | 2.145 | |
| 20 x 50 | | | | 0.854 | 0.958 | 1.163 | 1.316 | 1.468 | 1.667 | 1.865 | 2.059 | 2.299 | 2.535 | |
| 20 x 60 | | | | 0.978 | 1.098 | 1.335 | 1.511 | 1.686 | 1.917 | 2.145 | 2.371 | 2.650 | 2.925 | |
| 20 x 70 | | | | 1.238 | 1.507 | 1.706 | 1.904 | 2.167 | 2.426 | 2.683 | 3.001 | 3.315 | | |
| 20 x 80 | | | | 1.379 | 1.678 | 1.901 | 2.123 | 2.416 | 2.707 | 2.995 | 3.352 | 3.705 | | |
| 20 x 100 | | | | 1.660 | 2.021 | 2.291 | 2.560 | 2.915 | 3.269 | 3.619 | | | | |
| 25 x 50 | | | | 0.916 | 1.028 | 1.249 | 1.414 | 1.577 | 1.792 | 2.005 | 2.215 | 2.475 | 2.730 | 3.081 |
| 30 x 40 | | | | 0.854 | 0.958 | 1.163 | 1.316 | 1.468 | 1.667 | 1.865 | 2.059 | 2.299 | 2.535 | 2.859 |
| 30 x 50 | | | 0.858 | 0.978 | 1.098 | 1.335 | 1.511 | 1.686 | 1.917 | 2.145 | 2.371 | 2.650 | 2.925 | 3.203 |
| 30 x 60 | | | | 1.238 | 1.507 | 1.706 | 1.904 | 2.167 | 2.426 | 2.683 | 3.001 | 3.315 | 3.748 | 4.173 |
| 30 x 70 | | | | 1.228 | 1.379 | 1.678 | 1.901 | 2.123 | 2.416 | 2.707 | 2.995 | 3.352 | 3.705 | 4.193 |
| 30 x 90 | | | | 1.660 | 2.021 | 2.291 | 2.560 | 2.915 | 3.269 | 3.619 | 4.054 | 4.485 | 5.082 | 5.671 |
| 40 x 50 | | | | 1.238 | 1.507 | 1.706 | 1.904 | 2.167 | 2.426 | 2.683 | 3.001 | 3.315 | 3.748 | 4.173 |
| 40 x 60 | | | | 1.379 | 1.678 | 1.901 | 2.123 | 2.416 | 2.707 | 2.995 | 3.352 | 3.705 | 4.193 | 4.673 |
| 40 x 80 | | | | 1.660 | 2.021 | 2.291 | 2.560 | 2.915 | 3.269 | 3.619 | 4.054 | 4.485 | 5.082 | 5.671 |
| 50 x 70 | | | | 1.660 | 2.021 | 2.291 | 2.560 | 2.915 | 3.269 | 3.619 | 4.054 | 4.485 | 5.082 | 5.671 |

CHAPA LAMINADA EN CALIENTE
CHAPA LAMINADA EN FRIO

LOS PESOS DE LAS TABLAS SON APROXIMADOS Y TEORICOS, NO UTILIZADOS PARA LA FACTURACION

Anexo D. Propiedades Angulo 1" 1/2 * 3/16



| ANGULO | GEOMETRIA | | | | | | | AREA cm ² | PESO kg/m | PROPIEDADES ELASTICAS | | | | | | | | | |
|---------------------|-----------|---------|----------|----------|-------------------------|----------------------|----------------------|-------------------------|--------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------|--|
| | h mm | t mm | R1 mm | R2 mm | b ₁ -Y mm | e _W mm | e _Z mm | | | EE X-X = Y-Y | | | | EE W-W | | | | EE Z-Z | |
| | | | | | | | | | | I _X -Y cm ⁴ | S _X -Y cm ³ | r _X -Y cm | I _W cm ⁴ | S _W cm ³ | r _W cm | I _Z cm ⁴ | S _Z cm ³ | r _Z cm | |
| ANGULO 1"x1/8" | 25.40 | 3.20 | 4.00 | 2.00 | 7.3 | 17.70 | 10.30 | 1.51 | 1.19 | 0.84 | 0.48 | 0.75 | 1.24 | 0.93 | 0.41 | 0.38 | 0.48 | | |
| ANGULO 1"x3/16" | 25.40 | 4.80 | 4.00 | 2.00 | 7.9 | 17.70 | 11.10 | 2.19 | 1.72 | 1.17 | 0.68 | 0.73 | 2.08 | 0.93 | 0.41 | 0.36 | 0.48 | | |
| ANGULO 1.1/4"x1/8" | 31.70 | 3.20 | 5.00 | 2.50 | 8.9 | 21.60 | 13.60 | 1.97 | 1.55 | 1.83 | 0.79 | 0.86 | 2.91 | 1.19 | 0.83 | 0.66 | 0.60 | | |
| ANGULO 1.1/4"x3/16" | 31.70 | 4.80 | 5.00 | 2.50 | 9.6 | 21.60 | 13.50 | 2.87 | 2.25 | 2.58 | 1.15 | 0.95 | 3.74 | 1.19 | 0.83 | 0.61 | 0.60 | | |
| ANGULO 1.1/2"x1/8" | 38.10 | 3.20 | 6.00 | 3.00 | 10.3 | 26.90 | 14.60 | 2.37 | 1.86 | 3.11 | 1.12 | 1.15 | 5.41 | 1.47 | 1.24 | 0.82 | 0.73 | | |
| ANGULO 1.1/2"x3/16" | 38.10 | 4.80 | 6.00 | 3.00 | 11 | 26.90 | 15.60 | 3.46 | 2.71 | 4.45 | 1.65 | 1.13 | 7.07 | 1.44 | 1.66 | 1.05 | 0.73 | | |
| ANGULO 1.1/2"x1/4" | 38.10 | 6.40 | 6.00 | 3.00 | 11.7 | 26.90 | 16.50 | 4.49 | 3.53 | 5.63 | 2.14 | 1.12 | 8.74 | 1.42 | 2.49 | 1.48 | 0.73 | | |
| ANGULO 1.3/4"x1/8" | 44.40 | 3.20 | 7.00 | 3.50 | 11.9 | 31.80 | 16.80 | 2.83 | 2.22 | 5.24 | 1.58 | 1.36 | 8.50 | 1.73 | 1.98 | 1.18 | 0.84 | | |
| ANGULO 1.3/4"x3/16" | 44.40 | 4.80 | 7.00 | 3.50 | 12.7 | 31.80 | 17.90 | 4.14 | 3.25 | 7.57 | 2.34 | 1.35 | 12.17 | 1.71 | 2.97 | 1.66 | 0.85 | | |
| ANGULO 2"x1/8" | 50.80 | 3.18 | 6.35 | 3.18 | 13.56 | 35.92 | 19.18 | 3.17 | 2.48 | 7.87 | 2.11 | 1.57 | 12.49 | 1.97 | 3.32 | 1.68 | 0.99 | | |
| ANGULO 2"x3/16" | 50.80 | 4.76 | 6.35 | 3.18 | 14.25 | 35.92 | 20.15 | 4.66 | 3.66 | 11.28 | 3.08 | 1.55 | 17.48 | 1.95 | 4.57 | 2.28 | 0.99 | | |
| ANGULO 2"x1/4" | 50.80 | 6.35 | 6.35 | 3.18 | 14.88 | 35.92 | 21.05 | 6.09 | 4.78 | 14.40 | 4.00 | 1.54 | 22.47 | 1.93 | 5.82 | 2.77 | 0.99 | | |
| ANGULO 2.1/2"x3/16" | 63.50 | 4.76 | 6.35 | 3.18 | 17.45 | 44.90 | 24.68 | 5.81 | 4.55 | 22.27 | 4.83 | 1.96 | 36.62 | 2.46 | 9.15 | 3.70 | 1.24 | | |
| ANGULO 2.1/2"x1/4" | 63.50 | 6.35 | 6.35 | 3.18 | 18.06 | 44.90 | 25.54 | 7.68 | 6.01 | 28.80 | 6.34 | 1.94 | 45.36 | 2.43 | 11.65 | 4.58 | 1.24 | | |
| ANGULO 3"x1/4" | 76.20 | 6.35 | 9.53 | 4.76 | 21.23 | 53.88 | 30.03 | 9.29 | 7.28 | 51.20 | 9.32 | 2.35 | 78.66 | 2.94 | 20.39 | 6.86 | 1.49 | | |
| ANGULO 3"x5/16" | 76.20 | 7.94 | 9.53 | 4.76 | 21.84 | 53.88 | 30.89 | 11.48 | 8.99 | 62.43 | 11.45 | 2.33 | 95.98 | 2.92 | 26.97 | 8.21 | 1.47 | | |
| ANGULO 3"x3/8" | 76.20 | 9.53 | 9.53 | 4.76 | 22.45 | 53.88 | 31.75 | 13.61 | 10.67 | 72.84 | 13.52 | 2.31 | 112.79 | 2.89 | 29.55 | 9.41 | 1.47 | | |
| ANGULO 3"x1/2" | 76.20 | 12.70 | 9.53 | 4.76 | 23.60 | 53.88 | 33.37 | 17.74 | 13.91 | 91.57 | 17.37 | 2.27 | 142.76 | 2.84 | 38.29 | 11.53 | 1.47 | | |
| ANGULO 4"x1/4" | 101.60 | 6.35 | 9.53 | 4.76 | 27.43 | 71.84 | 38.79 | 12.45 | 9.79 | 124.87 | 16.88 | 3.18 | 191.89 | 3.96 | 48.10 | 12.30 | 2.00 | | |
| ANGULO 4"x5/16" | 101.60 | 7.94 | 9.53 | 4.76 | 28.19 | 71.84 | 39.87 | 15.48 | 12.14 | 152.76 | 20.81 | 3.15 | 239.33 | 3.93 | 61.60 | 15.36 | 2.00 | | |
| ANGULO 4"x3/8" | 101.60 | 9.53 | 9.53 | 4.76 | 28.70 | 71.84 | 40.59 | 18.45 | 14.46 | 179.81 | 24.58 | 3.12 | 283.03 | 3.91 | 73.25 | 18.17 | 1.98 | | |
| ANGULO 4"x1/2" | 101.60 | 12.70 | 9.53 | 4.76 | 29.87 | 71.84 | 42.39 | 24.19 | 18.80 | 229.76 | 32.12 | 3.07 | 361.28 | 3.86 | 94.48 | 22.44 | 1.98 | | |
| ANGULO 5"x3/8" | 127.00 | 9.53 | 12.70 | 6.35 | 34.80 | 89.80 | 48.21 | 23.55 | 18.45 | 364.62 | 39.49 | 3.94 | 579.60 | 4.99 | 148.00 | 29.80 | 2.52 | | |
| ANGULO 5"x1/2" | 127.00 | 13.70 | 12.70 | 6.35 | 36.07 | 89.80 | 51.01 | 30.90 | 24.35 | 470.34 | 51.62 | 3.89 | 746.50 | 4.94 | 190.10 | 37.20 | 2.49 | | |
| ANGULO 6"x3/8" | 152.40 | 9.53 | 12.70 | 6.35 | 41.15 | 107.76 | 58.19 | 28.26 | 22.17 | 641.00 | 57.52 | 4.75 | 1,018.60 | 6.02 | 262.60 | 44.70 | 3.05 | | |
| ANGULO 6"x1/2" | 152.40 | 13.70 | 12.70 | 6.35 | 42.42 | 107.76 | 59.99 | 37.23 | 29.16 | 828.30 | 78.22 | 4.72 | 1,336.10 | 5.97 | 331.30 | 54.90 | 2.99 | | |
| ANGULO 6"x5/8" | 152.40 | 15.88 | 12.70 | 6.35 | 43.69 | 107.76 | 61.78 | 46.00 | 36.16 | 1,003.12 | 90.42 | 4.67 | 1,604.80 | 5.92 | 405.40 | 65.60 | 2.98 | | |

* FUENTE: MANUAL ASC

Anexo E. Especificaciones y Aplicaciones Lamina (Cold Rolled calibre 20)



PRODUCTOS: LAMINA EN FRIO – COLD ROLLED

Como el nombre lo indica, el acero es procesado mientras frío. Es fabricado de acero en caliente el cual ha sido limpiado químicamente antes de ser enrollado. El proceso de formado en frío reduce el espesor del acero y al mismo tiempo cambia sus propiedades mecánicas. Esto debe seguir un proceso donde es cubierto con una capa delgada de aceite para prevenir que el oxígeno tenga contacto con la superficie y forme óxido.

La Campana Servicios de Acero S.A pone a su disposición lámina en frío, en hojas o rollo, en diferentes formatos. Gracias a nuestro gran inventario ofrecemos el mejor servicio en calidad y tiempos de entrega.

APLICACIONES:

Para poder llegar a los varios requerimientos de los diferentes sectores industriales, la lámina Cold Rolled está metalúrgicamente diseñada para proveer atributos específicos tales como: alta ductilidad, embutido profundo, alta fuerza y Resistencia, buenas propiedades magnéticas y de fácil manejo para aplicación de pinturas entre otros.

**PARA MAYOR
INFORMACION
CONSULTE A
NUESTROS
ASESORES!!**

PBX: 3702200

| Especificaciones Técnicas | | | | | |
|---------------------------|---------------|---------------|----------|---------------|----------|
| Calibre | Espesor mm | 1220 x 2440mm | | 1000 x 2000mm | |
| | | Peso/Kg | Unidades | Peso/Kg | Unidades |
| | | 1220 x 2440mm | Tonelada | 1000 x 2000mm | Tonelada |
| 28 | 0.35mm | n/a | n/a | n/a | n/a |
| 26 | 0.44mm | 10.68kg | 93und | 7.49kg | 133und |
| 24 | 0.61mm | 14.30kg | 70und | 9.55kg | 104und |
| 23 | 0.70mm | 16.62kg | 60und | 11.01kg | 90und |
| 22 | 0.75mm | 17.65kg | 56und | 11.82kg | 84und |
| 20 | 0.80mm | 18.69kg | 53und | 12.56kg | 79und |
| 20 | 0.85mm | 20.07kg | 49und | 13.50kg | 74und |
| 20 | 0.90mm | 21.03kg | 47und | 14.13kg | 70und |
| 19 | 1.00mm | 23.36kg | 42und | 15.70kg | 63und |
| 18 | 1.10mm | 25.82kg | 38und | 17.27kg | 57und |
| 18 | 1.15mm | 27.09kg | 36und | 18.05kg | 55und |
| 18 | 1.20mm | 28.04kg | 35und | 18.67kg | 53und |
| 16 | 1.50mm | 34.90kg | 28und | 23.35kg | 42und |
| 14 | 1.90mm | 44.38kg | 22und | 29.30kg | 34und |

| NORMAS | PROPIEDADES MECANICAS | | | COMPOSICION QUIMICA | | | |
|---------------------------------------|-----------------------|-----------------|-------------|---------------------|---------------|--------------|--------------|
| | Fluencia | Esfumax | Dureza | Carbono | Manganeso | Fosforo | Azufre |
| SAE J403/1006 JIS G3141/SPCC SD | Max: 258 MPA | Max: 354 MPA | Max: 54 HRB | 0.08% Max | 0.25% - 0.40% | 0.04% Max | 0.05% Max |

Anexo F. Ficha Técnica Electrodo E 60-13

SW 613



ELECTRODOS PARA SOLDAR ACEROS AL CARBONO

IDENTIFICACIÓN : WEST ARCO E6013
CLASIFICACIÓN : AWS E6013
ESPECIFICACIÓN : AWS A5.1, NTC 2191, ASME SFA5.1
APROBADO : ABS (Grado 1)

CARACTERÍSTICAS SOBRESALIENTES

El revestimiento es a base de rutilo y potasio, lo cual le da muy buena estabilidad, inclusive al trabajar con corriente alterna en quipos de bajo voltaje de circuito abierto.

APLICACIONES TÍPICAS

Carrocerías, muebles metálicos, ductos de aire acondicionado, rejas, ventanas y ornamentación en general. Puede usarse en tanques y estructuras teniendo en cuenta las limitaciones establecidas en los códigos de construcción aplicables.

RECOMENDACIONES PARA SU APLICACIÓN

Se utiliza en corriente alterna o continua, polaridad negativa (-) o positiva (+). Lleve el arco corto y una velocidad de avance adecuada al tipo de junta y al diámetro que emplee. Al soldar en filete horizontal mantenga el electrodo con un ángulo de elevación de 50 a 70° con relación a la platina inferior y una inclinación de 10 a 20° en la dirección de avance. Entre más delgada la platina y mayor corriente, se debe usar un ángulo de elevación mayor para evitar recalentamiento de la platina vertical.

PROPIEDADES MECÁNICAS TÍPICAS DEL METAL DEPOSITADO

| | |
|--|---|
| Resistencia a la tracción: | 42 - 52Kg/mm ² (60 - 74 Ksi) |
| Límite de fluencia: | 34 - 45Kg/mm ² (48 - 65 Ksi) |
| Elongación: | 22 - 29% |
| Resistencia al impacto Charpy en V a 20°C: | 50 - 110 joules. |






NOTA: Ensayos realizados según AWS A5.1

| DIMENSIÓN | AMPERAJES RECOMENDADOS |
|----------------------|------------------------|
| 2.4 X 300 mm (3/32") | 50 - 90 A |
| 2.4 X 350 mm (3/32") | 50 - 90 A |
| 3.2 X 350 mm (1/8") | 80 - 120 A |
| 4.0 X 350 mm (5/32") | 110 - 160 A |
| 4.8 X 450 mm (3/16") | 130 - 210 A |
| 6.4 X 450 mm (1/4") | 200 - 300 A |

EMPAQUE: Caja de 20 Kg peso neto.

Ver recomendaciones de almacenamiento al final del catálogo.

Anexo G. Especificaciones Ruedas de Aproximadamente $200\text{kg} / 3 = 66.7 \text{ kg}$

| Paso 1: Capacidad de la rueda | |
|---|---|
|  | <ul style="list-style-type: none"> • Sume el peso de la carga al del carro. • Divida el total en tres. • El resultado será la capacidad que debe tener cada rueda. |
| Paso 2: Diámetro de la rueda | |
|  | <ul style="list-style-type: none"> • Considere las irregularidades del piso. • Un diámetro mayor facilita pasar cualquier obstáculo. • El diámetro debe ser proporcional a la altura del carro y a la carga en movimiento. |
| Paso 3: Material de la rueda | |
|  | <ul style="list-style-type: none"> • Se deben tener en cuenta tres factores: • Superficie de trabajo. • Condiciones ambientales. • Tipo de carga que va a utilizar. |
| Paso 4: Superficie de trabajo | |
|  | <ul style="list-style-type: none"> • La rueda debe tener buena resistencia al desgaste tanto de la misma como del piso en el cual se va a trabajar. |
| Paso 5: Condiciones ambientales | |
|  | <ul style="list-style-type: none"> • Consulte la opción GUÍA PARA SELECCIONAR UNA RUEDA y verifique la compatibilidad del material de la rueda con las condiciones ambientales existentes |
| Paso 6: Tipo de carga | |
|  | <ul style="list-style-type: none"> • Después de analizar el tipo de carga que va a usar, seleccione ruedas blandas para cargas delicadas y/o rígidas para otros tipos de carga. |

Paso 7: Facilidad de movimiento



- Para una alta movilidad usar una rodachina con alto radio de giro.
- Los soportes con doble pista de esferas giran con mayor facilidad

Guía para Selección de Ruedas

| Guía para seleccionar ruedas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------------|-----------------------|----------|---------|---------|----------|----------|----------------------|--------|-----------------|--------------------|-------------------------|------------------------------|-----------------|--------------------|----------|---|-------------------|------------------|--------------------|-----------------|
| Sí Recomendable No no recomendado ? Consultar con nuestro departamento técnico | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tipo de rueda | Capacidad de carga (Kgs) | Superficie de trabajo | | | | | | | | | | Condiciones ambientales | | | | | Dureza A - Shore R - Rockweel BHN - Brinnell | | | | |
| | | Acero corrugado | Alfombra | Asfalto | Baldosa | Cerámica | Concreto | Ladrillo vitrificado | Madera | Tapete plástico | Acetate Industrial | Amortiguación de carga | Contacto ocasional con vapor | Grasas animales | Proteccion de piso | Químicos | | Superficie húmeda | Temperatura alta | Trabajo silencioso | Viruta metálica |
| AB | 40 - 80 | No | ? | No | Sí | Sí | Sí | Sí | Sí | Sí | No | Sí | No | No | Sí | No | No | Sí | No | 70-80 A | |
| AF | 150 - 250 | Sí | ? | ? | Sí | Sí | Sí | Sí | Sí | Sí | No | Sí | No | No | Sí | ? | No | No | Sí | No | 75-80 A |
| BA | 50 - 500 | Sí | No | Sí | No | No | Sí | No | No | No | Sí | No | Sí | Sí | No | ? | ? | ? | No | Sí | 214-230 BHN |
| BF | 65 - 450 | No | ? | No | Sí | Sí | Sí | ? | Sí | Sí | No | Sí | No | No | Sí | No | ? | No | Sí | No | 75-80 A |
| CA | 40 - 50 | No | ? | No | Sí | Sí | Sí | Sí | Sí | Sí | No | Sí | No | No | Sí | No | No | No | Sí | No | 75-80 A |
| DA | 40 | No | Sí | No | Sí | Sí | Sí | No | Sí | Sí | No | No | No | Sí | ? | ? | Sí | No | No | No | 50-60 D |
| Neumática | 90 - 150 | Sí | Sí | Sí | Sí | Sí | Sí | Sí | Sí | Sí | No | Sí | No | No | Sí | No | Sí | No | Sí | No | 65-70 A |
| Nylon | 100 - 500 | No | Sí | Sí | Sí | No | Sí | Sí | No | No | Sí | No | Sí | Sí | Sí | ? | Sí | ? | No | Sí | 60-70 D |
| PB | 55 - 230 | No | Sí | Sí | Sí | Sí | Sí | Sí | Sí | Sí | No | Sí | Sí | Sí | Sí | ? | Sí | No | Sí | Sí | 70-80 A |
| PR | 75 - 500 | No | Sí | Sí | Sí | No | Sí | Sí | No | Sí | Sí | No | Sí | Sí | No | ? | Sí | ? | No | Sí | 50-60 D |
| PU | 75 - 680 | No | Sí | Sí | Sí | Sí | Sí | Sí | Sí | Sí | No | Sí | Sí | Sí | ? | ? | Sí | ? | No | No | 90 A |
| SC | 400-1.200 | ? | Sí | Sí | Sí | Sí | Sí | ? | ? | No | Sí | No | ? | Sí | ? | ? | ? | No | No | Sí | 90 A |
| Alta temperatura | 180 - 680 f | No | Sí | Sí | Sí | No | Sí | Sí | No | No | Sí | No | Sí | Sí | No | ? | Sí | Sí | No | Sí | 50 D F |
| SI | 250 - 300 | No | Sí | Sí | Sí | No | Sí | Sí | No | No | Sí | No | Sí | Sí | No | ? | Sí | Sí | No | Sí | 50-60 D |
| Médica | 80 - 160 | No | Sí | No | Sí | Sí | Sí | Sí | Sí | Sí | No | Sí | Sí | Sí | Sí | ? | Sí | ? | Sí | No | 70 A |
| PW | 150 | No | Sí | Sí | Sí | No | Sí | Sí | No | Sí | Sí | No | Sí | Sí | No | Sí | Sí | ? | No | Sí | 50-60 D |
| Anti-pinchazo | 130 f | Sí | Sí | Sí | Sí | Sí | Sí | Sí | Sí | Sí | No | Sí | No | No | Sí | No | Sí | No | Sí | No | 50-60 A F |
| GV | 45 - 80 | No | Sí | No | Sí | Sí | Sí | No | Sí | Sí | No | Sí | No | No | Sí | No | No | No | Sí | No | 70-75 A |

Anexo H. Especificaciones Generales del Motor TIGMAX GX-390

| Modelo | GX-390 |
|--|--|
| Tipo | OHV, inclinación, monocilíndrico, 4 tiempos, refrigerado por aire forzado, motor de gasolina |
| Potencia Máxima (Kw/Hp) | 9,7/13 |
| Potencia Neta de salida Hp (Kw/rpm) | 11,3 (8,3/3000) |
| Torque máximo (N-m/rpm) | 26,5/2500 |
| Rango de rpm Rango de rpm para pruebas | 0/4600 2500/4500 |
| Consumo de Combustible (gr/Kw-h) | <=370 |
| Consumo de aceite (g / Kw * h) | <=6.8 |
| Fluctuación de velocidad Razón | 10% |
| Diámetro Carrera (mm) | 88*64 |
| Cilindrada (c.c.) | 389 |
| Relación de compresión | 8:1 |
| Tipo de lubricación | Salpicadura |
| Tipo de encendido - Diámetro eje de salida | Manual/Arranque Electrónico - 1 pulgada |
| Combustible / Aceite Lubricante | 90# Gasolina/SAE10W-30 |
| Rotación | Horario |
| Juego de Válvulas | Válvula de entrada 0.10-0.15mm/ Válvula de salida 0,15-0.20mm |
| Separación de electrodo de bujía | 0.6-0.8mm |
| Sistema de encendido | Transistor Eléctrico |
| Filtro de Aire | Semi seco, Baño de aceite o filtro de espuma. |
| Dimensiones (mm) (W * L * H) | 450 * 405 * 443 |
| Peso neto (kg) | 31 |

Anexo I. Cálculos Freno Pronny

- 1) Ø Polea: se asume un diámetro de polea de 28 cm, por consideraciones geométricas y de espacio para el montaje del freno. El material usado para la construcción de la polea es Fundición Gris.
- 2) Banda: ancho de la banda
- 3) Dinamómetros: fuerzas F1 y F2.
- 4) Par del motor:
- 5) Par de frenado: se hace la medición hasta que la velocidad sea equivalente a cero "0"
- 6) μ : coeficiente de fricción
- 7) α .Angulo de abrace

$$2) T_f = b * R^2 * p_{max} (1 - e^{-\mu * \alpha})$$

$$T_f = 26,5 N - m \cong 234,54 Lbf - in \gg \text{catalogo motor}$$

$$b = \text{ancho de la banda}$$

$$R^2 = (14 \text{ cm})^2 \cong (5,51181 \text{ in})^2 = 30,38 \text{ in} \gg \text{radio polea}$$

$$p_{max} = \text{presion de contacto maxima } 100 \text{ psi para condiciones de diseño}$$

$$\mu = 0,31 \gg \text{tabla libro}$$

$$\alpha = 180^\circ \cong \pi \gg \text{geometria del montaje}$$

$$234,54 = b * 30,38 * 100 * (1 - e^{-0,31 * \pi})$$

$$b = \frac{234,54}{1890,824} = 0,1240 \text{ in} = 0,31 \text{ cm}$$

- 3). Fuerzas F1 y F2 parámetros para selección de dinamómetros

$$T_f = R * (F_1 - F_2)$$

$$\frac{F_1}{F_2} = e^{\mu * \alpha} \gg F_1 = e^{\mu * \alpha} * F_2$$

$$T_f = R * ((e^{\mu*\alpha} * F_2) - F_2) \gg R * F_2 * (e^{\mu*\alpha} - 1)$$

$$F_2 = \frac{T_f}{(e^{\mu*\alpha} - 1) * R} = \frac{234,54}{(2,648 - 1) * 5,51181}$$

$$F_2 = 25,8168 \text{ Lbf} = 114,8385 \text{ N} = 11,71 \text{ Kgf}$$

$$T_f = R * (F_1 - F_2)$$

$$F_1 = \frac{T_f}{R} + F_2 = \frac{234,54}{5,51181} + 25,8168$$

$$F_1 = 68,3690 \text{ Lbf} = 304,1193 \text{ N} = 31 \text{ Kgf}$$

Anexo J. Especificaciones Anemómetro Erasmus EA-200



Información del Producto

- ✓ Sensible y exacto (fricción ultra baja)
- ✓ Diseño ergonómico y de fácil uso.
- ✓ Lectura mientras mide.
- ✓ Dígitos largos de LCD.
- ✓ Bajo consumo de energía.

| ESPECIFICACIONES | | | |
|------------------|-------------|------------|------------------|
| Unidades | Rango | Resolución | Precisión básica |
| m/s | 0.0 -45.0 | 0.1 | 0,03 |
| knots | 0.0- 88.0 | 0.1 | 3% |
| Km/h | 0.0- 140.0 | 0.1 | 0,03 |
| Temperatura °C | 0-60.0 | 0.1 | 80% |
| Temperatura °F | 32.0 -140.0 | 0.1 | 1.5 |

No Stock: 39

Anexo K. Especificaciones de la Báscula Lexus Mix-A



| CARACTERISTICAS | |
|---------------------------------|---|
| Plato rectangular | Acero inoxidable de 18,5 x 14 cm |
| Display | Cristal liquido (LCD) retroiluminado de alta visibilidad |
| Alimentación | Adaptador AC/DC |
| Duración de la batería | 60 horas de autonomía |
| Unidades de peso | g, ct, oz, gn, ozt, dwt o t |
| Funciones | <ul style="list-style-type: none"> • Sistema de tara para descontar recipiente • Función de alarma de peso • Función de conteo por muestra • Calibración y programación por teclado |
| Fabricación | Fabricada en ABS de alta resistencia |
| Voltaje | Voltaje de carga 110 VAC/ 60 Hz |
| Temperatura de operación | 0 °C a 40 °C |
| Humedad relativa | Hasta 85%, no condensada |
| Capacidades disponibles | Max 300 g – Min 2 g – d 0,1 g – e 1 g |

Anexo L. Especificaciones Tacómetro Óptico Lutron DT -2236

DT-2236 Digital Photo/Contact Tachometer

- Photo (RPM)/ Contact (RPM, m/min., ft/min) Tachometer.
- Wide measuring range from 0.5 to 100,000 RPM.
- Resolution of 0.1 RPM for the measured value < 1000 RPM.
- High precision with 0.05% accuracy.
- The last value, max. /min. value will be stored into the memory automatically & can be obtained by pressing MEMORY CALL button.
- High visible LCD display.
- This tachometer used the exclusive one chip MICRO-COMPUTER LSI circuit & crystal time base; offer the high accurate measurement & fast sampling time.
- Uses long lasting components, strong, lightweight ABS plastic housing.

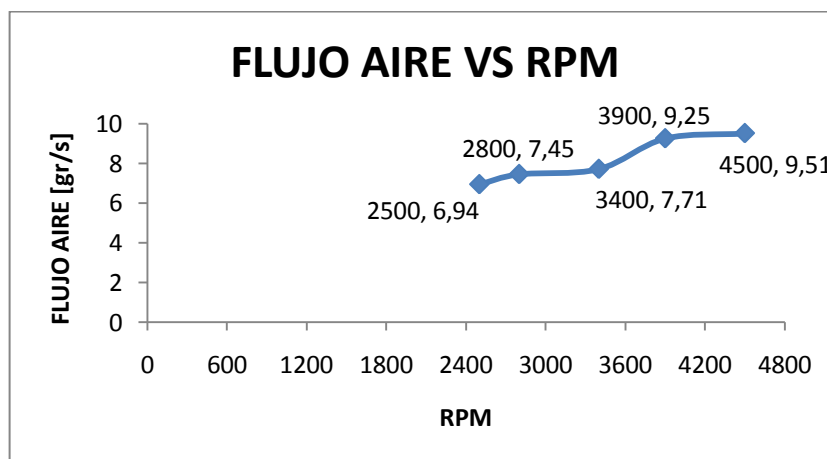


| CARACTERISTICAS | |
|--|--|
| Modos | Contacto / Óptico Contacto Rango: 0,5 a 20000 rpm, autorrango Óptico Rango: 5 a 100000 rpm; autorrango |
| Medida de velocidad en superficie | Rango: 0.05 a 2,000 m/min Display: 5 dígitos, 1cm LCD Resolución: 0.1 rpm, 0.1ft/min, 0.01m/min Exactitud: +-0.05% +- 1 dígito Distancia Óptica de Detección: 6-15cm, max 30cm Tasa de muestro: 1 seg Memoria: de último valor, min y max Tamaño: 8.5" x 2.6" x 1.5" / 215 x 65 x 38 mm Peso: 300gramos Alimentación: 4 pilas AA de 1.5 Volts |

Anexo M. Datos Flujo Másico de Aire

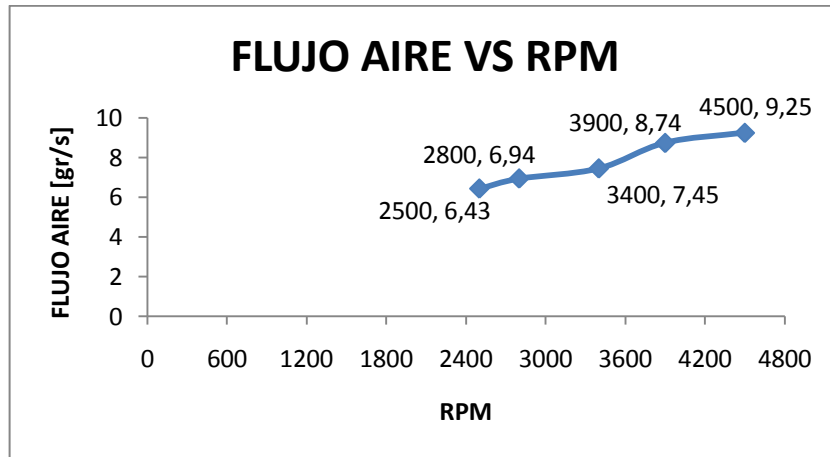
PRUEBA 1

| PRUEBAS | RPM | FLUJO MASICO DE AIRE \dot{m}_a [gr/s] | | | | |
|---------|------|--|------------------------|-----------------|--------------------------------------|--------------------|
| | | Velocidad Aire [m/s] | Área [m ²] | Temperatura [K] | Densidad ρ [Kg/m ³] | \dot{m}_a [gr/s] |
| 1 | 4500 | 3,7 | $2,124 \times 10^{-3}$ | 297,5 | 1,21 | 9,51 |
| 2 | 3900 | 3,6 | $2,124 \times 10^{-3}$ | 298,4 | 1,21 | 9,25 |
| 3 | 3400 | 3,0 | $2,124 \times 10^{-3}$ | 299,1 | 1,21 | 7,71 |
| 4 | 2800 | 2,9 | $2,124 \times 10^{-3}$ | 298,8 | 1,21 | 7,45 |
| 5 | 2500 | 2,7 | $2,124 \times 10^{-3}$ | 297,6 | 1,21 | 6,94 |



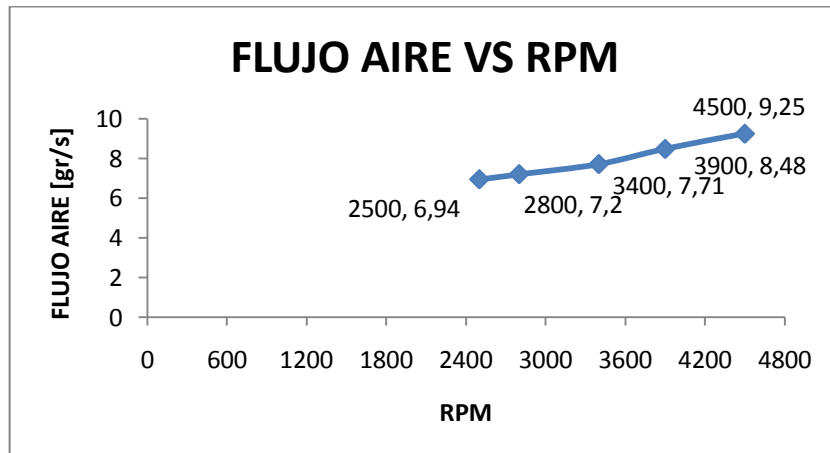
PRUEBA 2

| PRUEBAS | RPM | FLUJO MASA DE AIRE \dot{m}_a [gr/s] | | | | |
|---------|------|--|------------------------|-----------------|--------------------------------------|--------------------|
| | | Velocidad Aire [m/s] | Área [m ²] | Temperatura [K] | Densidad ρ [Kg/m ³] | \dot{m}_a [gr/s] |
| 1 | 4500 | 3,6 | $2,124 \times 10^{-3}$ | 297,1 | 1,22 | 9,25 |
| 2 | 3900 | 3,4 | $2,124 \times 10^{-3}$ | 297,6 | 1,21 | 8,74 |
| 3 | 3400 | 2,9 | $2,124 \times 10^{-3}$ | 298,8 | 1,21 | 7,45 |
| 4 | 2800 | 2,7 | $2,124 \times 10^{-3}$ | 298,9 | 1,21 | 6,94 |
| 5 | 2500 | 2,5 | $2,124 \times 10^{-3}$ | 298,1 | 1,21 | 6,43 |



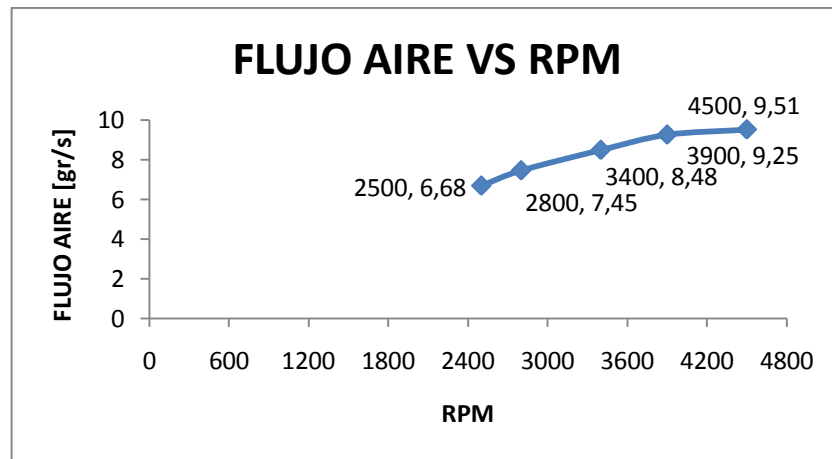
PRUEBA 3

| PRUEBAS | RPM | FLUJO MASA DE AIRE \dot{m}_a [gr/s] | | | | |
|---------|------|--|------------------------|-----------------|--------------------------------------|--------------------|
| | | Velocidad Aire [m/s] | Área [m ²] | Temperatura [K] | Densidad ρ [Kg/m ³] | \dot{m}_a [gr/s] |
| 1 | 4500 | 3,6 | $2,124 \times 10^{-3}$ | 297,5 | 1,21 | 9,25 |
| 2 | 3900 | 3,3 | $2,124 \times 10^{-3}$ | 297,8 | 1,21 | 8,48 |
| 3 | 3400 | 3 | $2,124 \times 10^{-3}$ | 299,1 | 1,21 | 7,71 |
| 4 | 2800 | 2,8 | $2,124 \times 10^{-3}$ | 298,6 | 1,21 | 7,20 |
| 5 | 2500 | 2,7 | $2,124 \times 10^{-3}$ | 297,8 | 1,21 | 6,94 |



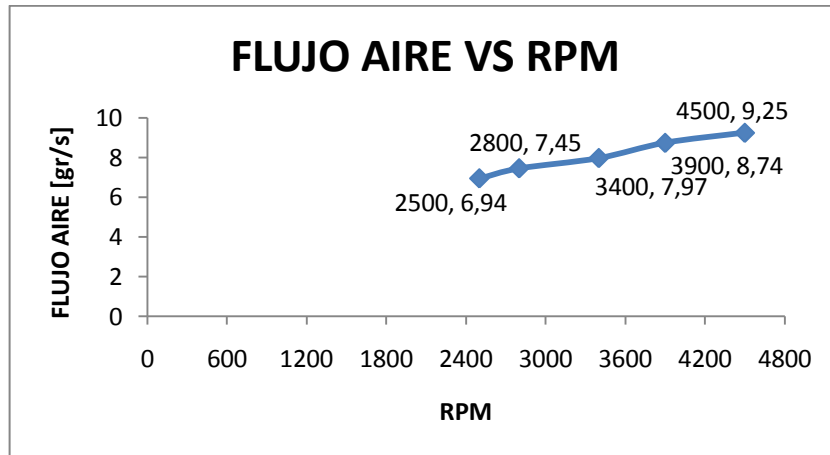
PRUEBA 4

| PRUEBAS | RPM | FLUJO MASA DE AIRE \dot{m}_a [gr/s] | | | | |
|---------|------|--|------------------------|-----------------|--------------------------------------|--------------------|
| | | Velocidad Aire [m/s] | Área [m ²] | Temperatura [K] | Densidad ρ [Kg/m ³] | \dot{m}_a [gr/s] |
| 1 | 4500 | 3,7 | $2,124 \times 10^{-3}$ | 297 | 1,22 | 9,51 |
| 2 | 3900 | 3,6 | $2,124 \times 10^{-3}$ | 298,2 | 1,21 | 9,25 |
| 3 | 3400 | 3,2 | $2,124 \times 10^{-3}$ | 299,3 | 1,21 | 8,48 |
| 4 | 2800 | 2,9 | $2,124 \times 10^{-3}$ | 298,4 | 1,21 | 7,45 |
| 5 | 2500 | 2,6 | $2,124 \times 10^{-3}$ | 297,6 | 1,21 | 6,68 |



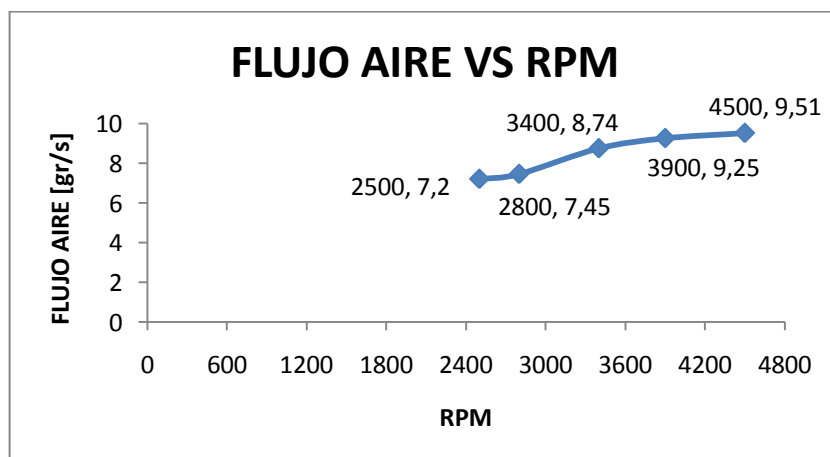
PRUEBA 5

| PRUEBAS | RPM | FLUJO MASA DE AIRE \dot{m}_a [gr/s] | | | | |
|---------|------|--|------------------------|-----------------|--------------------------------------|--------------------|
| | | Velocidad Aire [m/s] | Área [m ²] | Temperatura [K] | Densidad ρ [Kg/m ³] | \dot{m}_a [gr/s] |
| 1 | 4500 | 3,6 | $2,124 \times 10^{-3}$ | 297,5 | 1,21 | 9,25 |
| 2 | 3900 | 3,4 | $2,124 \times 10^{-3}$ | 297,8 | 1,21 | 8,74 |
| 3 | 3400 | 3,1 | $2,124 \times 10^{-3}$ | 298,7 | 1,21 | 7,97 |
| 4 | 2800 | 2,9 | $2,124 \times 10^{-3}$ | 298,5 | 1,21 | 7,45 |
| 5 | 2500 | 2,7 | $2,124 \times 10^{-3}$ | 298 | 1,21 | 6,94 |



PRUEBA 6

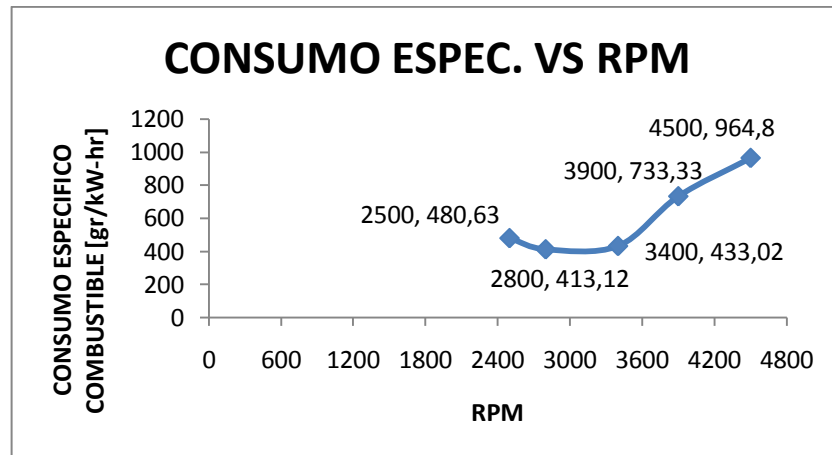
| PRUEBAS | RPM | FLUJO MASA DE AIRE \dot{m}_a [gr/s] | | | | |
|---------|------|--|------------------------|-----------------|--------------------------------------|--------------------|
| | | Velocidad Aire [m/s] | Área [m ²] | Temperatura [K] | Densidad ρ [Kg/m ³] | \dot{m}_a [gr/s] |
| 1 | 4500 | 3,7 | $2,124 \times 10^{-3}$ | 297,3 | 1,22 | 9,51 |
| 2 | 3900 | 3,6 | $2,124 \times 10^{-3}$ | 298,3 | 1,21 | 9,25 |
| 3 | 3400 | 3,4 | $2,124 \times 10^{-3}$ | 298,8 | 1,21 | 8,74 |
| 4 | 2800 | 2,9 | $2,124 \times 10^{-3}$ | 298,6 | 1,21 | 7,45 |
| 5 | 2500 | 2,8 | $2,124 \times 10^{-3}$ | 297,4 | 1,22 | 7,20 |



Anexo N. Datos Consumo Específico de Combustible

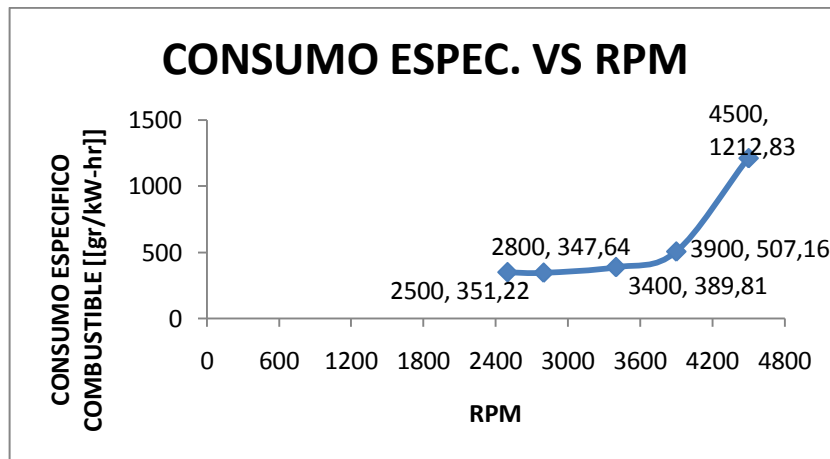
PRUEBA 1

| PRUEBAS | RPM | FLUJO MASA COMBUSTIBLE \dot{m}_f [gr/s] | | | | | CONSUMO ESPECIFICO DE COMBUSTIBLE SFC [gr/Kw-hr] |
|---------|------|--|-----------|-----------|------------|--------------------|--|
| | | Peso [gr] | | | Tiempo [s] | \dot{m}_f [gr/s] | |
| | | P_{ini} | P_{fin} | P_{tot} | | | |
| 1 | 4500 | 715,4 | 675 | 40,4 | 60 | 0,67 | 964,8 |
| 2 | 3900 | 688,7 | 649,2 | 39,5 | 60 | 0,66 | 733,33 |
| 3 | 3400 | 1107,4 | 1079,8 | 30,6 | 60 | 0,51 | 433,02 |
| 4 | 2800 | 848,6 | 819,4 | 29,2 | 60 | 0,49 | 413,12 |
| 5 | 2500 | 751,8 | 721,3 | 30,5 | 60 | 0,51 | 480,63 |



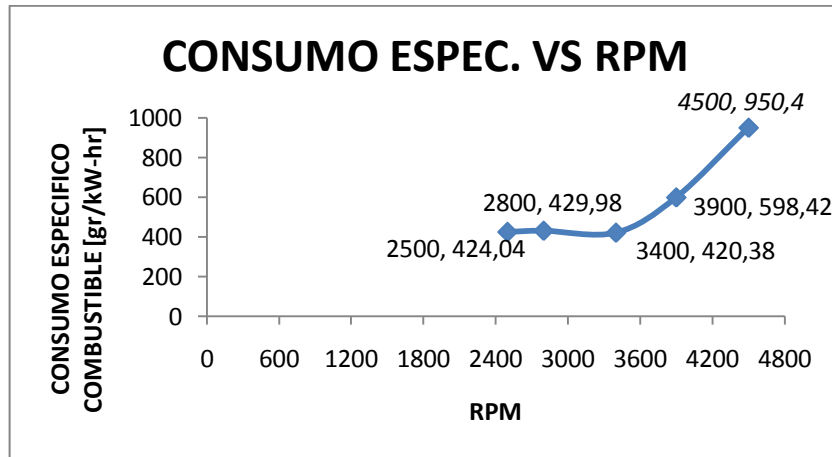
PRUEBA 2

| PRUEBAS | RPM | FLUJO MASA COMBUSTIBLE \dot{m}_f [gr/s] | | | | | CONSUMO ESPECIFICO DE COMBUSTIBLE SFC [gr/Kw-hr] |
|---------|------|--|-----------|-----------|------------|--------------------|--|
| | | Peso [gr] | | | Tiempo [s] | \dot{m}_f [gr/s] | |
| | | P_{ini} | P_{fin} | P_{tot} | | | |
| 1 | 4500 | 660,5 | 622,5 | 38 | 60 | 0,63 | 1212,83 |
| 2 | 3900 | 650,2 | 613,8 | 36,4 | 60 | 0,61 | 507,16 |
| 3 | 3400 | 1046,2 | 1015,8 | 30,4 | 60 | 0,51 | 389,81 |
| 4 | 2800 | 790,6 | 763,5 | 27,1 | 60 | 0,45 | 347,64 |
| 5 | 2500 | 695,4 | 668,9 | 26,5 | 60 | 0,44 | 351,22 |



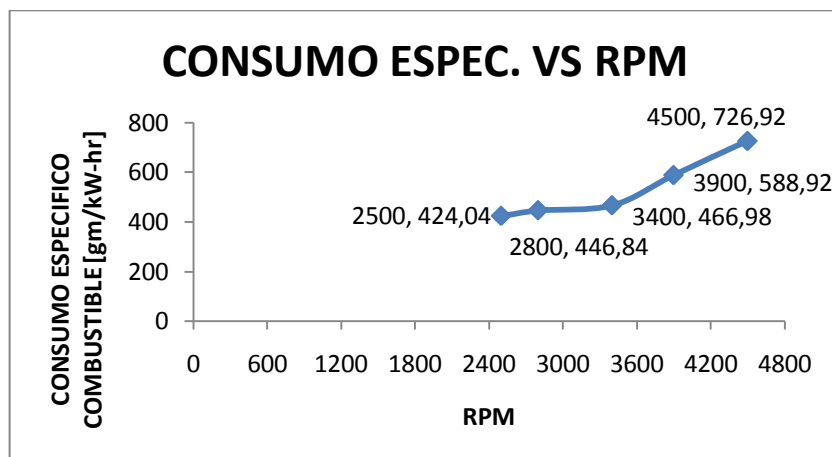
PRUEBA 3

| PRUEBAS | RPM | FLUJO MASA COMBUSTIBLE \dot{m}_f [gr/s] | | | | | CONSUMO ESPECIFICO DE COMBUSTIBLE SFC [gr/Kw-hr] |
|---------|------|--|-----------|-----------|------------|--------------------|--|
| | | Peso [gr] | | | Tiempo [s] | \dot{m}_f [gr/s] | |
| | | P_{ini} | P_{fin} | P_{tot} | | | |
| 1 | 4500 | 610,1 | 570,2 | 39,3 | 60 | 0,66 | 950,4 |
| 2 | 3900 | 613,4 | 575,7 | 37,7 | 60 | 0,63 | 598,42 |
| 3 | 3400 | 990,3 | 957,6 | 32,7 | 60 | 0,55 | 420,38 |
| 4 | 2800 | 748,9 | 718,1 | 30,8 | 60 | 0,51 | 429,98 |
| 5 | 2500 | 650,7 | 621,3 | 29,4 | 60 | 0,49 | 424,04 |



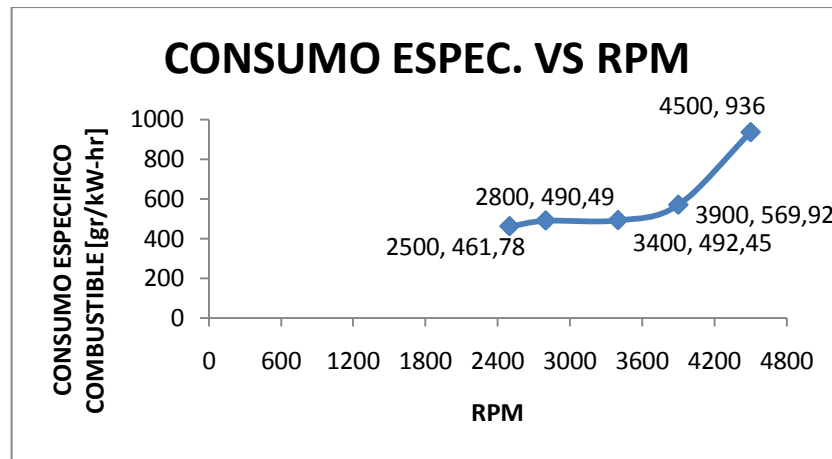
PRUEBA 4

| PRUEBAS | RPM | FLUJO MASA COMBUSTIBLE \dot{m}_f [gr/s] | | | | | CONSUMO ESPECIFICO DE COMBUSTIBLE SFC [gr/Kw-hr] |
|---------|------|--|-----------|-----------|------------|--------------------|--|
| | | Peso [gr] | | | Tiempo [s] | \dot{m}_f [gr/s] | |
| | | P_{ini} | P_{fin} | P_{tot} | | | |
| 1 | 4500 | 550,6 | 512,2 | 38 | 60 | 0,63 | 726,92 |
| 2 | 3900 | 590,4 | 553,3 | 37,1 | 60 | 0,62 | 588,92 |
| 3 | 3400 | 943,5 | 910,3 | 33,2 | 60 | 0,55 | 466,98 |
| 4 | 2800 | 695,2 | 663,4 | 31,8 | 60 | 0,53 | 446,84 |
| 5 | 2500 | 584,6 | 555,2 | 29,4 | 60 | 0,49 | 424,04 |



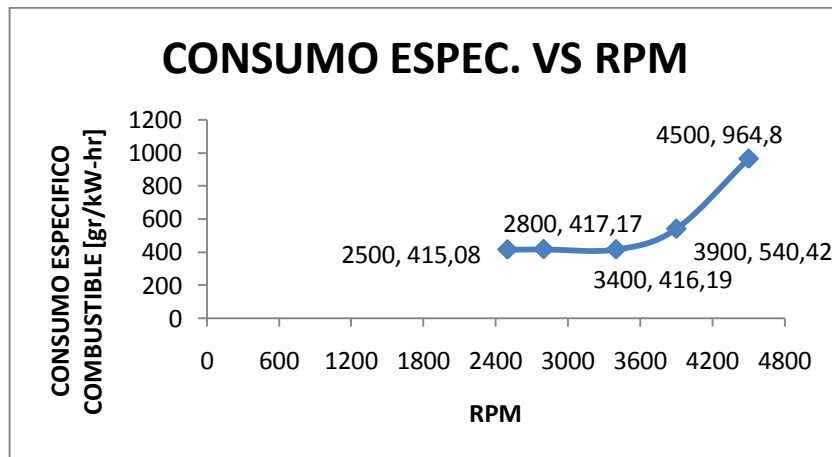
PRUEBA 5

| PRUEBAS | RPM | FLUJO MASA COMBUSTIBLE \dot{m}_f [gr/s] | | | | | CONSUMO ESPECIFICO DE COMBUSTIBLE SFC [gr/Kw-hr] |
|---------|------|--|-----------|-----------|------------|--------------------|--|
| | | Peso [gr] | | | Tiempo [s] | \dot{m}_f [gr/s] | |
| | | P_{ini} | P_{fin} | P_{tot} | | | |
| 1 | 4500 | 495,3 | 456,4 | 38,9 | 60 | 0,65 | 936 |
| 2 | 3900 | 555,4 | 519,7 | 35,7 | 60 | 0,60 | 569,92 |
| 3 | 3400 | 904,2 | 869,4 | 34,8 | 60 | 0,58 | 492,45 |
| 4 | 2800 | 641,3 | 609,6 | 31,7 | 60 | 0,53 | 490,49 |
| 5 | 2500 | 527,1 | 497,5 | 29,6 | 60 | 0,49 | 461,78 |



PRUEBA 6

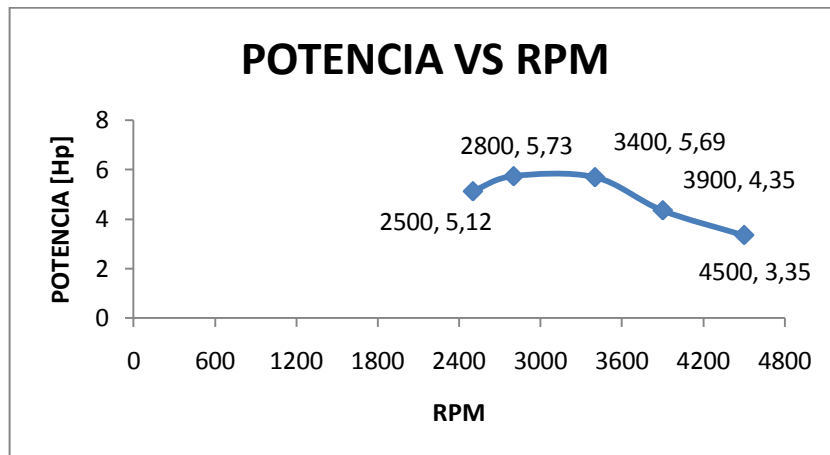
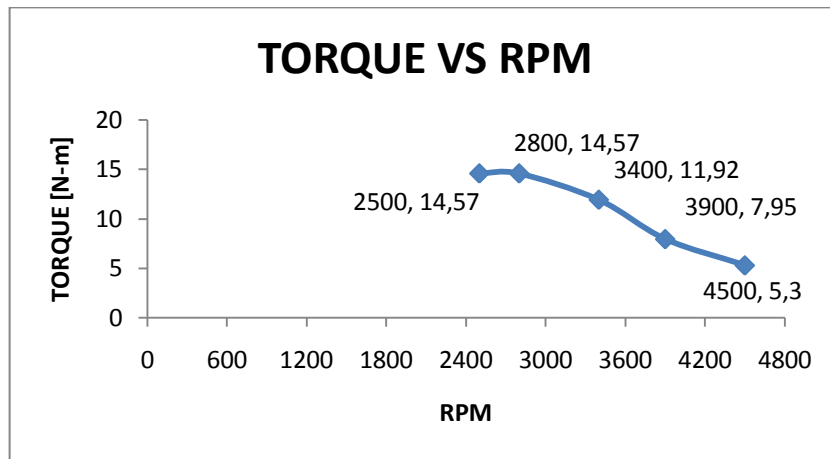
| PRUEBAS | RPM | FLUJO MASA COMBUSTIBLE \dot{m}_f [gr/s] | | | | | CONSUMO ESPECIFICO DE COMBUSTIBLE SFC [gm/Kw-hr] |
|---------|------|--|-----------|-----------|------------|--------------------|--|
| | | Peso [gr] | | | Tiempo [s] | \dot{m}_f [gr/s] | |
| | | P_{ini} | P_{fin} | P_{tot} | | | |
| 1 | 4500 | 864,6 | 824,3 | 40,3 | 60 | 0,67 | 964,8 |
| 2 | 3900 | 788,5 | 749,8 | 38,7 | 60 | 0,65 | 540,42 |
| 3 | 3400 | 725 | 672,1 | 35,9 | 60 | 0,60 | 416,19 |
| 4 | 2800 | 637,3 | 604,7 | 32,6 | 60 | 0,54 | 417,17 |
| 5 | 2500 | 573,2 | 542,1 | 31,1 | 60 | 0,52 | 415,08 |



Anexo O. Datos Torque y Potencia

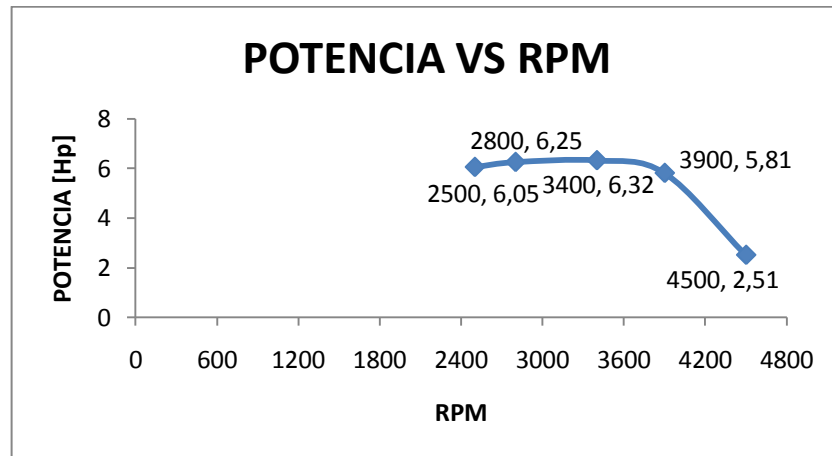
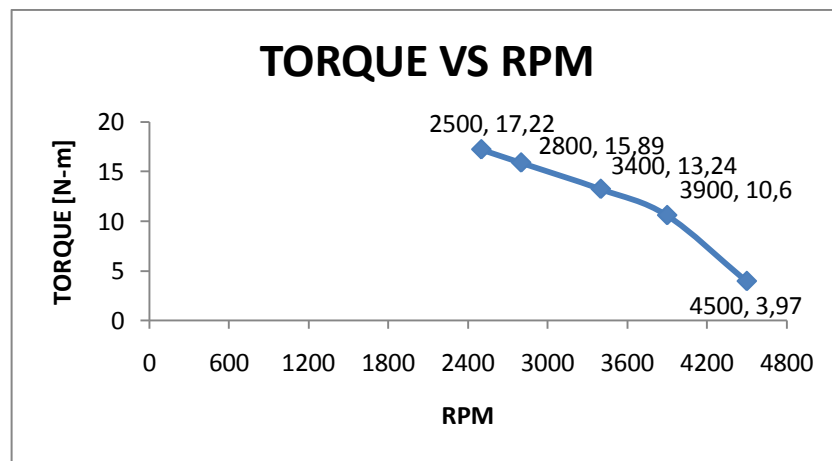
PRUEBA 1

| PRUEBAS | RPM | TORQUE [N-m] | | | POTENCIA [Hp(Kw)] |
|---------|------|----------------|----------------|--------------|-------------------|
| | | P_{may} [Kg] | P_{men} [Kg] | Torque [N-m] | |
| 1 | 4500 | 13 | 9 | 5,30 | 3,35(2,50) |
| 2 | 3900 | 21 | 15 | 7,95 | 4,35(3,24) |
| 3 | 3400 | 25 | 16 | 11,92 | 5,69(4,24) |
| 4 | 2800 | 29 | 18 | 14,57 | 5,73(4,27) |
| 5 | 2500 | 30 | 19 | 14,57 | 5,12(3,82) |



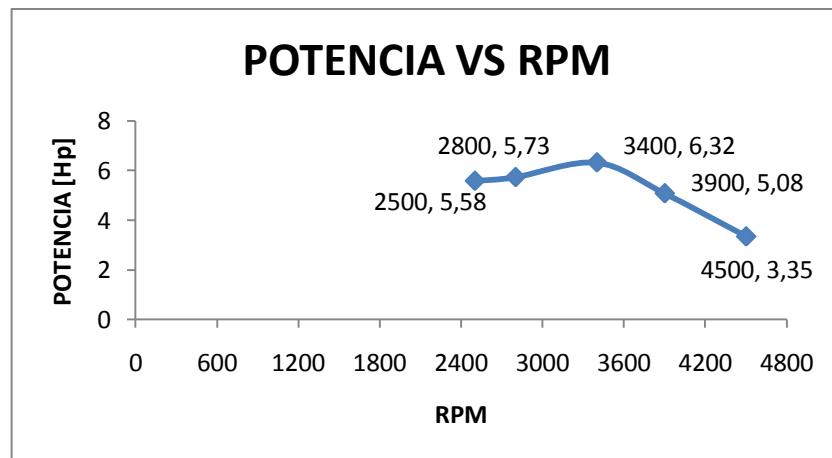
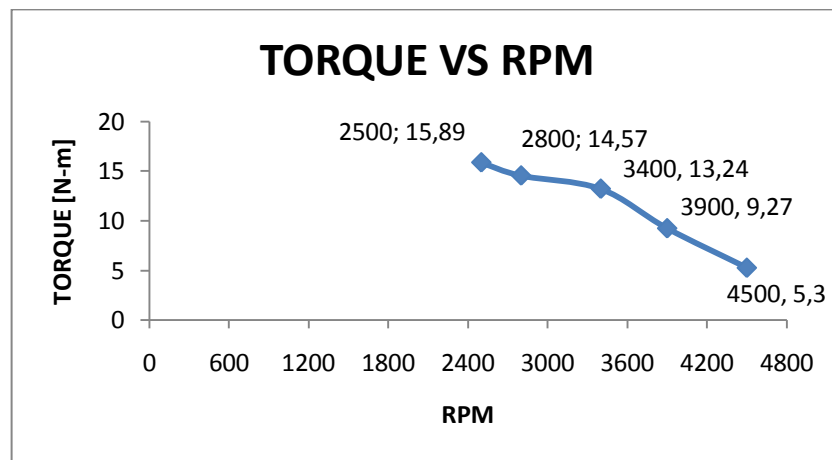
PRUEBA 2

| PRUEBAS | RPM | TORQUE [N-m] | | | POTENCIA [Hp(Kw)] |
|---------|------|----------------|----------------|--------------|-------------------|
| | | P_{may} [Kg] | P_{men} [Kg] | Torque [N-m] | |
| 1 | 4500 | 11 | 8 | 3,97 | 2,51(1,87) |
| 2 | 3900 | 22 | 14 | 10,60 | 5,81(4,33) |
| 3 | 3400 | 25 | 15 | 13,24 | 6,32(4,71) |
| 4 | 2800 | 28 | 16 | 15,89 | 6,25(4,66) |
| 5 | 2500 | 30 | 17 | 17,22 | 6,05(4,51) |



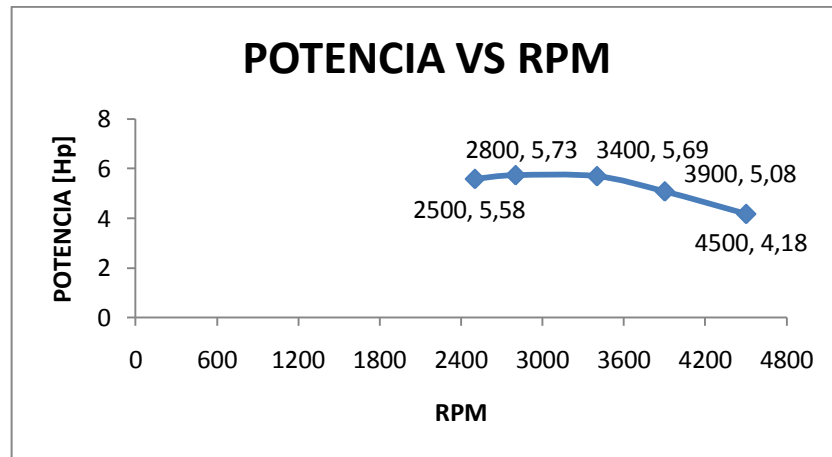
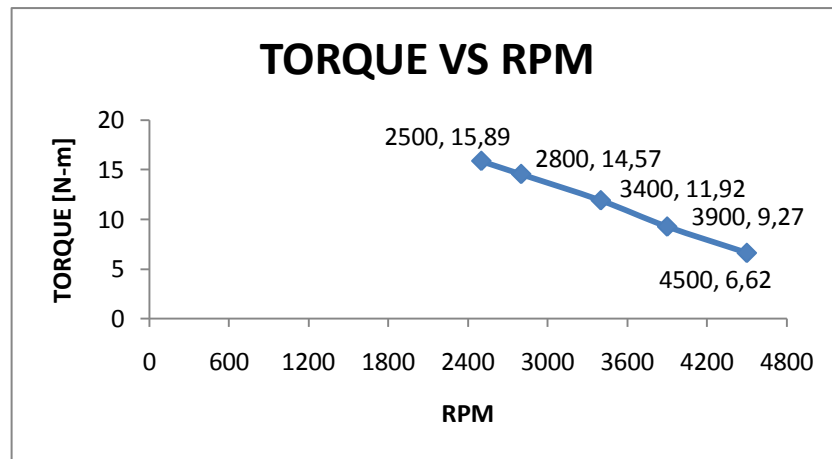
PRUEBA 3

| PRUEBAS | RPM | TORQUE [N-m] | | | POTENCIA [Hp] |
|---------|------|----------------|----------------|--------------|---------------|
| | | P_{may} [Kg] | P_{men} [Kg] | Torque [N-m] | |
| 1 | 4500 | 12 | 8 | 5,30 | 3,35(2,50) |
| 2 | 3900 | 21 | 14 | 9,27 | 5,08(3,79) |
| 3 | 3400 | 26 | 16 | 13,24 | 6,32(4,71) |
| 4 | 2800 | 28 | 17 | 14,57 | 5,73(4,27) |
| 5 | 2500 | 30 | 18 | 15,89 | 5,58(4,16) |



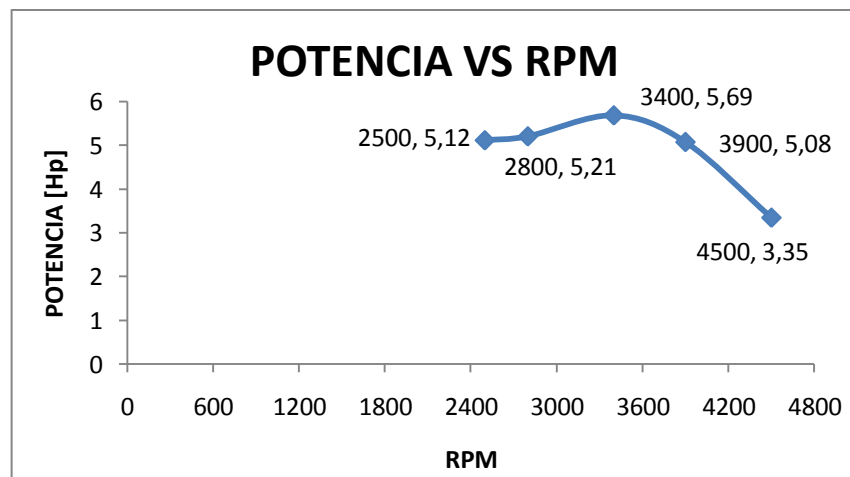
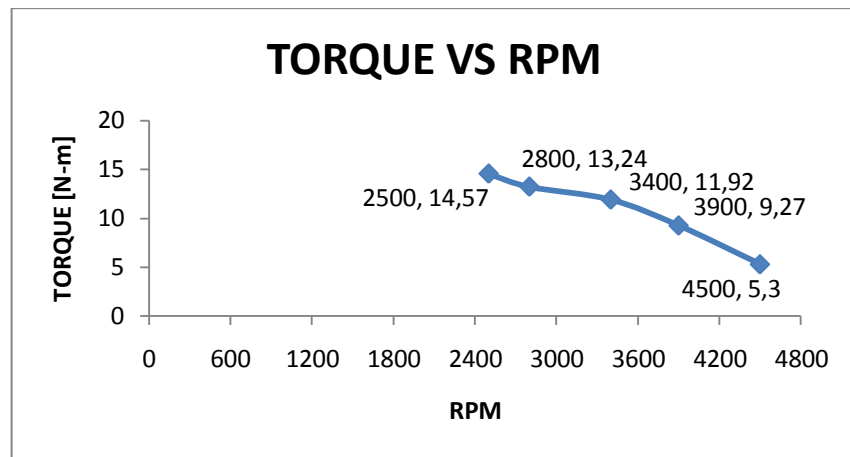
PRUEBA 4

| PRUEBAS | RPM | TORQUE [N-m] | | | POTENCIA [Hp] |
|---------|------|----------------|----------------|--------------|---------------|
| | | P_{may} [Kg] | P_{men} [Kg] | Torque [N-m] | |
| 1 | 4500 | 13 | 8 | 6,62 | 4,18(3,12) |
| 2 | 3900 | 22 | 15 | 9,27 | 5,08(3,79) |
| 3 | 3400 | 25 | 16 | 11,92 | 5,69(4,24) |
| 4 | 2800 | 28 | 17 | 14,57 | 5,73(4,27) |
| 5 | 2500 | 30 | 18 | 15,89 | 5,58(4,16) |



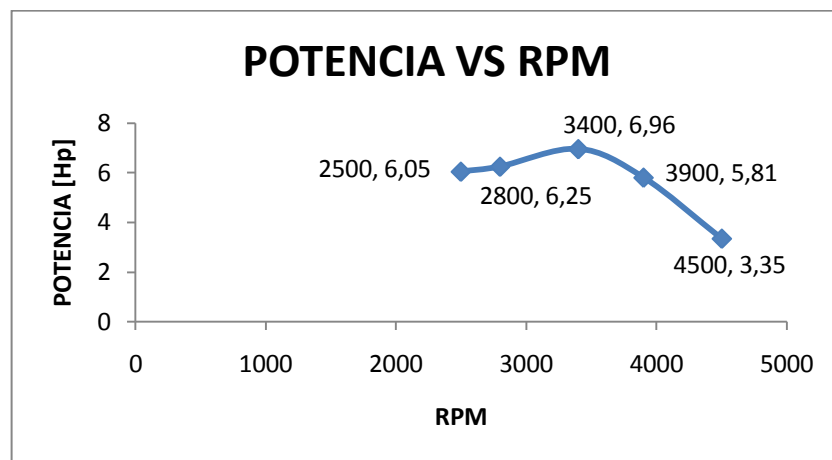
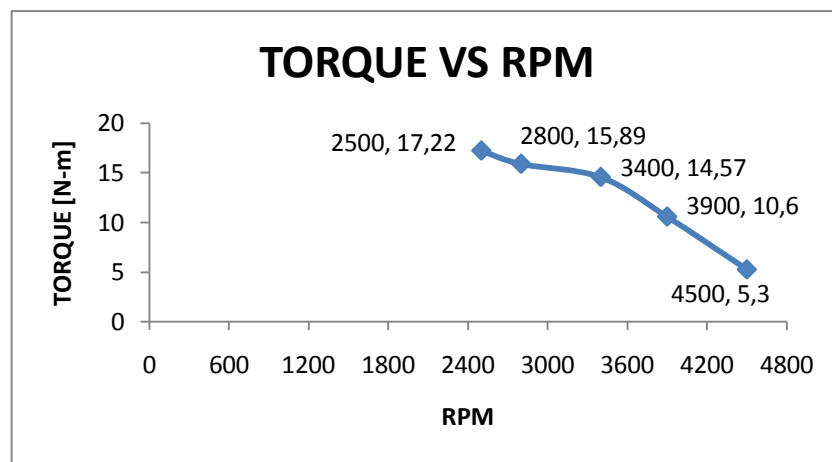
PRUEBA 5

| PRUEBAS | RPM | TORQUE [N-m] | | | POTENCIA [Hp] |
|---------|------|----------------|----------------|--------------|---------------|
| | | P_{may} [Kg] | P_{men} [Kg] | Torque [N-m] | |
| 1 | 4500 | 12 | 8 | 5,30 | 3,35(2,50) |
| 2 | 3900 | 22 | 15 | 9,27 | 5,08(3,79) |
| 3 | 3400 | 25 | 16 | 11,92 | 5,69(4,24) |
| 4 | 2800 | 27 | 17 | 13,24 | 5,21(3,89) |
| 5 | 2500 | 29 | 18 | 14,57 | 5,12(3,82) |

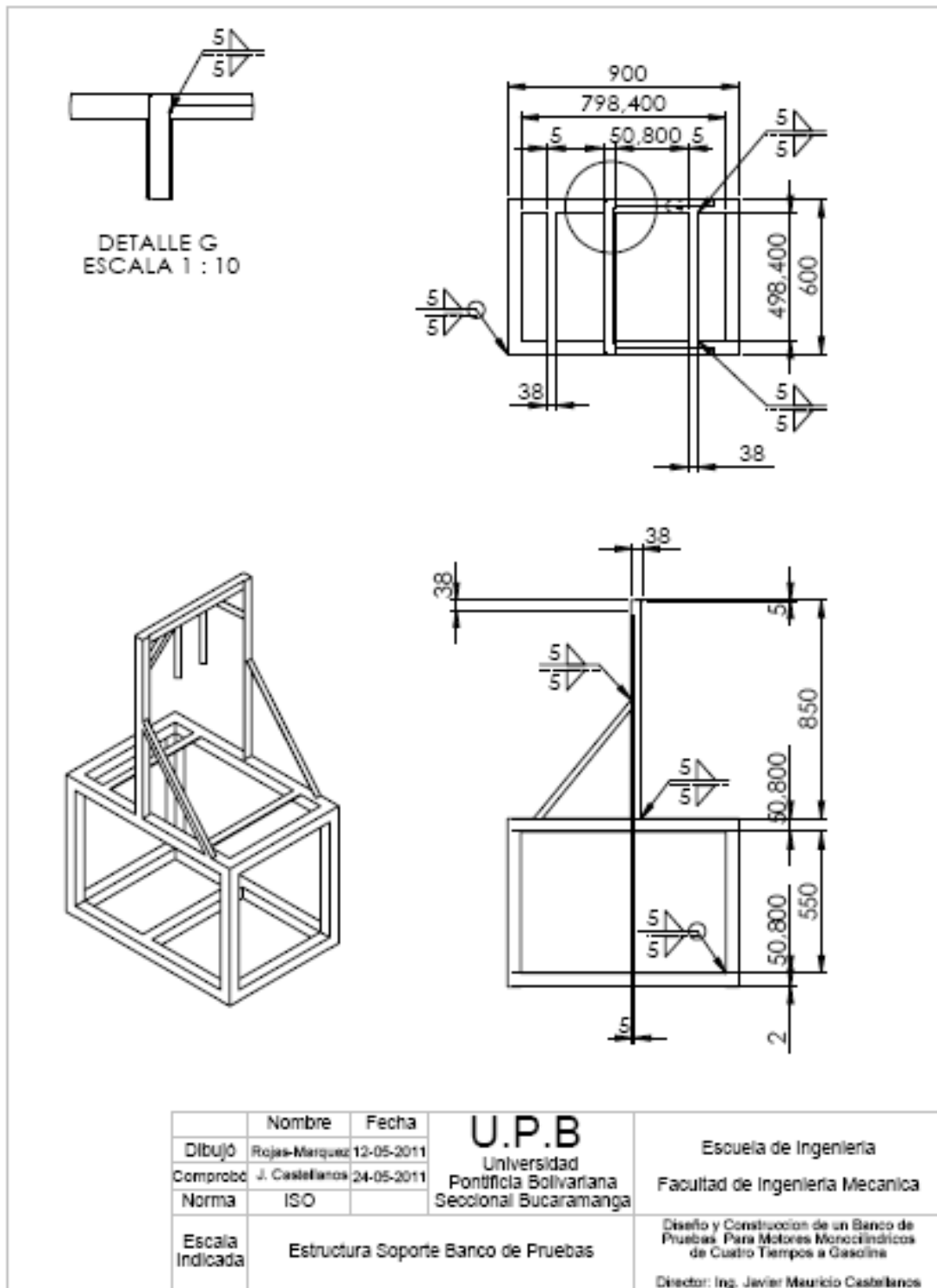


PRUEBA 6

| PRUEBAS | RPM | TORQUE [N-m] | | | POTENCIA [Hp] |
|---------|------|----------------|----------------|--------------|---------------|
| | | P_{may} [Kg] | P_{men} [Kg] | Torque [N-m] | |
| 1 | 4500 | 13 | 9 | 5,30, | 3,35(2,50) |
| 2 | 3900 | 22 | 14 | 10,60 | 5,81(4,33) |
| 3 | 3400 | 26 | 15 | 14,57 | 6,96(5,19) |
| 4 | 2800 | 29 | 17 | 15,89 | 6,25(4,66) |
| 5 | 2500 | 31 | 18 | 17,22 | 6,05(4,51) |



Anexo P. Estructura Soporte Banco de Pruebas



Anexo Q. Práctica de laboratorio del banco de pruebas de un motor a gasolina monocilíndrico

Caracterización de un banco de pruebas para motores a gasolina de 4 tiempos monocilíndrico de 13 hp.

| LABORATORIO DE MOTORES DE COMBUSTION INTERNA | | |
|---|---|---|
| PRACTICA N. 1 | CARACTERIZACION DE UN MOTOR A GASOLINA MONOCILINDRICO DE 13 HP | REALIZÓ: FREDDY MARQUE B MILLER ROJAS T. |
| | | REVISÓ: ING. JAVIER CASTELLANOS |

PRACTICA DE LABORATORIO DEL BANCO DE PRUEBAS DE UN MOTOR A GASOLINA MONOCILINDRICO

INTRODUCCION

Históricamente, el desarrollo de equipos de diagnóstico a motores de combustión interna ha sido fundamental para el crecimiento industrial, principalmente el de la industria vehicular.

En la presente introducción se hace mención a los diferentes sistemas de medición de variables en un motor, específicamente al sistema de consumo de aire, sistema de consumo de combustible, sistema cuenta revoluciones, y sistema de medición de torque y potencia. los diferentes sistemas de medición de variables son utilizados para el análisis de un motor de combustión interna; pues mediante ellos estos motores son sometidos a una larga serie de mediciones, alternadas con severas pruebas de durabilidad y de carga las cuales se repiten hasta alcanzar su óptimo desempeño y resultados previstos por el constructor.

Las correcciones y caracterización que se pueden generar a un motor de combustión interna se efectúan en vivo usando el banco de pruebas.

Finalmente se documentan los ensayos realizados a los diferentes sistemas de medición y se hacen las respectivas curvas para ser comparadas con las curvas teóricas.

OBJETIVOS

- Determinar el torque de frenado a distintas velocidades de giro, utilizando un sistema de freno dinamométrico y graficar la curva característica del torque en función del régimen de giro (rpm).
- Determinar indirectamente la potencia del motor a distintas velocidades de giro a partir de la medición de torque y velocidad angular, y con los datos obtenidos graficar la curva característica de potencia en función del régimen de giro (rpm).
- Determinar el consumo de aire del motor, a distintas velocidades de giro y obtener su curva característica.
- Determinar el consumo de combustible específico del motor, a distintas velocidades de giro y obtener su curva característica en función del régimen de giro (rpm).

PROCEDIMIENTO

Inicialmente hay que verificar el nivel de los líquidos del motor (aceite y gasolina), verificar que cada uno de los sistemas de medición estén aptos y con su instrumentación completa, posteriormente se enciende el motor para la eliminación de gases acumulados y calentamiento en si para un mejor desempeño, después de un minuto de estar encendido el motor hay que verificar que la apertura de la mariposa del combustible este totalmente abierta e ir ajustando las rpm del motor, aplicándole carga al freno y ajustando las rpm observando el tacómetro óptico hasta llegar a 4500 rpm para comenzar con las pruebas a estudiar.

A continuación se detallan los procedimientos para la medición de cada una de las variables a medir.

MEDICIÓN DE CONSUMO DE AIRE

- Verificar las unidades de velocidad en [m/s], del termoanemometro y el cronometro en [s]
- Puesta en marcha del motor durante unos minutos para calentar, eliminar gases y residuos para una mejor lectura
- Aplicar carga al freno pronny ajustando el tacómetro en las rpm requeridas.
- Ubicar el termoanemometro en la caja para empezar a tomar lectura de la velocidad y la temperatura del aire durante un minuto

- Con ayuda del freno pronny, aplicándole carga se cambian las rpm para diferentes valores, tomando lecturas de temperatura y velocidad para cada una de ellas. Esta prueba se debe realizar 5 veces
- Llenado del formato de la toma de datos
- Repetir el procedimiento anterior en su totalidad, después de finalizada la primera corrida de toma de datos cada 4500, 3900, 3400, 2800 y 2500 rpm

Cálculos para hallar el consumo de aire

| Parámetro | Correlación |
|--|--|
| $\dot{m}_a = \text{flujo masico de aire [gr/s]}$ | $\dot{m}_a = V_{anem} * A * \rho$ Ec.1 Donde, $V_{anem} = \text{velocidad anemometro}$ $A = \text{area seccion transversal manguera} = 2,124 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ $\rho = \text{densidad aire} = 1210 \text{ gr/m}^3$ |

MEDICIÓN DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE

- Verificar las unidades de la bascula y el cronometro
- Puesta en marcha del motor durante unos minutos para calentar, eliminar gases y residuos para una mejor lectura
- Aplicar carga al freno pronny ajustando el tacómetro en las rpm requeridas
- ubicar los instrumentos de medición para empezar a tomar lectura de la báscula que es la cantidad inicial de combustible y pasado un minuto hacer la lectura de la cantidad final de combustible
- Con ayuda del freno pronny aplicándole carga se cambian las rpm para diferentes valores, tomando la lectura inicial de combustible y la lectura al transcurrir un minuto. Esta prueba se debe realizar 5 veces
- Llenado del formato de la toma de datos
- Repetir el procedimiento anterior en su totalidad, después de finalizada la Primera corrida de toma de datos cada 4500, 3900, 3400, 2800 y 2500 rpm.

Cálculos para hallar el Consumo Específico de Combustible

| Parámetro | Correlación |
|--|---|
| sfc = Consumo específico de combustible [gr/Kw-hr] | $sfc = \dot{m}_f / \dot{W} \quad \text{Ec.2}$ <p>Donde, \dot{m}_f = flujo másico de combustible $\left[\frac{gr}{s}\right]$ \dot{W} = potencia [Kw]</p> |
| \dot{m}_f = Flujo másico de combustibles [gr/s] | $\dot{m}_f = \frac{P_{in} - P_{fin}}{t} \quad \text{Ec.3}$ <p>Donde, P_{in} = peso de combustible inicial P_{fin} = peso de combustible final t = tiempo de prueba</p> |

MEDICION DEL TORQUE Y LA POTENCIA

- Ubicar los elementos para la medición (tacómetro y freno pronny)
- Conectar el sistema de medición (freno pronny)
- Puesta en marcha del motor
- Aplicar carga al freno hasta alcanzar 4500 rpm
- Hacer lectura de los dinamómetros
- Repetir 5 veces cada 4500, 3900, 3400, 2800 y 2500 rpm

Cálculos para hallar torque y potencia

| Parámetro | Correlación |
|----------------------------------|---|
| $\tau = \text{Torque [N - m]}$ | $\tau = (P_{may} - P_{men}) * R * g \quad \text{Ec.4}$ <p>Donde, $R = \text{radio polea} = 13.5 \text{ cm}$ $ = 0,135 \text{ m}$ $g = \text{gravedad} = 9.81 \text{ m/s}^2$</p> |
| $\dot{W} = \text{Potencia [Hp]}$ | $\dot{W} = 2 * \pi * N * \tau \quad \text{Ec.5}$ <p>Donde $N = \text{RPS} = \text{Revoluciones Por Segundo}$ $ = \text{RPM} / 60 \text{ s}$ $1 \text{ Kw} = 1,341 \text{ Hp}$</p> |

MEDICION DE LA VELOCIDAD DE OPERACIÓN DEL MOTOR

El procedimiento general para la medición de la velocidad de giro del motor es la siguiente:

- Ubicar los elementos (tacómetro) y freno pronny
- Encender el motor
- Acelerar el motor hasta que el tacómetro indique una velocidad de 4500 rpm
- Proporcionar carga al motor con el sistema de freno pronny hasta que la lectura en el tacómetro disminuya en el número de rpm requerida, con la mariposa del acelerador totalmente abierta
- Repetir los pasos 4 cada 4500, 3900, 3400, 2800 y 2500 rpm

FORMATOS PARA TOMA DE DATOS

a) Toma de datos

- Consumo de Aire

| PRUEBAS | RPM | FLUJO MASA DE AIRE \dot{m}_a [gr/s] | | | | |
|---------|------|--|---------------------------|--------------------|--|-----------------------|
| | | Velocidad Aire [m/s] | Área [m ²] | Temperatura [K] | Densidad ρ [Kg/m ³] | \dot{m}_a [gr/s] |
| 1 | 4500 | | $2,124 \times 10^{-3}$ | | 1,21 | |
| 2 | 3900 | | $2,124 \times 10^{-3}$ | | 1,21 | |
| 3 | 3400 | | $2,124 \times 10^{-3}$ | | 1,21 | |
| 4 | 2800 | | $2,124 \times 10^{-3}$ | | 1,21 | |
| 5 | 2500 | | $2,124 \times 10^{-3}$ | | 1,21 | |

- Consumo Especifico de Combustible

| PRUEBAS | RPM | FLUJO MASA COMBUSTIBLE \dot{m}_f [gm/s] | | | | | CONSUMO ESPECIFICO DE COMBUSTIBLE SFC [gr/Kw-hr] |
|---------|------|--|-----------|-----------|---------------|-----------------------|--|
| | | Peso [gr] | | | Tiempo [s] | \dot{m}_f [gr/s] | |
| | | P_{ini} | P_{fin} | P_{tot} | | | |
| 1 | 4500 | | | | 60 | | |
| 2 | 3900 | | | | 60 | | |
| 3 | 3400 | | | | 60 | | |
| 4 | 2800 | | | | 60 | | |
| 5 | 2500 | | | | 60 | | |

- torque y potencia

| PRUEBAS | RPM | TORQUE [N-m] | | | POTENCIA [Hp(Kw)] |
|---------|------|-------------------|-------------------|-----------------|----------------------|
| | | P_{may} [Kg] | P_{men} [Kg] | Torque [N-m] | |
| 1 | 4500 | | | | |
| 2 | 3900 | | | | |
| 3 | 3400 | | | | |
| 4 | 2800 | | | | |
| 5 | 2500 | | | | |

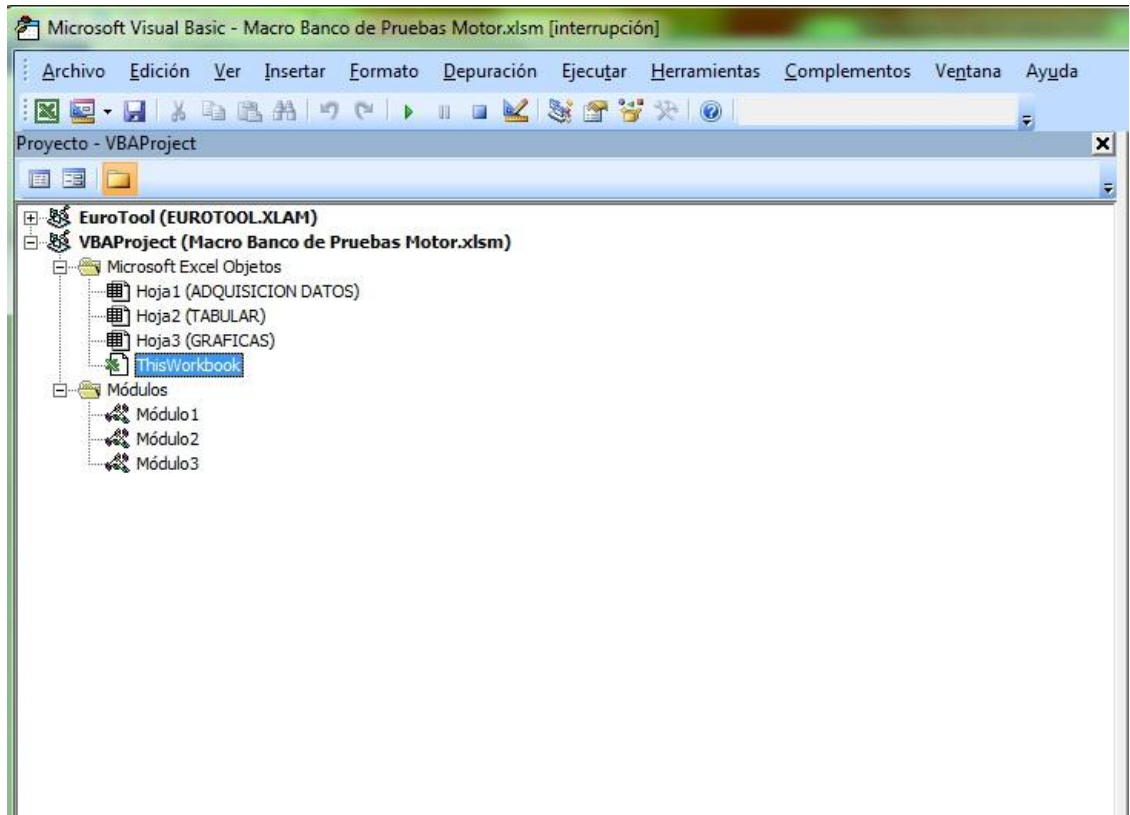
Cálculos

Relación Aire Combustible AF

Teniendo ya los resultados de el flujo másico de aire y el flujo másico de combustible es fácil la hallar la relación AF simplemente reemplazando (\dot{m}_a/\dot{m}_f).

| RELACION AF | RPM 4500 | RPM 3900 | RPM 3400 | RPM 2800 | RPM 2500 |
|-------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| \dot{m}_a / \dot{m}_f | | | | | |

Árbol de la macro



Interfaz Grafica



Código Programación

```
Sub INSERTAR()  
,  
' INSERTAR Macro  
,  
' Acceso directo: Ctrl+Mayús+I  
,  
  
    Range("F7").Select  
    Selection.Copy  
    Sheets("TABULAR").Select  
    Range("A4").Select  
    Selection.Insert Shift:=xlDown  
    Application.CutCopyMode = False  
    Selection.ClearComments  
    Sheets("ADQUISICION DATOS").Select  
    Range("F10").Select  
    Selection.Copy  
    Sheets("TABULAR").Select  
    Range("B4").Select  
    Selection.Insert Shift:=xlDown  
    Sheets("ADQUISICION DATOS").Select  
    Range("F12").Select  
    Application.CutCopyMode = False  
    Selection.Copy  
    Sheets("TABULAR").Select  
    Range("C4").Select  
    Selection.Insert Shift:=xlDown  
    Sheets("ADQUISICION DATOS").Select  
    Range("F15").Select  
    Application.CutCopyMode = False  
    Selection.Copy  
    Sheets("TABULAR").Select  
    Range("D4").Select  
    Selection.Insert Shift:=xlDown  
    Sheets("ADQUISICION DATOS").Select  
    Range("F18").Select  
    Application.CutCopyMode = False  
    Selection.Copy  
    Sheets("TABULAR").Select  
    Range("E4").Select  
    Selection.Insert Shift:=xlDown  
    Sheets("ADQUISICION DATOS").Select  
    Range("F21").Select  
    Application.CutCopyMode = False  
    Selection.Copy
```

```

Sheets("TABULAR").Select
Range("F4").Select
Selection.Insert Shift:=xlDown
Sheets("ADQUISICION DATOS").Select
Range("F23").Select
Application.CutCopyMode = False
Selection.Copy
Sheets("TABULAR").Select
Range("G4").Select
Selection.Insert Shift:=xlDown
Range("A1").Select
Sheets("ADQUISICION DATOS").Select
Range("F7").Select
Application.CutCopyMode = False
ActiveCell.FormulaR1C1 = ""
Range("F10").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = ""
Range("F12").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = ""
Range("F15").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = ""
Range("F18").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = ""
Range("F21").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = ""
Range("F23").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = ""
Range("A1").Select
End Sub

```

```

Sub TABULAR()
'
' TABULAR Macro
'
' Acceso directo: Ctrl+Mayús+T
'
Range("A4:A8").Select
Selection.Copy
Range("H19:H23").Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
Range("I19").Select
Application.CutCopyMode = False
ActiveCell.FormulaR1C1 = "(R[-15]C[-7]-R[-15]C[-6])*R[-15]C[3]*R[-14]C[3]"
Range("I20").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "(R[-15]C[-7]-R[-15]C[-6])*R[-16]C[3]*R[-15]C[3]"

```

Range("I21").Select
 ActiveCell.FormulaR1C1 = "=(R[-15]C[-7]-R[-15]C[-6])*R[-17]C[3]*R[-16]C[3]"
 Range("I22").Select
 ActiveCell.FormulaR1C1 = "=(R[-15]C[-7]-R[-15]C[-6])*R[-18]C[3]*R[-17]C[3]"
 Range("I23").Select
 ActiveCell.FormulaR1C1 = "=(R[-15]C[-7]-R[-15]C[-6])*R[-19]C[3]*R[-18]C[3]"
 Range("J19").Select
 ActiveCell.FormulaR1C1 = "=(RC[-1]*2*R[-10]C[2]*(RC[-2]/60))/1000"
 Range("J20").Select
 ActiveCell.FormulaR1C1 = "=(RC[-1]*2*R[-11]C[2]*(RC[-2]/60))/1000"
 Range("J21").Select
 ActiveCell.FormulaR1C1 = "=(RC[-1]*2*R[-12]C[2]*(RC[-2]/60))/1000"
 Range("J22").Select
 ActiveCell.FormulaR1C1 = "=(RC[-1]*2*R[-13]C[2]*(RC[-2]/60))/1000"
 Range("J23").Select
 ActiveCell.FormulaR1C1 = "=(RC[-1]*2*R[-14]C[2]*(RC[-2]/60))/1000"
 Range("K19").Select
 ActiveCell.FormulaR1C1 = "=RC[-1]*R[-7]C[1]"
 Range("K20").Select
 ActiveCell.FormulaR1C1 = "=RC[-1]*R[-8]C[1]"
 Range("K21").Select
 ActiveCell.FormulaR1C1 = "=RC[-1]*R[-9]C[1]"
 Range("K22").Select
 ActiveCell.FormulaR1C1 = "=RC[-1]*R[-10]C[1]"
 Range("K23").Select
 ActiveCell.FormulaR1C1 = "=RC[-1]*R[-11]C[1]"
 Range("L19").Select
 ActiveCell.FormulaR1C1 = "=(R[-15]C[-6]-R[-15]C[-5])/R[-13]C"
 Range("L20").Select
 ActiveCell.FormulaR1C1 = "=(R[-15]C[-6]-R[-15]C[-5])/R[-14]C"
 Range("L21").Select
 ActiveCell.FormulaR1C1 = "=(R[-15]C[-6]-R[-15]C[-5])/R[-15]C"
 Range("L22").Select
 ActiveCell.FormulaR1C1 = "=(R[-15]C[-6]-R[-15]C[-5])/R[-16]C"
 Range("L23").Select
 ActiveCell.FormulaR1C1 = "=(R[-15]C[-6]-R[-15]C[-5])/R[-17]C"
 Range("M19").Select
 ActiveCell.FormulaR1C1 = "=R[-15]C[-9]*R[-11]C[-1]*R[-12]C[-1]"
 Range("M20").Select
 ActiveCell.FormulaR1C1 = "=R[-15]C[-9]*R[-12]C[-1]*R[-13]C[-1]"
 Range("M21").Select
 ActiveCell.FormulaR1C1 = "=R[-15]C[-9]*R[-13]C[-1]*R[-14]C[-1]"
 Range("M22").Select
 ActiveCell.FormulaR1C1 = "=R[-15]C[-9]*R[-14]C[-1]*R[-15]C[-1]"
 Range("M23").Select
 ActiveCell.FormulaR1C1 = "=R[-15]C[-9]*R[-15]C[-1]*R[-16]C[-1]"

```

Range("M24").Select
ActiveWindow.ScrollColumn = 2
ActiveWindow.ScrollColumn = 3
ActiveWindow.ScrollColumn = 4
ActiveWindow.ScrollColumn = 5
Range("N19").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=RC[-1]/RC[-2]"
Range("N20").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=RC[-1]/RC[-2]"
Range("N21").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=RC[-1]/RC[-2]"
Range("N22").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=RC[-1]/RC[-2]"
Range("N23").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=RC[-1]/RC[-2]"
Range("O19").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=(RC[-3]*R[-8]C[-3])/RC[-5]"
Range("O20").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=(RC[-3]*R[-9]C[-3])/RC[-5]"
Range("O21").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=(RC[-3]*R[-10]C[-3])/RC[-5]"
Range("O22").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=(RC[-3]*R[-11]C[-3])/RC[-5]"
Range("O23").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=(RC[-3]*R[-12]C[-3])/RC[-5]"
Range("O24").Select
ActiveWindow.ScrollColumn = 4
ActiveWindow.ScrollColumn = 3
ActiveWindow.ScrollColumn = 2
ActiveWindow.ScrollColumn = 1
Range("A1").Select
End Sub

```

```

Sub GRAFICAR()
'
' GRAFICAR Macro
'
' Acceso directo: Ctrl+Mayús+G
'
Range("H19:H23").Select
Selection.Copy
Sheets("GRAFICAS").Select
Range("B5:B9").Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
ActiveWindow.SmallScroll Down:=3

```

```

Range("B20:B24").Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
ActiveWindow.SmallScroll Down:=24
Range("B35:B39").Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
ActiveWindow.SmallScroll Down:=15
Range("B50:B54").Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
ActiveWindow.SmallScroll Down:=-54
Range("A1").Select
Sheets("TABULAR").Select
Range("I19:I23").Select
Application.CutCopyMode = False
Selection.Copy
Sheets("GRAFICAS").Select
Range("C5:C9").Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
ActiveWindow.SmallScroll Down:=-6
Range("A1").Select
Sheets("TABULAR").Select
ActiveWindow.SmallScroll Down:=3
Range("K19:K23").Select
Application.CutCopyMode = False
Selection.Copy
Sheets("GRAFICAS").Select
Range("C20:C24").Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
ActiveWindow.SmallScroll Down:=-9
Range("A1").Select
ActiveWindow.SmallScroll Down:=-6
Sheets("TABULAR").Select
ActiveWindow.ScrollColumn = 2
ActiveWindow.ScrollColumn = 3
ActiveWindow.ScrollColumn = 4
ActiveWindow.ScrollColumn = 5
Range("O19:O23").Select
Application.CutCopyMode = False
Selection.Copy
Sheets("GRAFICAS").Select
ActiveWindow.SmallScroll Down:=18
Range("C35:C39").Select

```

```
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _  
:=False, Transpose:=False  
ActiveWindow.SmallScroll Down:=-36  
Range("A1").Select  
Sheets("TABULAR").Select  
Range("M19:M23").Select  
Application.CutCopyMode = False  
Selection.Copy  
Sheets("GRAFICAS").Select  
ActiveWindow.SmallScroll Down:=42  
Range("C50:C54").Select  
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _  
:=False, Transpose:=False  
ActiveWindow.SmallScroll Down:=-75  
Range("A1").Select  
End Sub
```