

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE MATRIZ CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ

Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de **Ingeniero
Mecánico Automotriz**

“DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN FLUJOMETRO
DIGITAL PARA LA MEDICIÓN DE ELEMENTOS DE
CIRCULACION DE GASES EN MOTORES DE
COMBUSTIÓN INTERNA ALTERNATIVOS”

AUTOR:

Daniel Oswaldo Saquicela Cando

DIRECTOR:

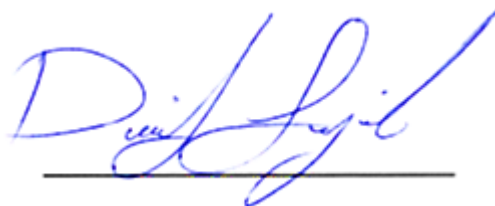
Ing. Jorge Esteban Fajardo Merchán

Cuenca, abril 2016

DECLARACIÓN

Declaro bajo juramento que el trabajo aquí escrito es de mi autoría inédita; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo el derecho de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Universidad Politécnica Salesiana, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente, para la utilización como fuente de consulta.

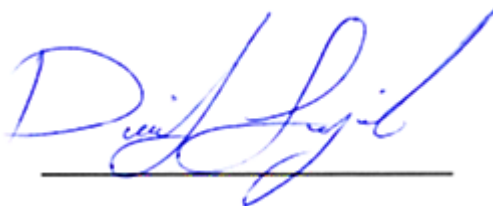


Daniel Oswaldo Saquicela Cando

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Daniel Oswaldo Saquicela Cando, con cédula de identidad Nro. 010598454-6, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Politécnica Salesiana los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor del trabajo de grado denominado: “DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN FLUJOMETRO DIGITAL PARA LA MEDICIÓN DE ELEMENTOS DE CIRCULACION DE GASES EN MOTORES DE COMBSTIÓN INTERNA ALTERNATIVOS”, que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Mecánico Automotriz, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital, además de la maqueta desarrollada según el tema del proyecto a la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, marzo de 2016



Daniel Oswaldo Saquicela Cando
010598454-6

CERTIFICACIÓN

Yo, Ing. Jorge Fajardo certifico que el trabajo de titulación “DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN FLUJOMETRO DIGITAL PARA LA MEDICIÓN DE ELEMENTOS DE CIRCULACION DE GASES EN MOTORES DE COMBSTIÓN INTERNA ALTERNATIVOS”, para la carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Cuenca, realizado por el estudiante: Daniel Oswaldo Saquicela Cando, previa a la obtención del título de INGENIERO MECÁNICO AUTOMOTRIZ, fue desarrollado bajo mi tutela y dirección.

Cuenca, marzo de 2016



Ing. Jorge Fajardo
DIRECTOR DEL PROYECTO

DEDICATORIA

Dedico de manera especial mi proyecto de grado a mis padres y abuelas, Sra. María Vintimilla Jara y Srta. Martha Vintimilla Jara, por el apoyo recibido en todos los ámbitos, mediante los cuales obtuve el soporte necesario para cumplir con mi meta planteada.

De igual forma dedico el proyecto a mis hermanos por estar presentes en todo momento con la ayuda desinteresada y el apoyo moral necesario para afrontar los objetivos de mi vida y constituirme como un ejemplo a seguir para ellos.

A Paulina Andrade por bendecirme con un regalo que se convertirá en el motivo de todo mi esfuerzo para alcanzar mis metas en la vida.

Daniel Saquicela

AGRADECIMIENTOS

El presente agradecimiento va dirigido en primera instancia a Dios, por permitir plasmar mis conocimientos y habilidades en el desarrollo del proyecto, y de esta forma cumplir una meta tan anhelada.

A mi familia y prometida por el apoyo incondicional que me ofrecieron durante todo el transcurso de mi vida estudiantil y de esta manera permitirme cumplir con este objetivo de realización de mi vida como profesional.

A mi director de proyecto Ing. Jorge Fajardo, del cual recibí la guía durante el desarrollo del mismo, además a la Universidad Politécnica Salesiana, por permitirme desarrollar mi carrera profesional.

RESUMEN

En el presente documento, se describe de forma exhaustiva el desarrollo de un equipo capaz de cuantificar la cantidad de aire aspirado por una culata, en función de las modificaciones que comprenden la preparación de un vehículo de competición. Debido a que las circunstancias en las que se realiza la modificación de los elementos que con el equipo se pretenden medir, son inciertas, al no existir las comprobaciones correspondientes, que indiquen que los resultados perseguidos a partir de los cálculos matemáticos de repotenciación del motor, la utilización del flujometro digital desarrollado en este documento, resulta ser el equipo capaz de dictaminar la optimización del funcionamiento del motor, en relación con la elevación de la eficiencia volumétrica por medio de los mejoramientos de la culata.

El desarrollo del equipo, se realiza mediante un método de investigación experimental, donde interviene la utilización de un caudalimetro de flujo de uso automotriz MAF, para lo cual se desarrolla, con la ayuda de instrumentos de medición de flujo, y captadores de señal del sensor, el modelado matemático del sensor MAF en función de las variaciones de voltaje que este provee con relación al flujo, las mismas que ingresadas en un microcontrolador, que interpretara posteriormente las señales y las procesara de forma que permita la visualización de los resultados de las pruebas.

Al final de la documentación del desarrollo del proyecto, las diferentes pruebas y análisis realizados, en torno al funcionamiento del flujometro, indican que resulta ser un instrumento de medición confiable, que refleja resultados de las modificaciones de culatas, con una precisión aceptable y los datos recogidos se encuentran en un rango de

exactitud de entre 94.75% y 98.47%, teniendo en cuenta que errores los de exactitud de muestras, mayores al 2% son provocados por variaciones bruscas en el funcionamiento de la aspiradora, y según el análisis de los resultados los porcentajes de error considerables son poco frecuentes. Cabe acotar que las variaciones de voltaje bruscas en la alimentación de la aspiradora, se eliminan con la implementación de un control de velocidad adicional al incorporado en ella, por lo que el margen de error en las mediciones se disminuye y bordea el valor de 98,47%.

INDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	1
2. PROBLEMA.....	3
2.1. ANTECEDENTES	3
2.2. IMPORTANCIA Y ALCANCES.....	5
3. OBJETIVOS.....	7
3.1. Objetivo General.....	7
3.2. Objetivos Específicos.....	7
4. REVISIÓN DE LITERATURA.....	8
4.1. LA CULATA.....	8
4.1.1. Clasificación de las Culatas.....	9
4.1.1.1. Según la Canalización de Admisión y Escape.....	9
4.2. COLECTORES DE ADMISIÓN Y ESCAPE.....	11
4.2.1. Colector de Admisión.....	11
4.2.1.1. Válvula Reguladora de Carga.....	12
4.2.2. Colector de Escape	13
4.3. TRABAJOS DE TRUCAJE EN LA CULATA.....	14
4.3.1. Mecanizado de Conductos de Admisión	15
4.3.2. Mecanizado de Conductos de Escape.....	16
4.4. EFICIENCIA VOLUMÉTRICA	17
4.4.1. Fuentes de Perdida de Carga	18
4.5. MEDIDORES DE FLUJO.....	18
4.5.1. Definiciones Básicas	19
4.5.2. Tipos de Flujo.....	19
4.5.3. Factores para la Elección de Medidores de Flujo.....	20

4.5.4. Tipos de Medidores de Flujo	22
--	----

MARCO METODOLÓGICO

5. DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN BANCO FLUJÓMETRO.....	24
5.1. DISEÑO DEL BASTIDOR DE SOPORTE DEL BANCO	24
5.1.1. Diseño de la Estructura del Banco.....	25
5.1.2. Diseño del Soporte de Componentes a Medir	29
5.1.3. Evaluación de Ergonomía del Bastidor y sus Componentes	34
5.1.3.1. Ergonomía Método REBA	35
5.2. DISEÑO DEL SISTEMA DE ASPIRACIÓN.....	38
5.2.1. Generador de Aspiración	38
5.2.2. Diseño de los Conductos de Aspiración	40
5.2.3. Diseño del Acople del Anemómetro	42
5.2.4. Diseño de la Caja de Aspiración	44
5.3. DISEÑO DE LOS CIRCUITOS ELECTRÓNICOS	46
5.3.1. Diseño del Circuito de Puesta en Marcha General	48
5.3.2. Diseño del Circuito de Control del Sistema de Aspiración	49
5.3.3. Diseño del Circuito de Control del LCD	52
5.3.4. Diseño del Circuito de Alimentación y Recepción de Señal del Sensor MAF.....	55
5.3.5. Diseño del Circuito de Iluminación.....	56
5.4. CONSTRUCCIÓN DEL BANCO FLUJOMETRO.....	57
5.4.1. Construcción del Bastidor	57
5.4.2. Construcción del Soporte de Componentes a Medir	58
5.4.3. Fabricación de los Acoples para Culatas	60
5.4.4. Construcción de la Caja de Aspiración y Expulsión	61

5.4.5.	Fabricación de los Circuitos Electrónicos	63
5.4.5.1.	Fabricación del Circuito de Control General.....	63
5.4.5.2.	Fabricación del Circuito de Control de Velocidad de la Aspiradora	65
6.	OBTENCIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS DEL SENSOR	67
6.1.	OBTENCIÓN DE LOS DATOS DEL SENSOR	67
6.1.1.	Ensamblaje del Sistema de Aspiración para Obtención de Datos	68
6.1.2.	Adquisición de Datos Analógicos y Digitales.....	69
6.1.3.	Procesamiento de Datos	73
6.1.4.	Obtención del Modelo Matemático del Sensor	75
6.1.5.	Modelos Matemáticos Obtenidos y Porcentaje de Error	78
6.1.5.1.	Modelo Matemático de Velocidad m/s.....	78
6.1.5.2.	Modelo Matemático de Flujo CFM	79
7.	VALIDACIÓN DE RESULTADOS.....	81
7.1.	VALIDACIÓN DE FUNCIONAMIENTO DEL ANEMÓMETRO	81
7.1.1.	Procedimiento de Validación de Funcionamiento del Anemómetro.....	84
7.1.1.1.	Fabricación de un Acople para la Cámara de Ensayo del Túnel de Viento	85
7.1.1.2.	Colocación del Anemómetro en el Interior del Túnel de Viento..	85
7.1.1.3.	Configuración del Túnel de Viento para las Pruebas	86
7.1.1.4.	Realización de las Pruebas.....	87
7.1.1.5.	Recolección de Datos	87
7.2.	VALIDACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL SENSOR	88
7.2.1.	Procedimiento de Validación de Funcionamiento del Sensor MAF	89
7.2.1.1.	Obtención de la Información del Sensor	89
7.2.1.2.	Conexión del Sensor	90

7.2.1.3.	Colocación en el Sistema de Muestreo	91
7.2.1.4.	Adquisición de Datos.....	91
7.3.	PROCEDIMIENTO DE OBTENCIÓN DE DATOS.....	92
7.3.1.	Manual de Usuario	92
7.3.1.1.	Recomendaciones Generales de Uso	92
7.3.1.2.	Preparación del Flujo metro.....	92
7.3.1.3.	Uso	93
7.3.1.4.	Partes de la Sección de Control	93
7.3.1.5.	Partes del Sistema de Muestreo	94
7.3.1.6.	Ecuación de la Escala de Medición Teórica	94
7.3.1.7.	Definición de las Lecturas en el Display	95
7.4.	PROCEDIMIENTO PARA EL MUESTREO.....	95
7.5.	COMPARATIVA ENTRE LOS DATOS REALES DE FUNCIONAMIENTO DEL SENSOR Y LOS DATOS DEL FLUJOMETRO	97
7.6.	PROCESO DE DESARROLLO DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO ANOVA.....	100
7.7.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA VALIDACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL FLUJOMETRO A 70% DE SU FUNCIONAMIENTO	104
7.7.1.	Análisis de Resultados de Gráficas de Residuos a 70% de Funcionamiento del Flujo metro sin Restricción de Entrada de Aire.....	105
7.7.2.	Análisis de Resultados del Resumen del Método ANOVA a 70% de Funcionamiento del Flujo metro sin Restricción de Entrada de Aire.....	108
7.8.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA VALIDACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL FLUJOMETRO EN LA REALIZACIÓN DE PRUEBAS REALES DE FUNCIONAMIENTO EN LA CULATA DATSUN A14.....	109
7.9.	ANÁLISIS DEL RESUMEN DE RESULTADOS DE LA REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS REALES DE FUNCIONAMIENTO EN LA CULATA DATSUN A14	112

8. PRUEBAS Y AJUSTES DE FUNCIONAMIENTO	114
8.1. COMPROBACIÓN DE FUNCIONAMIENTO DEL SKETCH DE CONTROL DEL MICROCONTROLADOR ARDUINO MEGA	115
8.2. COMPROBACIÓN DE FUNCIONAMIENTO DEL DISPLAY GLCD	116
8.3. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL CIRCUITO DE CONTROL GENERAL	117
8.3.1. Pruebas de los Sensores	121
8.3.2. Pruebas de Funcionamiento de los Indicadores	123
8.4. PRUEBAS Y AJUSTES DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE MUESTREO	124
8.4.1. Comprobación de la Existencia de Filtraciones	125
8.5. PRUEBAS Y AJUSTES DE FUNCIONAMIENTO GENERALES	125
8.5.1. Obtención de Datos Reales de Funcionamiento	111
9. RESULTADOS.....	113
10. CONCLUSIONES.....	131
11. BIBLIOGRAFÍA.....	133
12. ANEXOS	135

INDICE DE FIGURAS

1. Culata Suzuki Swift, vista inferior y superior	8
2. Colectores de admisión para motores con inyección Monopunto y Multipunto	12
3. Diferentes tipos de ramificaciones de Colectores de Escape	13
4. Mecanizado de Conductos de Admisión	15
5. Mecanizado de conductos de escape	16
6. Diseño del General del Soporte Bastidor	26
7. Diseño del General del Soporte Bastidor con las Medidas Relevantes	27
8. Vista Lateral y Detalle de la Ubicación de los Elementos	27
9. Diseño Final de la Maqueta con los Revestimientos y Pintura	28
10. Diseño del Soporte de Culatas y su Dimensionamiento	29
11. Acoplamiento del Soporte de Culatas en la Estructura del Bastidor	30
12. Acople general para los conos de culatas	32
13. Acople para culatas con diámetro de cilindros de hasta 75mm	33
14. Acople para culatas con diámetro de cilindros de hasta 85mm	33
15. Acople para culatas con diámetro de cilindros de hasta 95mm	34
16. Análisis según el Método REBA para Cuello y Piernas, con su respectiva Puntuación	35
17. Análisis según el Método REBA para Tronco y la Carga a la que se someten	36
18. Análisis según el Método REBA para los Miembros de las Extremidades Superiores	37
19. Resultados de la Evaluación según el Método REBA e Indicadores de las Actividades Musculares a Realizar durante la Operación del Equipo	38
20. Aspiradora/Soplador Ikra Mogatec BV2800E	39
21. Sensor de Flujo MAF HERKO MAF 218	41
22. Acople entre el Sensor y los Tubos de Aspiración	42

23. Anemómetro Digital MASTECH MS6252B	43
24. Dimensiones de la caja de aspiración en su vista frontal y lateral	45
25. Izquierda, parte inferior de la caja de aspiración, con ajuste para la boca de la aspiradora; Derecha, parte superior de la caja con el ajuste para el conducto de aspiración	45
26. Ensamble del conducto de aspiración en el orificio de entrada de la caja	46
27. Diseño del circuito de alimentación general	48
28. Diseño del circuito de control de velocidad de la aspiradora	50
29. Display GLCD 128x64 Pinout B V2.0	54
30. Conexión display GLCD 128x64 Pinout B V2.0	54
31. Library Manager, descarga de la librería para el tipo de controlador del GLCD	55
32. Designación del conector analógico del sensor y características de funcionamiento	56
33. Circuito de Iluminación	57
34. Proceso de construcción del bastidor	58
35. Construcción del soporte de componentes con el disco de anclaje al bastidor	59
36. Soporte de componentes con el disco de los acoples de cilindros	59
37. Acople general con el acople para culata de cilindros de hasta 85 mm de diámetro	60
38. Acople general y acoples para diferentes diámetros de cilindros	60
39. Boquilla de aspiración, vista lateral de la caja de aspiración	61
40. Caja de aspiración montada en la aspiradora	61
41. Caja de expulsión con acople a la aspiradora	62
42. Ensamble completo de la aspiradora con la caja de aspiración y expulsión	62
43. Diseño y fabricación del circuito impreso PCB	64
44. Vista posterior y frontal de la soldadura de los componentes	64
45. Ensamblaje del circuito general de control con sus conexiones al microprocesador	65

46. Capa de estaño sobre las pistas de la placa y vista frontal de la placa terminada	66
47. Sistema de muestreo para adquisición de datos	69
48. Adquisición de datos del sensor y del anemómetro	70
49. Adquisición de datos del anemómetro en el software Anemometer FormView	71
50. Datos de voltaje con relación a velocidad	76
51. Resultados del ajuste del modelo Velocidad de aire	77
52. Datos de voltaje con relación al flujo	77
53. Resultados del ajuste del modelo CFM	78
54. Túnel de viento ARMFIELD C15-10, laboratorio de termofluidos UPS	82
55. Colocación del anemómetro y el tubo de medición dentro del túnel de viento	83
56. Acople del anemómetro en el túnel de viento	85
57. Colocación del anemómetro dentro de la cámara de ensayo	86
58. Configuración del software del túnel de viento para la puesta en marcha	86
59. Configuración de la velocidad de funcionamiento del generador de flujo	87
60. Recolección de datos en el anemómetro	87
61. Datos de flujo mínimo y máximo	89
62. Datos del conexionado del sensor MAF	90
63. Conexionado del sensor a la alimentación y señal respectiva	90
64. Colocación del sensor en el sistema de muestreo	91
65. Obtención de los datos del sensor en el multímetro	91
66. Partes de la sección de control	93
67. Partes del sistema de muestreo.....	94
68. Lectura del display GLCD	95
69. Diagrama de procesos para el muestreo en el flujometro	96
70. Sensor MAF, Hyundai Tucson 2007.....	97

71. Datos de flujo y rpm obtenidos en el scanner	98
72. Cálculo de la relación de flujo volumétrico y flujo másico.	99
73. Tabulación de datos para la evaluación estadística en Minitab	101
74. Selección del método estadístico de evaluación	101
75. Selección del método estadístico de evaluación	102
76. Resultados gráficos de residuos para la variable CFM MAF	102
77. Resumen de resultados del método ANOVA.....	103
78. Obtención de los datos para el análisis estadístico.....	104
79. Datos ingresados para la evaluación en Minitab 17.....	105
80. Resultados de la gráfica de probabilidad normal	105
81. Histograma de probabilidad	106
82. Grafica de descripción de los datos con respecto al ajuste según el orden de muestreo	107
83. Resumen de los datos obtenidos según el método estadístico ANOVA al 70% de funcionamiento del flujometro	108
84. Culata trucada Datsun A14	110
85. Datos obtenidos para la culata Datsun A14 con funcionamiento del flujometro de 70%	110
86. Gráficas de residuos para la prueba real de funcionamiento a 70% de la capacidad de aspiración	111
87. Detalle del dato muestral con mayor variación con respecto al ajuste	111
88. Resumen de resultados estadísticos de la prueba real de funcionamiento del flujometro	112
89. Compilación del programa de control de ARDUINO	115
90. Compilación del programa para la plataforma ARDUINO UNO	116
91. Comprobación de funcionamiento del display y lectura de datos	117
92. Diagrama del circuito de control general	119

93. Comprobación de funcionamiento de los sensores	120
94. Cableado de los componentes, desde el circuito de control general	120
95. Pruebas de funcionamiento del sensor MAF, en función del voltaje.....	121
96. Comprobación de funcionamiento del indicador de encendido	123
97. Comprobación de funcionamiento de las mediciones.....	124
98. Montaje de la culata en el flujometro.....	126
99. Prueba de flujo en la culata del motor A14.....	126
100. Lectura de Bits, colocada en la magnitud de las rpm.....	127

INDICE DE TABLAS

1. Clasificación de las culatas según la canalización de los conductos	9
2. Porcentaje de Perdida de Carga Durante el Transito de Fluido Activo a través de los Conductos de Admisión y Escape.....	18
3. Tipos de Flujo	19
4. Diferentes Tipos de Medidores de Flujo	22
5. Promedio de Estatura de los Ecuatorianos	24
6. Datos de los Vehículos y Diámetro Promedio de los Acoples	31
7. Especificaciones Técnicas de la Aspiradora Seleccionadas.....	39
8. Sensores y características de medición	47
9. Características del motor de Corriente Alterna de la aspiradora.....	49
10. Componentes utilizados en el circuito y características.....	51
11. Conexión de la pantalla hacia el microcontrolador Arduino Mega	53
12. Datos adquiridos de las magnitudes de flujo y voltaje del sensor.....	72
13. Transformación de datos a bits para el modelado matemático	74
14. Validación de mediciones del anemómetro en el túnel de viento.....	84
15. Comprobación de las mediciones del sensor con respecto al voltaje.....	88
16. Comparativa entre el flujo medido del vehículo y del flujometro	100
17. Datos adquiridos de las magnitudes de flujo y voltaje del sensor.....	122
18. Datos adquiridos de las magnitudes de flujo y voltaje del sensor	123
19. Resultados obtenidos durante el muestreo	129

INDICE DE TABLAS DE PONDERACIÓN

1. Elección del Material Estructural.....	26
2. Elección del Material de Revestimiento	28
3. Elección del Material y Tipo de Fabricación	32
4. Elección del Generador de Aspiración.....	38
5. Elección del Sensor de Flujo Volumétrico.....	40
6. Elección del Tubo de Aspiración	41
7. Elección del Anemómetro Digital.....	42
8. Sensores y características de medición	47
9. Elección de la pantalla LCD	53

1. INTRODUCCIÓN:

Dentro de la preparación de vehículos de competencia, las exigencias de mejoramiento del performance de los motores y vehículos de competición, representan cierto grado de inseguridad al momento de ratificar el haber alcanzado los objetivos planteados en la repotenciación de los motores y al aumento en general de las prestaciones del vehículo, siendo que el proceso de verificación de los resultados perseguidos resulta ser laborioso al prescindir de las pruebas de ruta o pista.

Teniendo en cuenta que cada uno de los trabajos de repotenciación realizados, en los componentes del motor, gracias a la utilización de equipos y bancos de pruebas podemos cuantificar y comprobar el avance en el rendimiento del motor, según se desarrollen cada uno de las etapas de los trabajos de mecanización derivados de sus respectivos cálculos.

Dentro de lo que concierne a la utilización de equipos de medición, se desarrolla el presente estudio, concretamente, en la necesidad de conseguir cuantificar de forma precisa el incremento de la eficiencia volumétrica, a partir de la modificación de la sección de los conductos por donde transita el fluido activo, ya sea de entrada o salida en un motor de competición, dando lugar a la implementación de una herramienta capaz de realizar la medición de flujo de fluido activo a través de los conductos de admisión y escape de la culata, la misma que deberá ser montada sobre un banco de pruebas, el cual, representa un equipo que simula la aspiración de gases provocada por los cilindros y es capaz de permitirnos verificar el incremento de flujo volumétrico de gases a través de dichos conductos. Demostrando de esta forma la existencia de las diferentes

restricciones que se pueden presentar en las superficies ya sea de los múltiples o de los conductos internos del cabezote de un motor; dadas por la sección transversal o el acabado superficial de dichos conductos.

La construcción del flujómetro digital incorpora un banco de medición de fácil interpretación y de precisión destacable, según las condiciones de funcionamiento que se simulan en el banco de pruebas y, a su vez en los componentes del motor analizados, que resultaran ser condiciones similares a las que se someten los componentes cuando se hayan montado en un motor de combustión interna. El banco de pruebas basara su funcionamiento en la medición de volumen de aire, realizada por a la utilización de un caudalimetro, el cual nos emitirá variación de señal según las restricciones que se presenten por los componentes a los cuales se les analizara el flujo; teniendo en cuenta que los datos de señal deberán de ser digitalizados de forma que se interpreten en unidades de flujo volumétrico, el procesamiento y la visualización de los datos se realizará mediante la utilización de un microcontrolador y un display LCD.

El comportamiento de fluidos a través de una sección es un tema de suma importancia debido a que el análisis del flujo, describe varios de los parámetros de comportamiento y eficiencia de un motor o sistemas en donde se precise el tránsito de fluidos a través de conductos de aspiración o expulsión, presentándose de esta manera que la utilización de equipos para cuantificar el volumen de fluido que atraviesa un conducto, nos permite conocer el comportamiento del mismo y lo que producirá dentro del sistema al que pertenezcan.

2. PROBLEMA:

Los trabajos de repotenciación de motores de competición, refieren un número significativo de variables, a tomar en cuenta al momento de ratificar los resultados conseguidos en las modificaciones realizadas, en base a los cálculos de dimensionamiento para la repotenciación de motores.

Según lo que respecta a la verificación de los resultados, es incierto el hecho de coincidir de manera exacta con ellos, por lo que para la confirmación de los mismos se precisa el ensamble y puesta en marcha de los motores modificados, lo que representa periodos de tiempo extensos entre la realización de los trabajos de trucaje y las pruebas a realizarse ya sea en pista o bancos dinamométricos.

2.1. ANTECEDENTES:

En lo que respecta al aumento de las prestaciones de un vehículo, se ven influenciadas diversas variables correspondientes a las características constructivas de los diferentes componentes que comprenden un vehículo de competición. Sin embargo, muchas de ellas se ven limitadas por las diferentes restricciones que se presentan según la reglamentación existente, de acuerdo a la categoría a la que pertenece por características propias de cada vehículo.

En concordancia con los lineamientos dados según la reglamentación existente, se pueden realizar ciertas modificaciones que van orientadas hacia el perfeccionamiento de las prestaciones del vehículo, de acuerdo a las circunstancias y condiciones para las cuales sea su propósito. Uno de los puntos de vital importancia en cuanto a la puesta a punto del rendimiento de un vehículo de competición, sin lugar a dudas es la

optimización de la eficiencia del motor, pudiendo presentarse que en dicho componente de trascendental importancia, se despliegan un sinnúmero de modificaciones que beneficiaran a la puesta a punto del mismo; dándose a conocer de igual forma a la modificación de motores de competición como uno de los parámetros más reglamentados, en cuanto a sus modificaciones respecta.

Dentro de lo que corresponde a la preparación de motores de competición existen numerosas modificaciones a realizar dentro del mencionado mecanismo, teniendo en cuenta por ejemplo las más comunes, tales como: el aligeramiento de componentes del tren alternativo del motor, aumento de la cilindrada, aumento de la relación de compresión, adición de mecanismos de sobrealimentación, incremento de alzada de válvulas, modificación del ángulo de apertura y cierre de válvulas, modificación de la sección de conductos de admisión y escape, entre otros. Las mismas que buscan mejorar la eficiencia volumétrica, eficiencia térmica y rendimiento mecánico del motor de un vehículo de competición.

Teniendo en cuenta las diversas modificaciones que pudiesen tener lugar en un motor, surge una de importancia básica en el desarrollo de nuestro estudio, siendo la misma la modificación de la sección y acabado superficial de conductos de admisión y escape; la cual representa un tema de suma consideración en lo que corresponde a la preparación de motores, como lo es el mejoramiento de la eficiencia volumétrica, el cual puede representar un aumento significativo en la cantidad de mezcla aire/combustible ingresada al motor y gases de escape expulsados por el mismo; traduciéndose esto convenientemente en el aumento de par y potencia del motor.

Las diferentes modificaciones que se pueden dar dentro de un motor de competición, presentan la singularidad de que no pueden asegurar su contribución en la mejora de la eficiencia y funcionamiento del tren alternativo en general, por lo que se hace fundamental la comprobación de la puesta a punto del conjunto mediante mediciones, cuando el mismo está armado y puesto en marcha, ya sea debido a la utilización de un banco dinamométrico o pruebas de pista.

De acuerdo a la incertidumbre que se presenta al no tener la capacidad de comprobar las mejoras de rendimiento del motor con las modificaciones realizadas, surge la necesidad de cuantificarlas; de esta forma la orientación del presente estudio prevé brindar un banco que contribuya a acrecentar la certeza de que los más importantes trabajos realizados, en los componentes del motor, contribuyan al perfeccionamiento que deseamos conseguir en el mismo. De esta forma, la necesidad de la implementación de un flujometro, que nos permita realizar las mediciones correspondientes a las piezas que restringen el paso de fluido activo, en los conductos de admisión y escape, representa una herramienta de valiosa importancia para corroborar que el trabajo de mecanizado aplicado a cada uno de estos componentes conseguirá incrementar la eficiencia volumétrica y esto se convierta en un aumento de par y potencia.

2.2. IMPORTANCIA Y ALCANCES:

El desarrollo de un equipo que permita disminuir la incertidumbre que se presenta al momento de modificar motores de competición, resulta ser de sumo provecho ya que con la utilización del equipo se disminuyen las variables que se

consideran al momento de corroborar el aumento de par y potencia perseguido en la realización de trabajos de mecanización procedentes del mejoramiento del performance de un vehículo. De igual forma el equipo desarrollado puede ser una herramienta de experimentación, para la realización de diferentes pruebas, que dictaminen la factibilidad de la ejecución de trabajos de mecanizado menor en los conductos de culatas, dando lugar a análisis de mejoramiento de la eficiencia volumétrica, con la modificación de los acabados superficiales del interior de los conductos de admisión y escape de las culatas, convirtiéndose también en un instrumento preciso para la validación de pruebas empíricas desarrolladas en motores de competición.

3. OBJETIVOS:

3.1 Objetivo General:

- Diseñar y construir un flujometro digital para la medición de elementos de circulación de gases de motores de combustión interna alternativos.

3.2 Objetivos Específicos:

- Desarrollar un banco con la capacidad de realizar mediciones de flujo que nos permita verificar la mejora que se espera en la eficiencia volumétrica al variar la sección y el acabado de las superficies internas de paso de fluido activo de un motor de competición.
- Diseñar un sistema de aspiración de aire que emule la circulación de gases por los componentes del motor a analizar en el equipo.
- Determinar los cambios de la señal obtenida del sensor de acuerdo a las restricciones de flujo de aire succionado hacia el sistema de aspiración del equipo.
- Obtener una ecuación matemática que convierta la señal obtenida por el sensor a una escala de flujo volumétrico CFm (Cubic Foot/min).
- Programar un microcontrolador que digitalice los datos obtenidos de manera que se visualicen de forma numérica en una pantalla LCD.
- Construir un soporte para la colocación de los componentes que comprenden el flujometro.
- Comprobar el correcto funcionamiento y la precisión en la medición del flujometro.

4. REVISIÓN DE LA LITERATURA:

4.1. LA CULATA

La culata o tapa de cilindros, resulta ser un componente fundamental de los motores de combustión interna alternativos, dado a que de acuerdo a las características que dicho componente incorpore, se deriva el funcionamiento de un motor de combustión interna, la culata conforma la tapa de los cilindros de volumen variable y va montada en la parte superior del bloque motor. En la culata se emplazan las válvulas de admisión y escape, además de las bujías y en algunos casos puede contener los inyectores y ejes de levas según sea el tipo de motor.

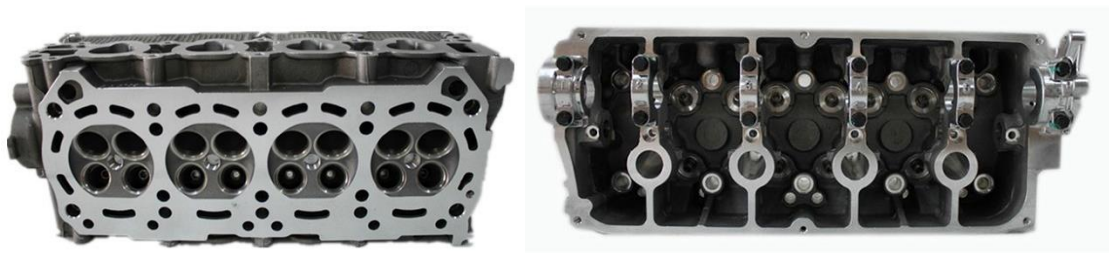


Figura 1: Culata Suzuki Swift, vista inferior y superior.

Fuente: <http://spanish.alibaba.com/product-gs/petrol-engine-g16b-g16kv-cylinder-head-for-suzuki-swift-escudo-baleno-11110-71c01-1814810739.html>

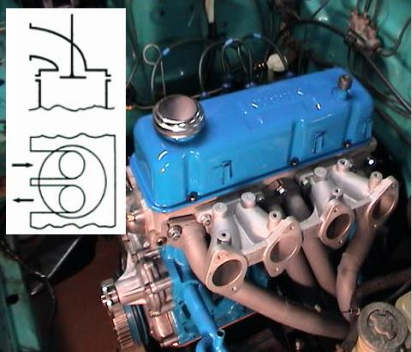
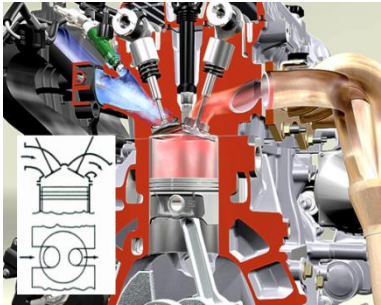
La culata en conjunto con el bloque motor, pistón, cilindro y válvulas, constituye un conjunto cilíndrico de volumen variable, debido al movimiento alternativo del pistón desde el P.M.I hacia el P.M.S, que permitirá absorber y comprimir la mezcla aire-combustible ingresada a través de los conductos de admisión; y a la misma vez expulsar los gases resultantes de la combustión por los conductos de escape luego de la etapa de trabajo. La culata al representar un componente de cierre hermético durante la explosión de la mezcla aire-combustible en algunos casos según el tipo de motor, posee la cámara de combustión, en la cual se comprime la mezcla y se realiza la combustión de la misma.

4.1.1. Clasificación de las Culatas:

4.1.1.1. Según la Canalización de Admisión y Escape:

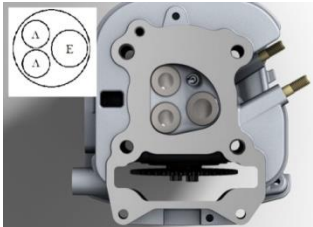
Tabla 1: Clasificación de las culatas según la canalización de los conductos.

Fuente: El Autor.

Clasificación	Descripción	Figura
Culata de Contracorriente	Los conductos de aspiración y escape convergen en un mismo lado de la culata. Esta colocación restringe la circulación para el aire fresco nuevo que ingresara al cilindro y los gases de escape que son expulsados.	
Culata de Circulación Transversal	Los conductos de aspiración y escape se encuentran emplazados de forma opuesta en cada lado del motor, con lo que se consigue una circulación transversal para la mezcla de entrada y los gases de salida.	

4.1.1.2. Según el Numero de Válvulas:

Tabla 2: Clasificación de las culatas según el número de válvulas.

Clasificación	Descripción	Figura
Culatas con Dos Válvulas	Algunos motores emplean el uso de dos válvulas por cilindro, una destinada para permitir el paso de la mezcla de admisión y otra que controla el paso para los gases producto de la combustión, en los conductos de escape. Formando una sección reducida para la aspiración y expulsión de fluido activo.	
Culatas con Tres Válvulas	Debido a los requerimientos de mayor potencia y según la intervención directa de la cantidad de mezcla aspirada para la obtención del aumento de la misma, la evolución hacia las culatas multiválvulas, incorpora una culata con tres válvulas.	

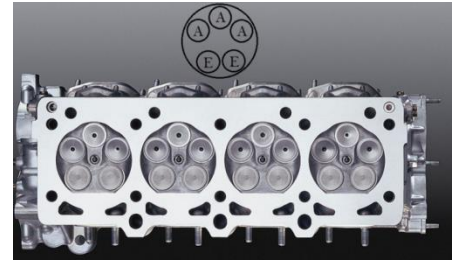
Culatas con Cuatro Válvulas

Los motores con cuatro válvulas se enfocaron básicamente en permitir el llenado más efectivo del cilindro en cualquiera que sea su régimen de funcionamiento, así como la mejora en la evacuación del volumen de gases.



Culatas con Cinco Válvulas

El aumento de número de válvulas si bien persigue la mejor circulación de gases aspirados y evacuados de la cámara de combustión, se debe tener en cuenta la capacidad de volumen que el cilindro puede aspirar para ser comprimido y cumplir la fase de trabajo en un motor



Nota: Los diferentes tipos de motores que incorporan un elevado número de válvulas reflejan una escasez en la entrega de potencia a bajo régimen, ya que en la actualidad se pueden observar motores con seis, siete y hasta ocho válvulas por cilindro, estos resultan puramente útiles para disciplinas de competición en donde se exijan motores que trabajen a alto régimen de vueltas (rpm).

Por otra parte una ventaja considerable de las culatas multiválvulas es que, debido a la reducción de peso que representa incorporar válvulas más ligeras, para permitir el paso de fluido por una sección mayor, las mismas emplean muelles menos robustos, provocando la reducción significativa de las perjudiciales fuerzas de inercia.

4.1.2. Materiales de Fabricación de Culatas

Generalmente los materiales utilizados para la fabricación de culatas, resultan ser, aluminio y hierro. Los mismos que serán utilizados en motores según las necesidades de resistencia que se les exijan, teniendo en cuenta la forma de fabricación de las mismas y los diferentes compuestos agregados que adicionen características especiales a la culata.

- **Aleación de aluminio:** compuesta de aluminio, silicio y magnesio. Este tipo de aleación entrega muy buena resistencia, en comparación de su peso reducido y excelente conductividad térmica, además permite conseguir rápidamente la temperatura de funcionamiento del motor y contribuye a la refrigeración. Debido

a las propiedades del aluminio es propensa a las deformaciones y el precio es más elevado.

- **Hierro fundido:** compuesta por aleación de hierro, cromo y níquel, La combinación de estos metales otorga gran resistencia mecánica y térmica, las características a tomar en cuenta para la utilización de culatas de fabricación en hierro fundido son su robustez y la resistencia a la deformación.

4.2. COLECTORES DE ADMISIÓN Y ESCAPE

Los conductos de admisión y escape comprenden tubos que permiten el ingreso de aire y evacuación de gases producto de la combustión; en algunos casos como vimos anteriormente pueden estar colocados al mismo lado de la culata, siendo las mismas culatas de contracorriente las cuales favorecen al calentamiento del colector de admisión, lo que favorece a la evaporación del combustible inyectado. O también se pueden encontrar culatas de circulación transversal, que emplean colectores a cada lado de la culata.

4.2.1. Colector de Admisión:

El conducto de admisión conduce el aire desde el filtro hacia la culata. La longitud y el diámetro del colector de admisión establecen las condiciones en las que se desarrollara el flujo pulsatorio de admisión.

El proceso de ideal de dimensionado del conducto de admisión, vendría a ser el que, parte de las propiedades del fluido y establece las condiciones de contorno adecuadas, permitiendo encontrar la geometría óptima para los conductos de admisión.

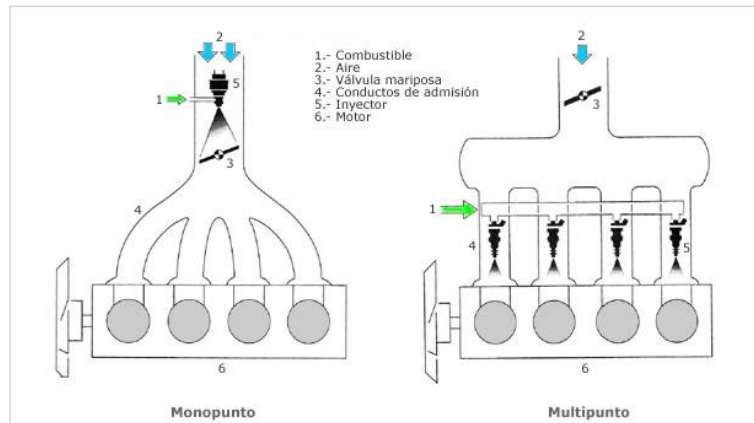


Figura 2: Colectores de admisión para motores con inyección Monopunto y Multipunto.

Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net/inyecci-gasoli-intro.htm>

Los conductos de aspiración en motores pueden instituir cuatro partes, claramente diferenciables:

- Boca o sección de entrada
- Trompeta
- Conducto de sección constante
- Empalme con las aperturas de las válvulas

4.2.1.1. Válvula Reguladora de Carga:

Esta válvula generalmente es asociada con los motores de encendido provocado, es la encargada de controlar el paso de aire de acuerdo a los diferentes regímenes de funcionamiento del motor. El funcionamiento de la válvula de carga supone una pérdida de carga puntual en el fluido, según sea el porcentaje de estrangulación que esté realizando la misma. Los tipos de válvulas de regulación son:

- Válvula de mariposa
- Válvula de guillotina
- Válvula de diafragma

4.2.2. Colector de Escape:

Consiste en un conducto de sección y longitud determinada, el cual es el encargado de canalizar los gases de escape hacia el exterior del motor. Los motores de varios cilindros contienen tubos de descarga individuales con la posibilidad de juntarse entre grupos de dos, tres o más conductos. Teniendo en cuenta que cada una de las disposiciones de los conductos de escape proporciona al motor características determinadas, según el diseño y las necesidades de desempeño del motor.

Hay que tener en cuenta que al momento de diseñar un colector de escape, se precisa mantener la misma sección, longitud y agrupación para todos los cilindros para mantener una armonía de funcionamiento entre ellos.

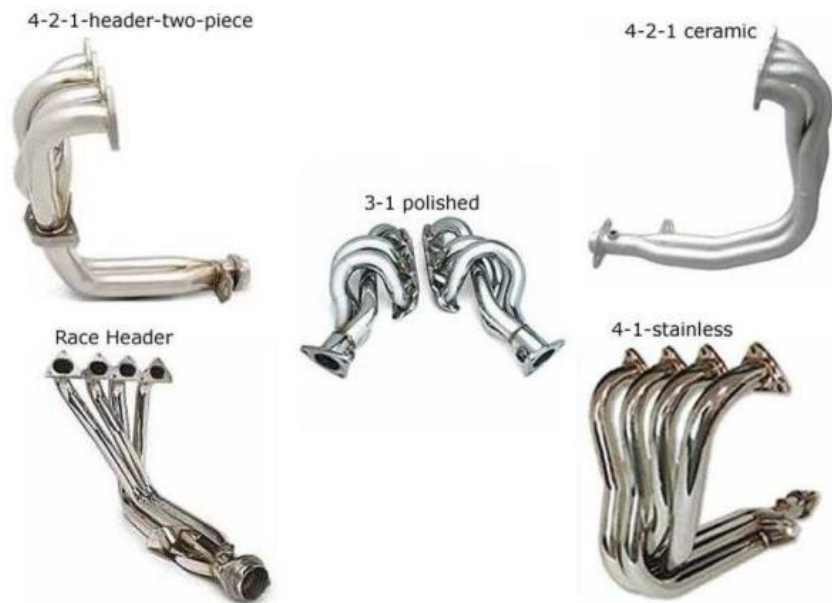


Figura 3: Diferentes tipos de ramificaciones de Colectores de Escape

Fuente: <http://www.mercadoracing.org/66/307671/colectores-de-escape-honda-civic-s2000-integra.html>

En el caso de un motor que posee cuatro cilindros en línea, podemos encontrar generalmente cuatro combinaciones distintas de ramificaciones para colectores de escape:

- **Escapes en 4-1:** es el caso contrario al anterior, debido a que consiste en intersectar todas las ramificaciones de conductos en un solo punto. El sistema presente diversas ventajas, entre una de ellas está la ligereza y además se presenta el hecho de que con esta construcción se consigue grandes ondas de depresión en los cilindros, lo que produce un llenado más efectivo del mismo a altos regímenes.
- **Escape en 4-2-1:** este escape constituye un proceso de elaboración complicado. Al igual que la disposición anterior de colector de escape, en este tipo se producen dos ondas de depresión de menor intensidad, que se produce en el cilindro durante el momento de cruce, este hecho representa ventajas a medio régimen, y mientras tanto a alto régimen representa un retardo en la onda para lo cual resulta ser desventajoso.

4.3. TRABAJOS DE TRUCAJE EN LA CULATA

La culata si bien es cierto es uno de los componentes principales de los cuales se influencia la eficiencia de un motor, de ahí proviene la necesidad de conseguir una repotenciación del mismo a partir del mecanizado de la culata, aprovechando las características constructivas de la misma para de acuerdo en medida de lo que se calcule y sea factible mecanizar, sin comprometer la integridad de los componente, obtener aumentos de eficiencia traducidos en un incremento de par y potencia.

El mecanizado de culatas, generalmente se lo realiza de forma empírica y de igual forma, también los distintos cálculos correspondientes a la mecanización correspondiente, surgen de un trabajo más detallado y de igual manera con raíces

empíricas. Por lo que resulta imprescindible la manera de cuantificar de forma correcta si los diferentes desbastes realizados en cada uno de los conductos de un motor, representan alguna ganancia en cuanto a potencia y par, para de cierta manera corroborar los resultados calculados con los resultados obtenidos luego del proceso de mecanización.

4.3.1. Mecanizado de Conductos de Admisión:

El proceso de mecanizado del conducto de admisión de cada cilindro, comprende un paso fundamental, gracias a que de acuerdo al redimensionamiento del mismo basado en los cálculos correspondientes, se conseguirán los diferentes objetivos planteados basados en la persecución de una puesta a punto del motor. Las restricciones que se presentan en la entrada de fluido activo hacia el cilindro, limitan el desarrollo de potencia del motor, las limitaciones verificadas se pueden ver influenciadas de forma directa por: la sección de los conductos, el acabado superficie interno y además de forma notable los cambios de dirección de los mismo que limitan la conducción de la mezcla hacia el cilindro.



Figura 4: Mecanizado de Conductos de Admisión.

Fuente: <http://tecnicadelmotor.blogspot.com/2010/06/como-preparar-una-culata.html>

Los diferentes cambios de sección que se ven a lo largo de los conductos de admisión, tanto en el colector como en la culata, forman secciones cónicas que se emplean para mejorar el comportamiento de la mezcla sin embargo, la mecanización a realizar para mejorar el rendimiento, busca eliminar los cambios de sección presentes en los conductos de admisión de la culata, por lo que el mecanizado a efectuar conseguirá desbastar el conducto persiguiendo conseguir una sección cilíndrica con un acabado superficie pulido.

4.3.2. Mecanizado de Conductos de Escape:

El proceso de mecanización de los conductos de escape, resulta ser muy diferente al realizado en los conductos de admisión, ya que se debe tomar en cuenta que en los mismos no debe existir ningún tipo de freno o la provocación de turbulencias a la evacuación de los gases producto de la combustión. El principio fundamental del flujo de gases de escape es tratar de expulsar la mayor cantidad de gases en el menor tiempo posible, sin embargo también se debe tomar en cuenta que, este efecto también es propicio para el llenado del cilindro en el caso de emplear un colector de escape con este diseño.

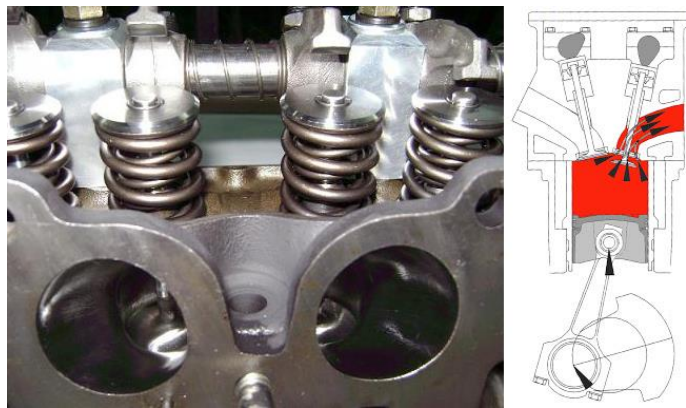


Figura 5: Mecanizado de conductos de escape.

Fuente: <http://tecnicadelmotor.blogspot.com/2010/06/como-preparar-una-culata.html>

En esta parte también entra en juego y es notable la diferencia en cuanto al ducto de admisión, las características que presentan las válvulas de escape ya que su diferencia de ángulos de asiento contribuye y está diseñada para la evacuación de gases de la cámara de combustión.

4.4. EFICIENCIA VOLUMÉTRICA

La eficiencia volumétrica es la capacidad que tiene un cilindro de llenarse durante la carrera de admisión. Existen diversos factores que condicionan el llenado del cilindro durante la marcha del motor, se debe tener en cuenta que, la eficiencia volumétrica máxima, es decir el cilindro se llena completamente de mezcla durante la admisión, se desarrolla cuando la mezcla ingresa lentamente.

El decaimiento de la eficiencia volumétrica del motor, se produce mientras mayor sea el aumento de régimen de funcionamiento. Dicho esto se consigue determinar que el aumento de régimen del motor y la potencia no crecen paralelamente. También se tiene que tener en cuenta que los gases remanentes de la combustión, también representan un sobrante dentro del cilindro que disminuye la capacidad de aspirar gases, por lo que la eficiencia también se verá disminuida. Existen sin embargo varios factores que contribuyen a mejorar la eficiencia volumétrica del motor, tales como:

- Ampliación de número de válvulas de admisión y escape.
- Incremento del diámetro de la cabeza de las válvulas.
- Modificación de los conductos de admisión y escape.
- Aumento de la apertura de válvulas.
- Utilización de inducción forzada de aire, mediante súper y turbocargadores.

4.4.1. Fuentes de Perdida de Carga:

Existen diferentes parámetros que influyen de manera directa en las perdidas de cargar, las cuales a su vez provocan una disminución en la eficiencia del motor, y son netamente provenientes de las características constructivas de la culata y sus componentes ligados al tránsito de fluido activo.

Los principales parámetros causantes de la perdida de carga, se detallan a continuación con valores aproximados de disminución de la eficiencia, en porcentaje:

Tabla 2: Porcentaje de Perdida de Carga Durante el Tránsito de Fluido Activo a través de los Conductos de Admisión y Escape.

Fuente: El Autor.

Fuente de Perdida de Carga	Magnitud
Fricción en las Paredes	4 %
Contracción del Aire en el Conducto	2 %
Curvatura de la Guía de Válvula	11 %
Expansión Detrás de la Guía de Válvula	4 %
Curvatura a la Salida de la Válvula	17 %
Expansión a la Salida de la Válvula	31 %

4.5. MEDIDORES DE FLUJO:

Al momento de la elección del instrumento que se utilizara para la ejecución de la medición de flujo de aire, a través del sistema de aspiración que se emplazara en el banco flujometro, se deben tomar en cuenta varios factores muy importantes propios del comportamiento del fluido a medir, dado que es imprescindible realizar la cuantificación de fluido que transita a través de los conductos del equipo, de forma certera y que no provoque errores de lectura de los datos o medición.

Algunos de los medidores de flujo miden la velocidad con la que transita el fluido de manera directa, mientras que otros la calculan de forma promedio, sin embargo debemos tomar en cuenta que para la aplicación que estamos desarrollando, el flujo

volumétrico que visualizamos está calculado de forma en que interviene la velocidad del fluido y la sección por donde transitará el mismo, por lo que el flujo volumétrico se obtendrá en unidades de CFM (Cubic Feet per Minute).

4.5.1. Definiciones Básicas:

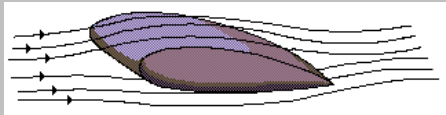
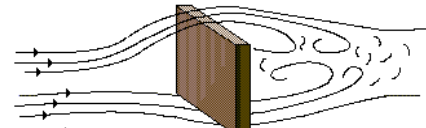
- **Fluido:** Resulta ser una sustancia que se adquiere la forma del recipiente o conducto que lo contiene, continuamente al ser sometida a una fuerza tangencial.
- **Flujo:** Constituye el movimiento de un fluido, debido a una diferencia de presiones.
- **Flujo Volumétrico:** Es el volumen de fluido que circula a través de una sección por unidad de tiempo.
- **Flujo másico:** Comprende la medición de flujo volumétrico en donde interviene la densidad de la sustancia a medir de manera que se representa variación de flujo o gasto másico con respecto al tiempo.

4.5.2. Tipos de Flujo:

Tabla 3: Tipos de Flujo.

Fuente:

<http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/conceptosbasicosmfluidos/capalimite/capalimite.html>

Tipo de Flujo	Descripción	Figura
Flujo Laminar	El flujo laminar constituye un tipo de flujo de una sustancia que viaja a través de una superficie en forma de capas o laminas, de esta manera en el flujo laminar las partículas de la sustancia fluyen formando trayectorias paralelas.	 El diagrama muestra un flujo laminar que pasa sobre un objeto aerodinámico. Las líneas de flujo son rectas, paralelas y ordenadas, representando trayectorias de partículas que no se mezclan entre sí.
Flujo Turbulento	En el flujo turbulento las partículas de la sustancia no representan ningún orden y fluyen de forma libre.	 El diagrama muestra un flujo turbulento que pasa por detrás de un objeto rectangular. Las líneas de flujo son onduladas, desordenadas y se mezclan entre sí, representando un movimiento caótico de las partículas.

4.5.3. Factores para la Elección del Medidor de Flujo:

Al momento de decidir cuál será el tipo de medidor que tendremos que utilizar, de forma que sea el más idóneo para la aplicación que se esté desarrollando se deben tomar en cuenta diversos factores, siendo en nuestro caso necesaria la utilización de dos tipos de medidores de flujo dado que, incorporaremos un medidor de flujo digital que nos exprese las mediciones en unidades de velocidad y flujo volumétrico, el cual tendrá la función de caracterizar el flujo del sistema en función de voltaje del medidor analógico que ira montado en el equipo, y de acuerdo a esto se procederá a la adecuación del mismo, de manera que produzca una señal de forma proporcional a la variación del flujo, para de esta manera interpretarlo, con el procesamiento de dicha señal a través de una ecuación matemática y se consiga visualizar la lectura del sensor digitalizada en las unidades correspondientes (CFM). Los factores a tomar en cuenta para la elección del medidor de flujo son los siguientes:

- **Rango:** los medidores de flujo disponibles, pueden medir flujos desde mililitros por segundo (ml/s) como instrumentos de precisión en laboratorios, hasta miles de metros cúbicos por segundo (m³/s), para aplicaciones de irrigación de agua o sistemas de drenaje.
- **Exactitud requerida:** los dispositivos de medición de flujo, emplazados y manipulados de forma correcta pueden proveer una exactitud dentro del 5 % del flujo real.
- **Pérdida de presión:** debido a que los detalles constructivos de los diferentes medidores son muy variados, éstos significan diversas sumas de pérdida de energía o pérdida de presión acorde el fluido transita a través de ellos. Excepto

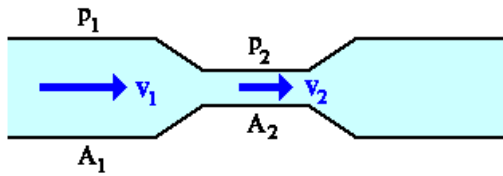
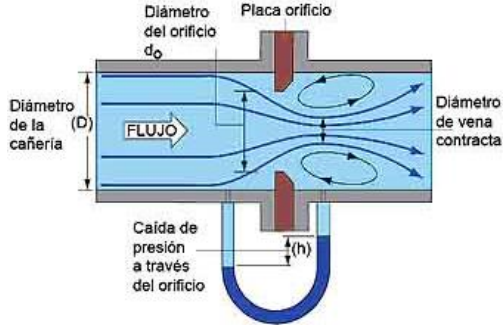
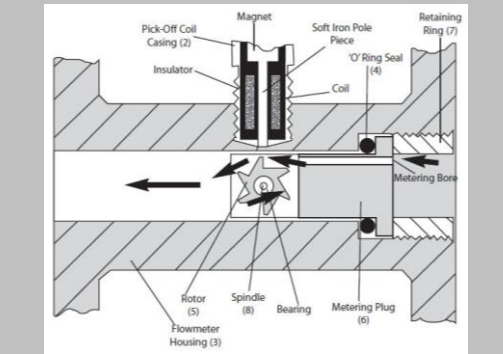
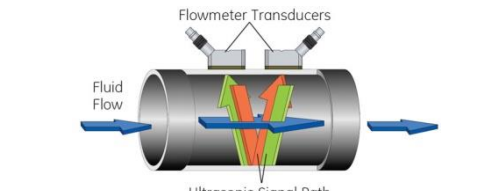
ciertos tipos de medidores de fluido, que llevan a cabo el muestreo estableciendo una restricción, o un mecanismo en la corriente de flujo, causando así la pérdida de energía.

- **Tipo de fluido:** el funcionamiento de varios medidores de flujo se encuentra restringido por las propiedades y condiciones del fluido. La diferencia básica es si el fluido es un líquido o un gas. Además resultan ser factores que llegan a ser importantes la viscosidad, la temperatura, las propiedades de lubricación, la corrosión, la conductividad eléctrica, la claridad óptica y homogeneidad del fluido.
- **Calibración:** algunos tipos de medidores precisan de cierta calibración. Normalmente los fabricantes facilitan una calibración en forma de gráfica o esquema del flujo real, contra la indicación de la lectura. En el caso del tipo básico de los medidores, como los de cabeza variable, se han definido formas geométricas y dimensiones estándar para las que se encuentran fichas empíricas disponibles. Estos datos relacionan el flujo con una variable fácil de medición, tal como una diferencia de presión o un nivel de fluido.

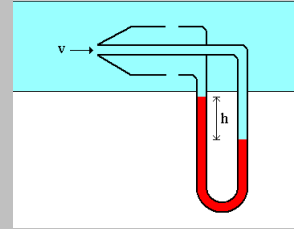
4.5.4. Tipos de Medidores de Flujo:

Tabla 4: Diferentes Tipos de Medidores de Flujo.

Fuente: El Autor.

Forma de Medición	Tipo de Medidor	Imagen
Medidores de Cabeza Variable	Tubo Venturi: La presión varía en la cercanía de la sección estrecha; así, al colocar un manómetro o instrumento en el cuello se puede medir la caída de presión y calcular el caudal instantáneo.	 Fuente: http://tarwi.lamolina.edu.pe/~dsa/Medidores.htm
	Placa de Orificio: La placa se coloca en forma concéntrica dentro de una tubería, lo que provoca que el flujo se contraiga conforme se aproxima al orificio y luego se expanda de repente al diámetro total de la tubería.	 Fuente: http://www.gnceros.com.ar/phpBB/viewtopic.php?f=3&t=8150&start=180
	Fluxómetro de Turbina: El fluido causa que el rotor de la turbina gire a una velocidad dependiente de la velocidad del flujo. Según cada una de las aspas de rotor transita a través de una bobina, se crea un pulso de voltaje que puede leerse en un medidor de frecuencia.	 Fuente: http://www.directindustry.es/prod/roxspur-measurement-control/product-18080-505263.html
	Fluxómetro de Ultrasonido: Consiste en la emisión de señales provenientes de sondas pares, emisor y receptor. Pueden ser de efecto Doppler y de Tránsito.	 Fuente: http://www.enviromontel.co.uk/panametrics-pt878-pumped-flow-monitor-none-intrusive/

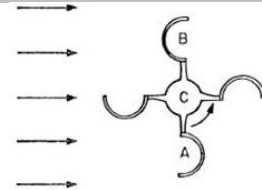
Tubo Pitot: Un tubo es colocado enfrente contra el sentido del flujo de manera que los extremos abiertos receptan la corriente de flujo, provocando un cambio de presión en la punta del tubo, de manera que soporta una columna de líquido.



Fuente:

<http://ishtar.df.unibo.it/mflu/eser/tutti/bernoulli/3.html>

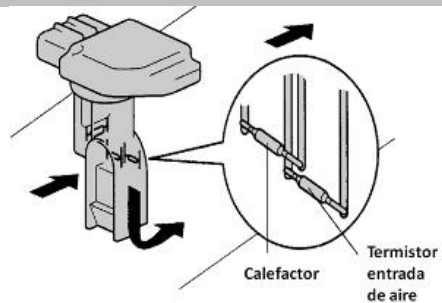
Anemómetro de Copas: Son generalmente utilizados para medir la velocidad del viento, posee tres copas montadas en un eje vertical que capturan el viento, de esta forma se registra el número de rpm.



Fuente:

<http://hidraulica.umich.mx/bperez/ruidopendulos.htm>

Anemómetro de Alambre Caliente: Mide la velocidad del flujo detectando los cambios en la transferencia de calor de un hilo o lamina calentada eléctricamente, expuesta al flujo a medir.

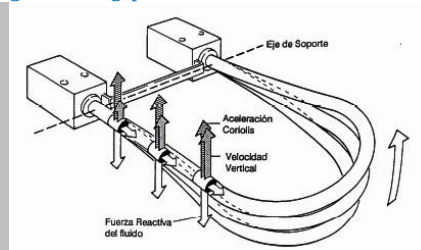


Medidores Térmicos: Una resistencia de platino cambia su temperatura a razón del aumento de flujo.

Fuente:

http://gerardo-galicia.blogspot.com/2013_06_01_archive.html

Caudalimetro de Coriolis: Dos tubos en U oscilan a una frecuencia fija, el flujo distorsiona las oscilaciones, en función de la masa y velocidad.



Fuente:

http://www.tecnoficio.com/electricidad/instrumentacion_industrial6.php

Nota: Los diferentes medidores de flujo, pueden realizar ciertos cálculos en función del área en donde se realiza la medición y además de las condiciones ambientales y las características del fluido, para de esta manera poder expresar el flujo en las unidades que nos sean convenientes, Flujo Másico, Flujo Volumétrico, Velocidad, etc.

MARCO METODOLÓGICO

5. DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN BANCO FLUJÓMETRO

5.1. DISEÑO DEL BASTIDOR DE SOPORTE DEL BANCO:

Para el desarrollo del proyecto, es necesario plantear los diferentes requerimientos de manejo del equipo, adecuación de los instrumentos y equipos de medición internos y así a su vez, determinar las dimensiones en las que mejor se ajusten los diferentes sistemas, y se puedan realizar las pruebas correspondientes con simplicidad, tomando en cuenta las dimensiones y el peso de los componentes a medir.

Habiendo determinado cada uno de los factores principales, de los cuales depende el diseño del bastidor principal, que conformara en sí, el banco flujometro. Se establecen las características principales de dimensionamiento según el uso del banco, para una persona promedio de nacionalidad ecuatoriana. Por lo que la característica fundamental de dimensionamiento que se debe tomar en consideración, para el desarrollo del banco flujometro, de manera que facilite su correcta y cómoda utilización, es el promedio de estatura de una persona capacitada para la utilización del equipo y de esta manera determinar la ubicación de los elementos de control y visualización situados en el banco.

Tabla 5: Promedio de Estatura de los Ecuatorianos.

Fuente: <http://datalatinamerica.blogspot.com/2012/10/estatura-de-los-latinoamericanos.html>

Genero	Promedio de Estatura
Masculino	1.68 cm
Femenino	1.53 cm
Estatura Media	1.60 cm

5.1.1. Diseño de la Estructura del Banco:

Teniendo como punto de partida, el factor puntual de la estatura promedio de las personas, que en su mayoría manipularán el banco, ponemos en consideración que posteriormente se realizara un análisis de ergonomía que evalué las condiciones de manejo del banco, principalmente teniendo en cuenta la visualización de los resultados que presenten los componentes en los que se realicen las mediciones.

Para el diseño de la estructura del banco, en primera instancia, es forzosa la necesidad de establecer la mesa de apoyo de los componentes a medir, por lo que el dimensionamiento de la misma se basa en que “Ergonómicamente el plano donde se asentarán los instrumentos de medición y la culata, debe tener una altura de 1 m^{11} . En nuestro caso damos a conocer, que el montaje de los elementos a medir, no se realizara directamente sobre el plano de la mesa, sino al contrario, se implementara un soporte, el mismo que alojara acoples de diferente diámetro de entrada, según las dimensiones de las culatas y componentes diversos a medir.

La elección de los materiales se hace en fusión de la disponibilidad, las características del material y además la forma de unión que se pueda dar entre los elementos de estructura y revestimiento del banco.

¹¹ HERNÁNDEZ, Javier; Ergonomía.

Tabla de Ponderación 1: Elección del Material Estructural.

Fuente: Catalogo de Acero DIPAC.

TUBO CUADRADO ASTM A-513		Espesor mm	Tipo de Corte	Soldadura	Peso kg/m	Precio \$	TOTAL
30 x 30 mm	Especificación	1.00	Cortadora	Arco Eléctrico	0.92	11.00	13
	Calificación	3	3	3	2	2	
25 x 25 mm	Especificación	0.8	Arco de Sierra	Arco Eléctrico	0.76	8.00	12
	Calificación	2	1	3	3	3	
40 x 40 mm	Especificación	1.00	Cortadora	Arco Eléctrico	1.23	16.00	10
	Calificación	3	3	2	1	1	

***Excelente= 3, Buena=2, Aceptable: 1.**

Nota: Considerando que si bien el tubo estructural cuadrado de 25 mm representa también ser una acertada elección, debemos tomar en cuenta que el corte y la soldadura son factores importantes al momento de manipular el material por lo que son de relevancia y por ello se descarta esta elección.

Dado que según las características evaluadas y las necesidades constructivas del bastidor, indican que el material seleccionado es el adecuado y nos representa la mejor opción para llevar a cabo el bastidor, tomamos como material estructural para la construcción del mismo el tubo cuadrado ASTM A-513 de 30 x 30 mm y 1 mm de espesor.

Partiendo de la elección del material de la estructura procedemos al diseño del bastidor que contendrá los elementos de medida, control y visualización del banco.

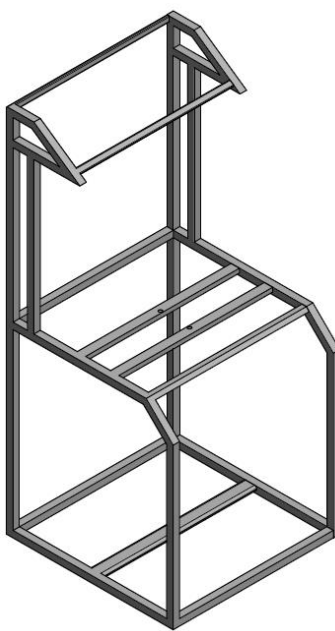


Figura 6: Diseño del General del Soporte Bastidor.

Fuente: El Autor

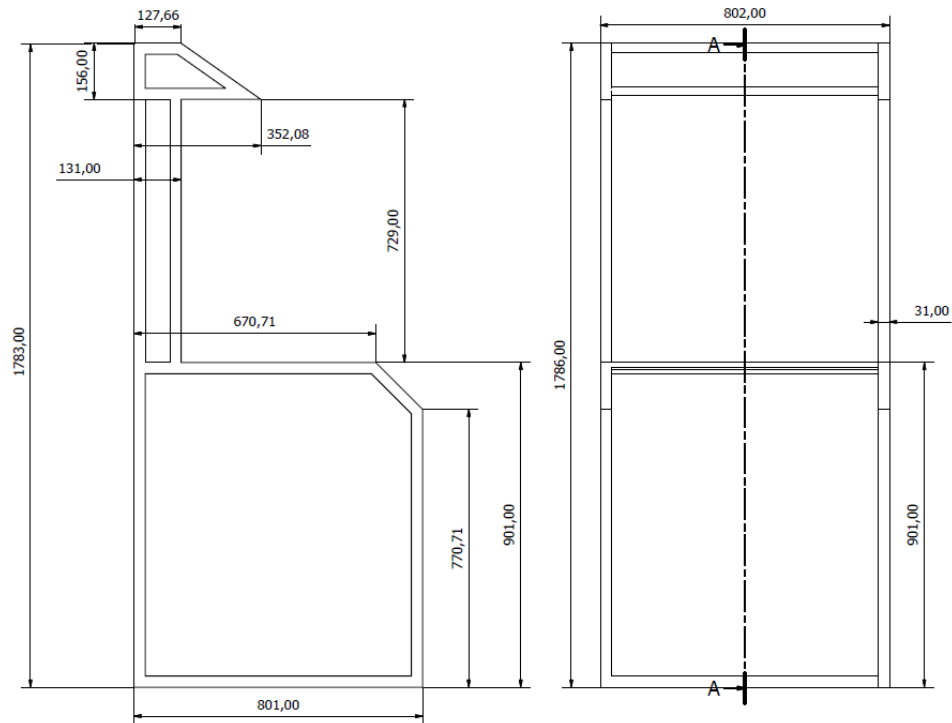


Figura 7: Diseño del General del Soporte Bastidor con las Medidas Relevantes.

Fuente: El Autor

Es necesario indicar que para el diseño del bastidor se tomó en cuenta que, el mismo se someterá a esfuerzos, lo cuales estarán concentrados en diferentes partes de la mesa de trabajo, por lo que se dimensionaron elementos de apoyo que sostendrán los componentes a medir y brindaran la seguridad constructiva necesaria.

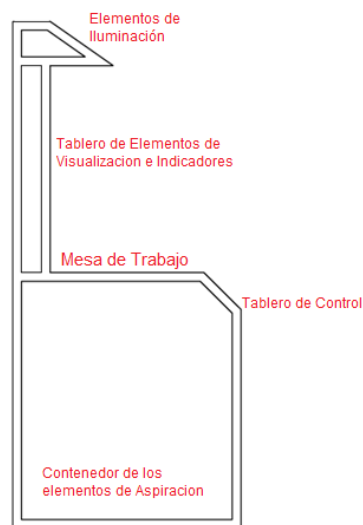


Figura 8: Vista Lateral y Detalle de la Ubicación de los Elementos.

Fuente: El Autor

De acuerdo al diseño se deba acondicionar la maqueta para su presentación, de esta manera resulta que la misma debe tener un revestimiento capaz de aislar los instrumentos interiores y también brindar la presentación adecuada de un equipo, teniendo presente el peso global de la maqueta y su facilidad de traslado. Para la selección del material de revestimiento tenemos en cuenta factores que se indican y califican a continuación:

Tabla de Ponderación 2: Elección del Material de Revestimiento.

Fuente: Catálogo de Productos MASISA.

REVESTIMIENTO		Espesor mm	Tipo de Corte	Sujeción	Acabado	Precio \$	TOTAL
MDF	Especificación	9	Calado	Remache	-	27.00	14
	Calificación	3	3	3	3	2	
Placa	Especificación	12	Calado	Remache	-	18.00	13
	Calificación	2	3	3	2	3	
Acero	Especificación	1.2	Calado	Suelda	-	-	8
Laminado	Calificación	1	1	2	3	1	

*Excelente= 3, Buena=2, Aceptable: 1.

La elección del revestimiento de MDF, se basa en que el acabado que el mismo brinda en comparativa con la placa aglomerada no necesita de trabajo de pulido de las superficies y de igual manera el espesor disponible de aglomerado es mayor al del MDF, lo que llega a significar un aumento de peso en la maqueta.

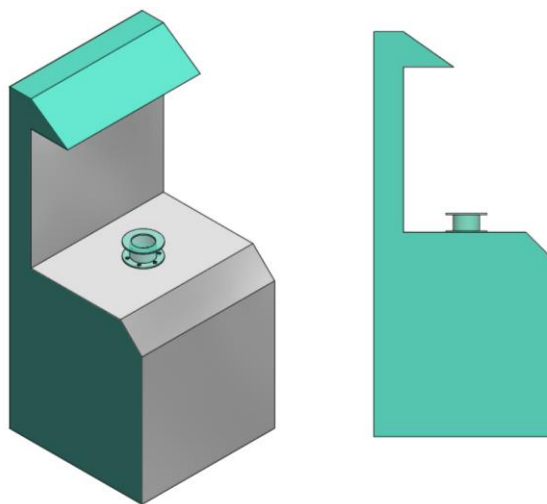


Figura 9: Diseño Final de la Maqueta con los Revestimientos y Pintura.

Fuente: El Autor.

5.1.2. Diseño del Soporte de Componentes a Medir:

Para maniobrabilidad del banco, en cuanto respecta a la colocación y adecuación de los elementos a medir y además tomando en cuenta la reducción de peso que significa, reducir la altura de la caja que soporta los elementos internos y además los componentes del motor a medir, es recurrente la implementación de un soporte que sobresalga de la mesa y que se sitúe a la altura indicada según el análisis de ergonomía, es decir la altura de la mesa será menor a 1 metro, pero se compensara la misma con el soporte que sobresale y cumple con la altura indicada.

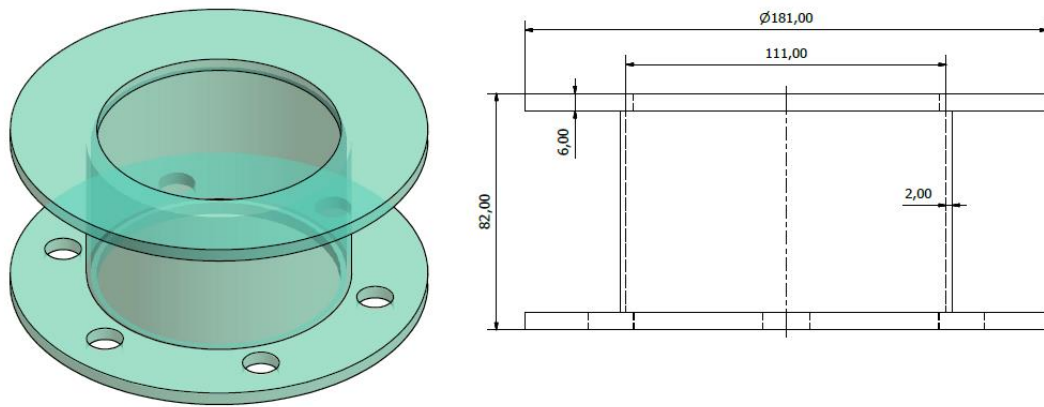


Figura 10: Diseño del Soporte de Culatas y su Dimensionamiento.

Fuente: El Autor.

La construcción del soporte se direcciona hacia contener el peso de los elementos a medir, por lo que en el bastidor es necesario colocar una estructura que domine el peso de dichos elementos y los distribuya hacia la estructura mas no hacia el revestimiento superior de la mesa, el cual podría sufrir daños al sufrir una deflexión.

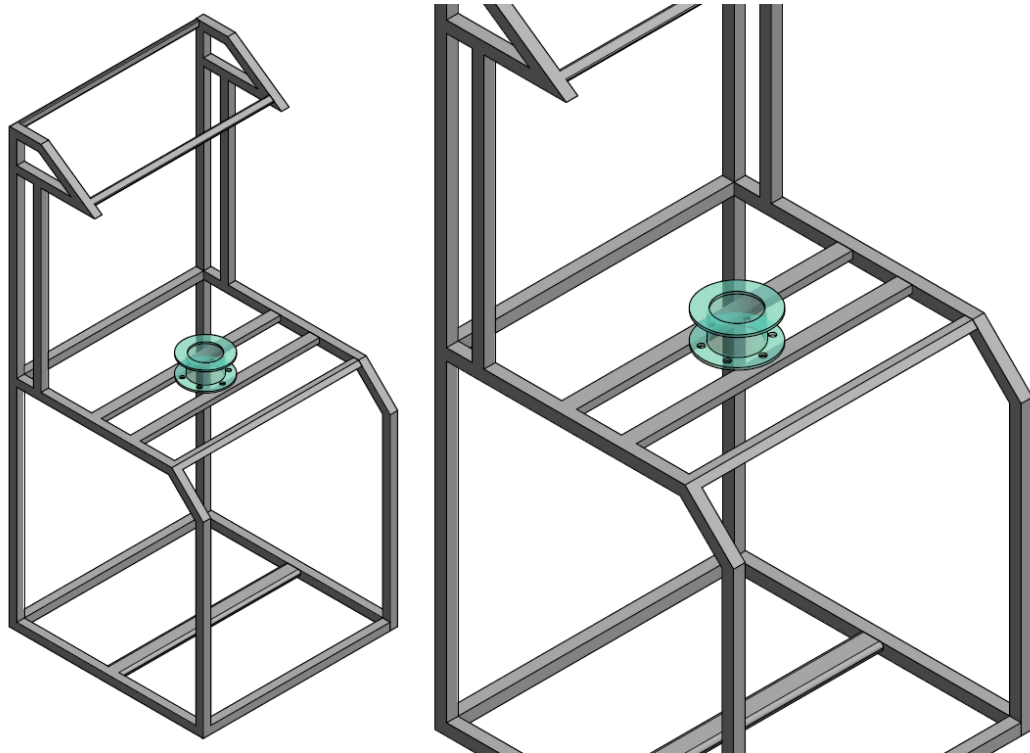


Figura 11: Acoplamiento del Soporte de Culatas en la Estructura del Bastidor.

Fuente: El Autor.

El soporte, si bien actúa como una superficie para sostener las culatas, surge la necesidad de que el equipo necesite de acoples que ayuden a realizar un ajuste, entre la culata y el sistema de aspiración, que evite puntos por donde se pueda filtrar el aire de entrada y de esta manera obtener medidas erróneas.

Dado que los vehículos disponen de diversos tipos de culatas según la cilindrada del motor, el diámetro de los cilindros variara, siendo así que el diámetro de la cámara de combustión también lo hará en proporción, por lo que el banco de pruebas debe ajustarse a las diferentes dimensiones, que pudiesen existir, tomando en cuenta que, los acoples correspondientes deberán servir para varias medidas de tipos de cámara de combustión.

De esta manera surge la necesidad de dimensionar los mismos, lo cual se realizara en base a las medidas estándar de las culatas de los vehículos, que son comúnmente preparados en el Ecuador para las diferentes disciplinas de competición. En el siguiente cuadro, se detallan las medidas del cilindro de la mayoría de vehículos, que compitieron en el Campeonato Nacional de rally de Ecuador en el año 2015, para los cuales se realiza un ajuste de los acoples, para la medición del flujo.

Tabla 6: Datos de los Vehículos y Diámetro Promedio de los Acoples.

Fuente: El Autor.

	Diámetro	Carrera	Cilindrada	Diámetro de Acople
CHEVROLET SPARK 1.2 16V LTE	69,7	79	1206 cc	68 mm - 75 mm
HYUNDAI i10 1.2 CV Tecno	71	78,8	1248 cc	
KIA PICANTO	71	84	998 cc	
DATSUN A12	73	70	1171 cc	
SUZUKI FORSA G10	74	75,5	998 cc	
SUZUKI FORSA G13b	74	77	1298 cc	
SUZUKI VITARA 3P	75	90	1590 cc	
PEUGEOT 206 1.4	75	77	1361 cc	
VOLKSWAGEN POLO	76,5	75,6	1390 cc	
HYUNDAI i30 MPI	77	85,4	1591 cc	
CHEVROLET CORSA 1.4	77,6	73,4	1388 cc	75 mm - 80 mm
NISSAN MARCH	78	83,6	1598 cc	
PEUGEOT 206 1.6	78,5	82	1587 cc	
CHEVROLET AVEO	79	81,5	1598 cc	
TOYOTA CELICA	79	91,5	1794 cc	
HONDA CIVIC	81	87,3	1799 cc	
CHEVROLET CORSA 1.8	84,8	79,5	1796 cc	80 mm - 95 mm
MITSUBISHI EVO VIII	85	88	1997 cc	
MITSUBISHI EVO MR Tc- 55T	86	86	1998 cc	
SUBARU IMPREZA 2R Sport	92	75	1994 cc	

En base a los datos de cada uno de los vehículos, el diámetro de cada uno de los acoples, busca ajustarse de la mejor manera a cada uno de ellos, teniendo en cuenta que para algunas culatas existirá un acople que sea de mayor o menor diámetro, por lo que se

deberá poner énfasis en cuál es el acople que se corresponde de mejor manera a las dimensiones de los cilindros de cada culata.

Para el diseño de los acoples en primer lugar debemos tener en consideración, la complejidad que podrían llegar a tener los mismos, lo cual representara complicaciones en la manufactura y un costo elevado. Por lo que analizamos en comparativa los materiales utilizados y el costo de producción, en base a los procesos disponibles para la obtención de los acoples.

Tabla de Ponderación 3: Elección del Material y Tipo de Fabricación.

Fuente: SAIS 3D.

ACOPLES		Tipo de Producción	Acabado Superficial	Material	Precio \$/hora	TOTAL
Impresión 3D	Especificación	Extracción de Plástico	Fino	Plástico PLA	4	12
	Calificación	3	3	3	3	
Torneado	Especificación	Arranque de Viruta	Medio	Grilon	15	8
	Calificación	2	2	3	1	

*Excelente= 3, Buena=2, Aceptable: 1.

La elección en cuanto al tipo de fabricación de los acoples, resulta ser de la impresión 3D, debido a que es una forma fácil y precisa de producir diseños complejos, a partir de la elección de la forma de fabricación, realizamos el diseño de los acoples de manera que se ajusten de la mejor manera posible, tanto al soporte de componentes como a los conductos de aspiración.

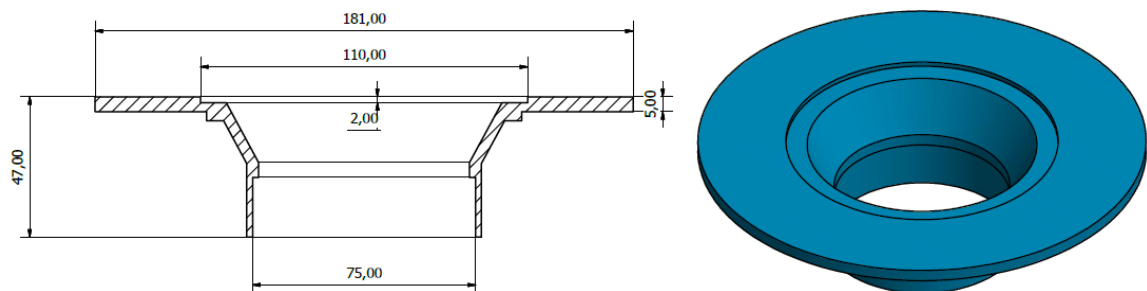


Figura 12: Acople general para los conos de culatas.

Fuente: El Autor.

Un punto importante a no perder de vista en el diseño de los acoples es el hecho de que el mismo debe cumplir con las dimensiones de los conductos de aspiración para de esta manera calzar a la perfección y no representar cambios de sección bruscos.

El acople general sirve para alojar los acoples con las diferentes medidas de cilindros, de manera que estos ensambles entre acople general y de diámetro de cilindro, calzan perfectamente, permitiendo un flujo sin restricciones en el interior del conjunto y los conductos de aspiración.

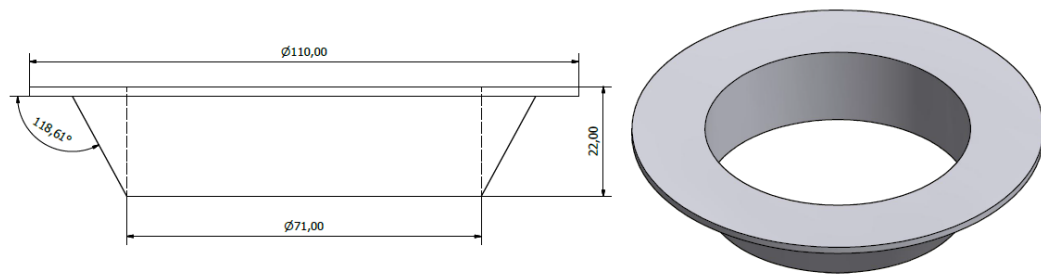


Figura 13: Acople para culatas con diámetro de cilindros de hasta 75mm.

Fuente: El Autor.

El acople con este diámetro, se diseña en forma de cono para calzar en el acople general de forma rápida, y está diseñado para culatas de motores con diámetro de cilindros de hasta 75mm.

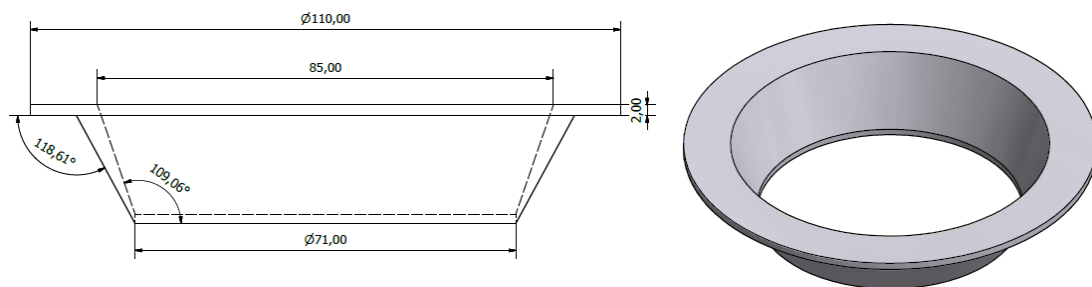


Figura 14: Acople para culatas con diámetro de cilindros de hasta 85mm.

Fuente: El Autor.

El acople de 85mm está diseñado para motores de hasta 85mm de diámetro del cilindro.

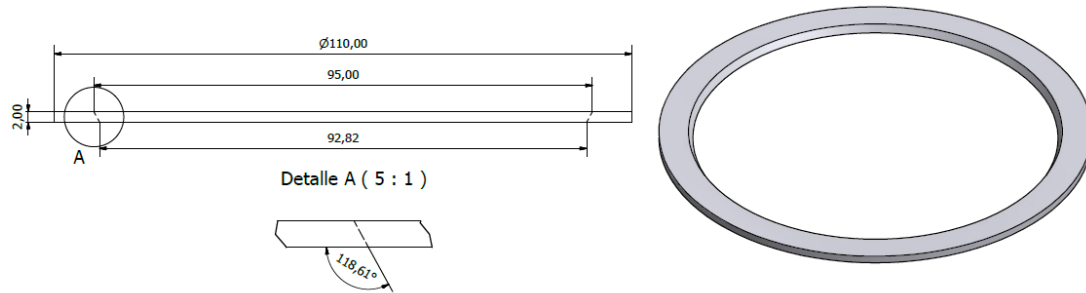


Figura 15: Acople para culatas con diámetro de cilindros de hasta 95mm.
Fuente: El Autor.

La peculiaridad de los acoples es la forma de cono que se ajusta a la forma interior del acople general. La cual se indica notablemente en el acople de 95mm. El ajuste provoca un cambio de sección suave, por lo que el flujo transita sin dificultad ni perturbaciones por la forma de cono que describen los acoples de culata y el acople general de soporte.

5.1.3. Evaluación de Ergonomía del Bastidor y sus Componentes:

Se realiza una evaluación de ergonomía de los diferentes conjuntos que son parte del banco de pruebas, para de esta manera establecer si las posturas y la comodidad que se obtiene al manejar el equipo son satisfactorias y no llegaran a provocar malestares durante su uso prolongado.

5.1.3.1. Ergonomía Método REBA:

El método R.E.B.A (Rapid Entire Body Assessment), se utiliza para evaluar los diferentes riesgos de sufrir alteraciones corporales, según las posturas forzadas a las cuales un trabajador está sometido en su área de trabajo.

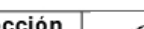
La evaluación según el método R.E.B.A, implica la utilización de diversas tablas, en donde se ven reflejadas valoraciones, según el tiempo de exposición durante el ciclo

de trabajo, además evaluar el accionamiento muscular debido a las cargas a las cuales se someten los trabajadores, y de igual forma evalúa los riesgos a los que se someten las personas cuando adoptan ciertas posturas.

Para nuestro caso en particular evaluaremos, de forma concreta los miembros que intervienen durante la utilización del Banco Flujometro, que resultan ser: la cabeza y las extremidades superiores. La evaluación se realizara con la ayuda de un programa realizado en Excel, el cual nos limita a la introducción de valores según la utilización de las extremidades para evaluar el riesgo de la utilización del banco.

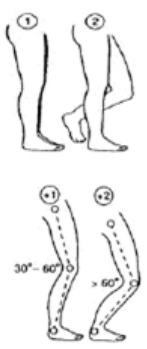
A continuación podemos observar los datos ingresados y sus valores según los indicadores del método, teniendo en cuenta la estatura promedio de las personas que utilizarán el banco de pruebas.

CUELLO

Movimiento	Puntuación	Corrección		2
0º-20º flexión	1	Añadir + 1 si hay torsión o inclinación lateral		
>20º flexión o en extensión	2			

2

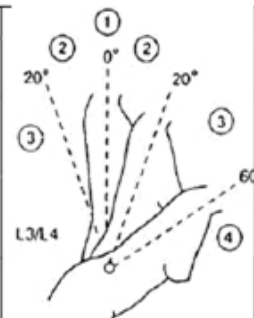
PIERNAS

Movimiento	Puntuación	Corrección	
Soporte bilateral, andando o sentado	1	Añadir + 1 si hay flexión de rodillas entre 30° y 60°	
Soporte unilateral, soporte ligero o postura inestable	2	Añadir + 2 si las rodillas están flexionadas + de 60° (salvo postura sedente)	

1

Figura 16: Análisis según el Método REBA para Cuello y Piernas, con su respectiva Puntuación.
Fuente: Sue. Hignett, Lynn. McAtamney. (2000). Rapid Entire Body Assessment (REBA). *Applied Ergonomics*, 31(2).

TRONCO

Movimiento	Puntuación	Corrección	
Erguido	1	Añadir + 1 si hay torsión o inclinación lateral	
0º-20º flexión 0º-20º extensión	2		
20º-60º flexión >20º extensión	3		
> 60º flexión	4		

1

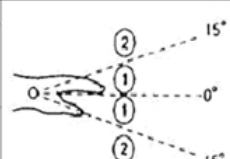
CARGA / FUERZA

0	1	2	+ 1	3
< 5 Kg.	5 a 10 Kg.	> 10 Kg.	Instauración rápida o brusca	

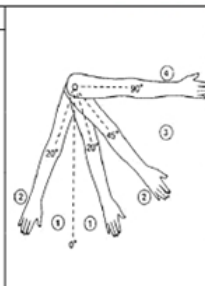
Figura 17: Análisis según el Método REBA para Tronco y la Carga a la que se someten.
Fuente: Sue. Hignett, Lynn. McAtamney. (2000). Rapid Entire Body Assessment (REBA). *Applied Ergonomics*, 31(2).

Dado a que la intervención mas importante durante la operación del equipo se provoca con la utilizacion de los miembros superiores, es decir los brazos, se analiza cada uno de las partes de las extremidades superiores.

MUÑECAS

Movimiento	Puntuación	Corrección		1
0°-15° flexión/ extensión	1	Añadir + 1 si hay torsión o desviación lateral		
>15° flexión/ extensión	2			

BRAZOS

Posición	Puntuación	Corrección	
0º-20º flexión/ extensión	1	Añadir: + 1 si hay abducción o rotación.	
>20º extensión	2	+ 1 si hay elevación del hombro.	
flexión 20º-45º	2	-1 si hay apoyo o postura a favor de la gravedad.	
flexión 45º- 90º	3		
>90º flexión	4		

2

Figura 18: Análisis según el Método REBA para los Miembros de las Extremidades Superiores.
Fuente: Sue. Hignett, Lynn. McAtamney. (2000). Rapid Entire Body Assessment (REBA). *Applied Ergonomics*, 31(2).

Los resultados obtenidos de acuerdo al análisis según el método de ergonomía REBA, denotan cierto grado de riesgo determinado por la postura momentánea que se adopta al colocar y mantener fijos los elementos que van a ser sometidos a las mediciones, que ciertamente tienen un peso considerable y debido al tiempo de exposición a los esfuerzos a realizarse, resulta de riesgo aceptable para los operarios, los resultados mas detallados se presentan en el grafico siguiente:

Actividad muscular:

Una o más partes del cuerpo permanecen estáticas
 No existen movimientos repetitivos
 No se producen cambios posturales importantes ni posturas inestable:

NIVELES DE RIESGO Y ACCIÓN:	
Puntuación final REBA⁽¹⁻¹⁵⁾	5
Nivel de acción⁽⁰⁻⁴⁾	2
Nivel de riesgo	Medio
Actuación	Es necesaria la actuación

Figura 19: Resultados de la Evaluación según el Método REBA e Indicadores de las Actividades Musculares a Realizar durante la Operación del Equipo.

Fuente: Sue. Hignett, Lynn. McAtamney. (2000). Rapid Entire Body Assessment (REBA). *Applied Ergonomics*, 31(2).

5.2. DISEÑO DEL SISTEMA DE ASPIRACIÓN:

Para el diseño del sistema de aspiración, es necesario tomar en cuenta, cuál va a ser el sistema que generará el caudal de aspiración, así como sus características y las especificaciones. Teniendo en cuenta cada uno de los elementos que conformaran el sistema de aspiración, tenemos que verificar las dimensiones y características para poder acondicionar cada uno de los componentes en la maqueta.

5.2.1. Generador de Aspiración:

El sistema de aspiración, es el encargado de generar la simulación de la succión de aire que ingresa al motor en diferentes regímenes. Existen variados tipos de sistemas capaces de realizar la aspiración de aire, por lo que para la aplicación que nosotros requerimos, es primordial, destacar las especificaciones fundamentales necesarias para el desarrollo del proyecto.

Tabla de Ponderación 4: Elección del Generador de Aspiración.

Fuente: Manual Soplador/Aspirador IKRA Mogatec.

ASPIRADORA		Peso kg	Precio \$	Capacidad CFM	Accionamiento	TOTAL
Soplador Industrial	Especificación	5	105	500	Eléctrico	8
	Calificación	1	1	3	3	
Aspirador Domestico	Especificación	3	65	120	Eléctrico	9
	Calificación	2	3	1	3	
Aspirador de Jardín	Especificación	1	85	320	Eléctrico	11
	Calificación	3	2	3	3	

*Excelente= 3, Buena=2, Aceptable: 1.

Teniendo en cuenta todos los aspectos que caracterizan las aspiradoras disponibles en el mercado, la elección se orientó hacia la Aspiradora/Sopladora de jardín IKRA BV2800E, la cual según la capacidad de aspiración que posee resulta ideal para nuestra aplicación, dado que el rango de unidades de flujo volumétrico, que normalmente las culatas de vehículos de alto cilindraje desarrolla esta alrededor de los 290 CFM. Además la elección de esta aspiradora represento una ventaja notable en cada uno de los campos en los que se la evalúa.



Figura 20: Aspiradora/Soplador Ikra Mogatec BV2800E.
Fuente: Ikra Mogatec GmbH.

Tabla 7: Especificaciones Técnicas de la Aspiradora Seleccionadas.
Fuente: El Autor.

Características	Descripción
Modelo	Ikra Mogatec BV2800E
Potencia	2800 W
Alimentación	120 V
Aspiración	320 CFM
Revoluciones	8000/14000 rpm

5.2.2. Diseño de los Conductos de Aspiración:

Los conductos de aspiración, se seleccionan a partir de la disposición del sensor de flujo de aire que ira incorporado en la maqueta y que realizara el muestreo y la entrega de señal para la interpretación de flujo volumétrico.

Por lo que para la elección del sensor de flujo volumétrico, analizamos las diferencias entre cada uno de los disponibles en el mercado, y de acuerdo a los

resultados de la ponderación, se elige el que sea de mayor versatilidad para el banco flujometro.

El diámetro del sensor, es la característica más importante a tomar en cuenta al momento de dimensionar los tubos de aspiración, teniendo presente que en el equipo los cambios de sección provocaran cambios bruscos en el flujo, además de turbulencias, que podrían interferir en la medición del sensor.

Tabla de Ponderación 5: Elección del Sensor de Flujo Volumétrico.
Fuente: Herko Emission Sensors 2015.

SENSOR MAF		Tipo de Lectura	Precio \$	Diámetro mm	TOTAL
Motorcraft AFLS163	Especificación	Digital	45	85	4
	Calificación	1	1	2	
Herko	Especificación	Analógica	25	80	9
	Calificación	3	3	3	
AC Delco 213	Especificación	Digital	30	Lámina	4
	Calificación	1	2	1	

La elección del sensor de flujo, se basa principalmente en la manera de interpretación de la señal, por lo que resulta que elegimos el sensor HERKO MAF 218 con un diámetro de 80 mm, el cual procesa el flujo en función de una señal analógica de voltaje proporcional, a comparación de los demás sensores analizadas los cuales procesan la señal de forma digital con variación de frecuencia, lo cual dificultara la interpretación de la señal en el microprocesador.



Figura 21: Sensor de Flujo MAF HERKO MAF 218.
Fuente: Herko Emission Sensors 2015.

Luego de haber seleccionado el sensor que se utilizara, podemos elegir los conductos de aspiración que se ajusten al mismo en función del diámetro de la carcasa del sensor. Por lo que la elección de los tubos de aspiración se limita únicamente al costo y al diámetro del tubo elegido.

Tabla de Ponderación 6: Elección del Tubo de Aspiración.
Fuente: Plastigama.

TUBO		Diámetro mm	Precio \$	Espesor mm	TOTAL
PLASTIGAMA	Especificación	75 mm	11.5	1.8	9
	Calificación	3	3	3	
	Especificación	85 mm	14	2	6
	Calificación	1	2	3	

Al no existir en el mercado el diámetro del tubo, que calce perfectamente en el sensor MAF de 80mm de diámetro, y los procesos de manufactura de una tubería del diámetro indicado resultan costosos, la elección que realizamos la hacemos en base a que el tubo de menor diámetro, con el espesor indicado es maniobrable con calor, por lo que lo agrandaremos a nuestra disposición y lo conformaremos de la forma adecuada para evitar los cambios de sección bruscos, la opción de elegir un tubo de mayor diámetro resulta ser errónea, debido a que existirá un cambio de sección de menor a mayor diámetro, lo que provocara perturbaciones en el flujo de aspiración.



Figura 22: Acople entre el Sensor y los Tubos de Aspiración.
Fuente: El Autor.

5.2.3. Diseño del Acople del Anemómetro:

Un punto importante del sistema de aspiración, es la capacidad de receptar los datos de flujo, tanto en el sensor, como en un instrumento que nos permita conocer dichos datos en la magnitud adecuada, para poder procesarlos según la señal de voltaje del sensor y acondicionarlos en el microprocesador según la medida en CFM indicada en el anemómetro. La elección del anemómetro se basa esencialmente en las unidades de medida que se puedan visualizar en el mismo para no prescindir de realizar conversiones de unidades que puedan comprometer la exactitud de medida de los instrumentos utilizados.

Tabla de Ponderación 7: Elección del Anemómetro Digital.

Fuente: Portales de Compras Online.

ANEMOMETRO		Unidades de Medida	Precio \$	Ubicación	TOTAL
MASTECH MS6252B	Especificación	Velocidad, Flujo	66.44	Estados Unidos	8
	Calificación	3	3	2	
Smart Sensor	Especificación	Velocidad	48	Ecuador	7
	Calificación	1	3	3	
Dawson DAM100B	Especificación	Velocidad, Flujo	168	Ecuador	7
	Calificación	3	1	3	

Nota: La calificación otorgada en la ubicación, se realiza en función de las facilidades de compra y envío hacia Ecuador.

El anemómetro seleccionado para el desarrollo del proyecto es el modelo MS5252B, de la marca Mastech, el mismo que tiene por característica fundamental la medición de flujo volumétrico en función de la sección en la cual se quiere medir, lo que representa que dentro de la puesta a punto del anemómetro, es preciso ingresar la sección de tubo en donde se va a realizar la medición, para que de esta manera el anemómetro calcule el flujo en función de la velocidad del aire que transita por dicha sección.



Figura 23: Anemómetro Digital MASTECH MS6252B.
Fuente: http://www.aliexpress.com/mastech-ms6252b_reviews.html

Además de realizar las mediciones de flujo volumétrico con el anemómetro, rescatamos una función especial del mismo, la cual de igual manera será utilizada para visualizar en el display de la maqueta, porque es rescatable la importancia en cuanto a su intervención en la medición de flujo, tal como lo es la velocidad del aire, medida y visualizada específicamente en m/s para la mejor interpretación de los usuarios del flujometro, dado a que son las unidades de medida utilizadas en nuestro medio.

5.2.4. Diseño de la Caja de Aspiración:

Habiendo seleccionado el tipo de generador de las aspiración, y detallando las dimensiones características de la boca de entrada y salida de la aspiradora, procedemos a diseñar y dimensionar la caja de aspiración que acondicione el aire, de acuerdo al cambio de sección que se presenta al tener un tubo del diámetro seleccionado 75mm según las dimensiones del sensor y la sección de entrada de la aspiradora, que resulta ser

de mayor sección. Por lo que la caja de aspiración deberá ajustar el cambio de sección en cuanto a su forma y a sus dimensiones.

Tomando en cuenta las dimensiones de la aspiradora y el tubo de aspiración, el proceso de diseño, incorpora una caja capaz de direccionar el flujo y mantener al mismo sin perturbaciones, es decir mantener el flujo laminar producido por la aspiradora y evitar que se transforme en flujo turbulento, durante el trayecto por el tubo del sensor, lo que podría provocar errores de medida.

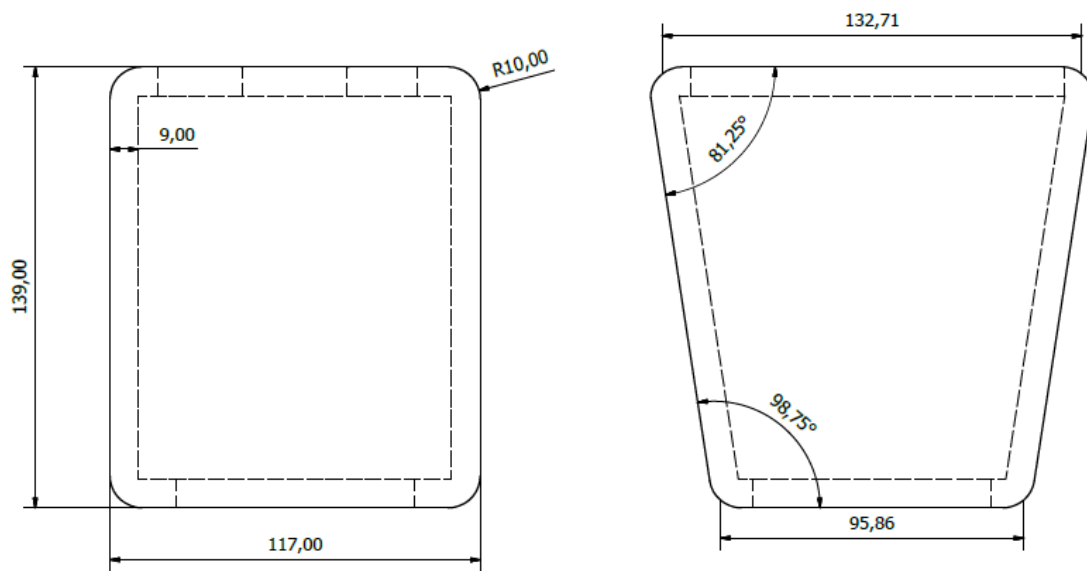


Figura 24: Dimensiones de la caja de aspiración en su vista frontal y lateral.

Fuente: El Autor.

Para dimensionar la caja se toma en cuenta, que el material utilizado para su construcción es el MDF de 9mm de espesor, la caja se diseñó de manera que las medidas se ajusten al conducto de aspiración y al tubo de aspiración de la aspiradora, por lo que los límites tanto del conducto, como del tubo de aspiración, quedaran muy próximos a los de la caja delimitados por las paredes internas de la misma.

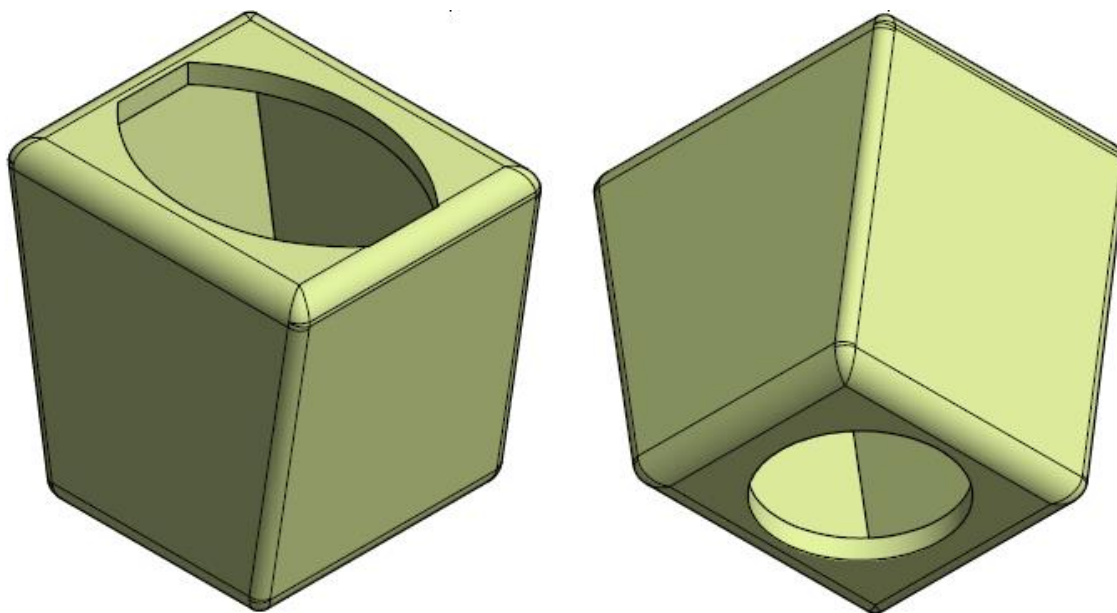


Figura 25: Izquierda, parte inferior de la caja de aspiración, con ajuste para la boca de la aspiradora; Derecha, parte superior de la caja con el ajuste para el conducto de aspiración.

Fuente: El Autor.

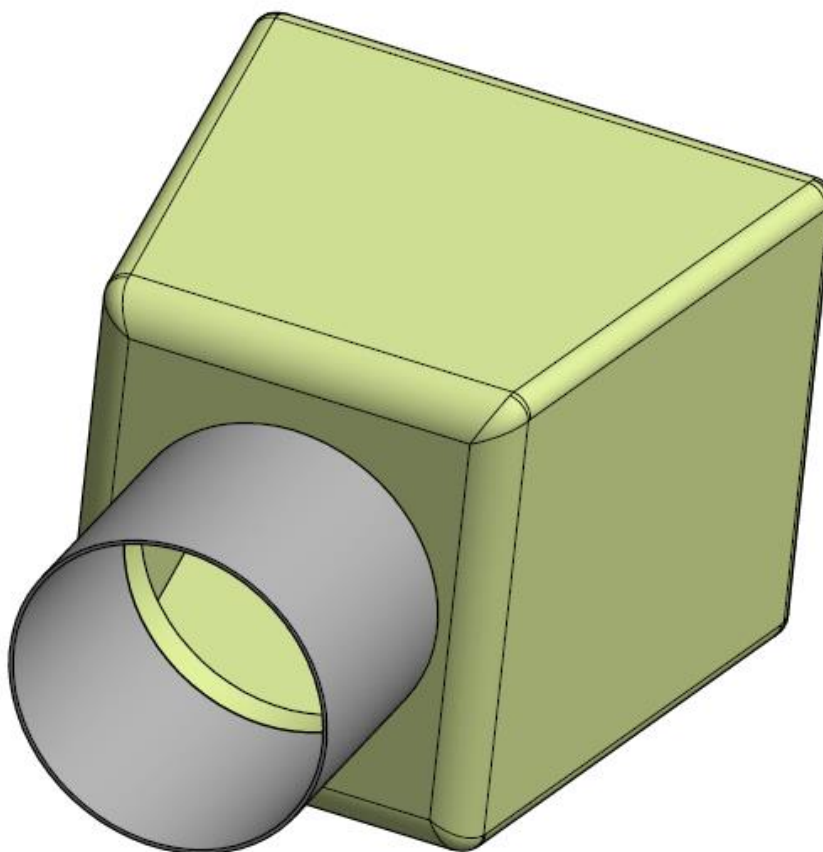


Figura 26: Ensamble del conducto de aspiración en el orificio de entrada de la caja.

Fuente: El Autor.

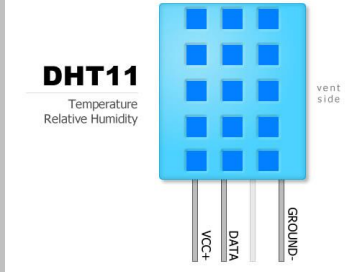
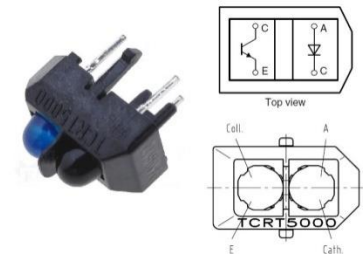
5.3. DISEÑO DE LOS CIRCUITOS ELECTRÓNICOS:

Los circuitos electrónicos son de suma importancia en el desarrollo del flujometro digital, ya que debido a ellos, se pueden obtener y procesar las diferentes señales registradas que se presentaran en el equipo, así de igual manera una de las partes fundamentales del equipo es la forma de visualización, que en nuestro caso será totalmente digital por medio de la utilización de un display GLCD 128x64. Por lo que para la adquisición, interpretación y procesamiento de datos de cada sensor emplazado en la maqueta, tendremos que prescindir de un circuito electrónico que alimente y recepte la señal de cada uno de los sensores utilizados.

A continuación enumeraremos los sensores, características y funciones, que se emplazan en la maqueta, los mismos que cumplen la función específica de caracterizar los parámetros climáticos y de ubicación geográfica del equipo, además de indicar el rango de funcionamiento en rpm del motor de la aspiradora:

Tabla 8: Sensores y características de medición.

Fuente: El Autor.

ITEM	DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS	IMAGEN
DHT11	El DHT11, es un sensor de humedad y temperatura, con salida de datos digitales.	Rango de Medición: 20-90%HR 0-50°C Precisión: $\pm 5\%$ HR ± 2 °C	 Fuente: http://steve.zazeski.com/arduino-dht11-temperature-and-humidity-data-logger/
BMP180	El BMP180, es un sensor de presión barométrica y temperatura de precisión, con un interfaz de comunicación I2C.	Rango de Medición: 300-1100hPa	 Fuente: http://flatwatertradingpost.com/?ec_store=pressure-sensor-bmp180
TCRT 5000	Es un sensor óptico reflexivo, que posee un emisor de luz infrarroja y un receptor fototransistor, el cual recepta una señal cuando un objeto refleja la luz.	Método de muestreo: Reflectivo. Longitud de Onda: 950nm.	 Fuente: http://www.azmeer.info/arduino-line-following-robot-part-3/

NOTA: Para la alimentación de los sensores es importante tener en cuenta la forma en la que se comunican con el microprocesador, así como el voltaje que requiere cada uno de ellos.

Los diferentes sensores que se utilizan en el equipo, están fundamentalmente dirigidos a delimitar las características básicas del lugar geográfico en donde se realizan las pruebas y afectan directamente en la medición del flujo.

A partir de los sensores utilizados, se diseñara un circuito para el control de los mismos, y además se buscará emplazar cada uno de ellos en una placa, teniendo en cuenta que la misma agrupará todos los circuitos de Corriente Continua.

5.3.1. Diseño del Circuito de Puesta en Marcha General:

El circuito de puesta en marcha general de la maqueta, es el cual provee de energía eléctrica a cada uno de los componentes, ya sea los circuitos de los sensores, así como el circuito de control de la aspiradora y la iluminación.

En el caso de la puesta en marcha, en el equipo se provocara una interrupción de la alimentación mediante un switch, el mismo que cuando se accione, alimentará un transformador de 12V 2A, y además la alimentación del circuito de control de velocidad de la aspiradora, es decir, ningún instrumento o equipo eléctrico del banco funcionara si es que no se acciona el switch principal.

Para el diseño del circuito, lo principal es tener presente que tanto el adaptador como la aspiradora se alimentan de 120V, mediante el uso de enchufes de 2 bornes, dado esto la interrupción se realizara en la alimentación del toma corriente.

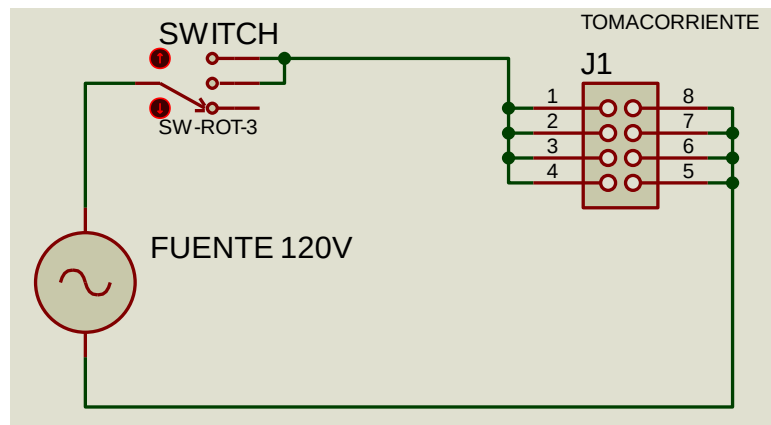


Figura 27: Diseño del circuito de alimentación general.

Fuente: El Autor.

5.3.2. Diseño del Circuito de Control del Sistema de Aspiración:

Para el diseño del circuito de control de velocidad del sistema de aspiración, en primera instancia debemos describir el tipo de motor de la aspiradora, así como el tipo de corriente de alimentación y el voltaje. Por lo que a continuación describimos las características del motor de la aspiradora.

Tabla 9: Características del motor de Corriente Alterna de la aspiradora.

Fuente: El Autor.

CARACTERÍSTICA	VALOR
Voltaje de Alimentación	110-127 VCA 60Hz
Potencia	2800 W – 2
Numero de rpm	8000-14000 rpm

Teniendo en consideración los parámetros característicos del motor de CA de la aspiradora, se observa que la misma posee un circuito de regulación de velocidad de 80-120V, por lo que este resulta insuficiente para el rango de medida de flujo inferior que se prevé obtener con el flujometro.

La creación de un circuito capaz de manejar la corriente que opera el motor, para alcanzar la potencia requerida de 2800W, la misma que a su vez es muy elevada, de hasta 35A, resulta ser compleja debido a la robustez de los componentes necesarios. Por ello, debido a las altas corrientes que se manejan, y a que los componentes electrónicos usados habitualmente soportan únicamente corrientes en magnitudes de miliamperios, resulta conveniente la creación de un circuito colocado en serie al circuito que originalmente viene montado en la aspiradora y que de por sí está diseñado para manejar corrientes elevadas.

Dadas las circunstancias mencionadas, el circuito de regulación de velocidad que se diseñe, únicamente tendrá que funcionar variando el suministro de Voltaje de

Corriente Alterna ya que el circuito propio de la aspiradora, contribuye a soportar y a manejar sin riesgos de comprometer los componentes electrónicos menos robustos.

El circuito que presentamos a continuación, si bien utiliza componentes robustez, también emplea elementos muy sensibles, por lo que el mismo está diseñado para dosificar el suministro de alimentación en una etapa, variando el voltaje con la utilización de un potenciómetro, y en otra etapa manejando por separado el voltaje con las corrientes elevadas de manejo del motor.

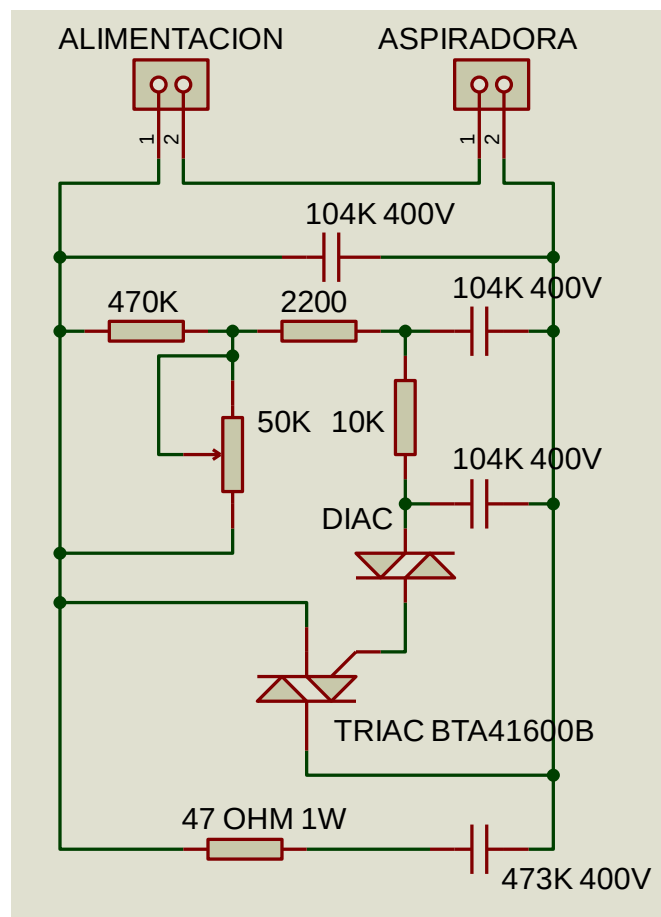
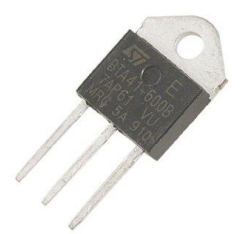


Figura 28: Diseño del circuito de control de velocidad de la aspiradora.
Fuente: El Autor.

Los componentes utilizados en el circuito de control de velocidad se detallan e indican sus características en la siguiente tabla:

Tabla 10: Componentes utilizados en el circuito y características.

Fuente: El Autor.

# ITEM	Componente	Descripción	Características	Figura
3	Capacitor 100nF			
1	Capacitor 0.047uf	Capacitores de poliéster, no contienen líquidos dieléctricos en su interior, además soportan tensiones elevadas.	Tensión: 400V	 Fuente: http://www.ebay.com/itm/Polyester-capacitor-1uF-400V-105J-105-Xenon-Flash-120979173516
1	TRIAC BTA41600B	El TRIAC es un semiconductor, se usa para controlar el flujo de corriente a una carga. Control de velocidad en motores de inducción.	Corriente: 40A Temperatura: -40+150 °C	 Fuente: http://www.amazon.com/BTA41-600B-Silicon-Controller-Rectifier-Standard/dp/B0087YQQOU
1	DIAC DB3	Es un diodo de disparo bidimensional para TRIAC, cuando la tensión de disparo se alcanza, conduce la corriente.	Voltaje de ruptura: 32V Corriente de ruptura: 100 µA Potencia disipada: 150mW	 Fuente: http://www.sonymag.es/triac-tiristores-y-diac-83-c.asp
1	Resistencia 2200 Ω 1/4W	Resistencia de película de carbón, durables y de aislamiento superior, alta estabilidad y reducido nivel de ruido.	Gama de temperatura: 70 °C Tensión máxima de trabajo: 250-500V	 Fuente: http://russian.alibaba.com/products/carbon-film-resistor-1-4w-4-7-ohm-558369789.html
1	Resistencia 10 kΩ 1/4W			
1	Resistencia 470 kΩ 1/4W			
1	Resistencia 47 Ω 1W			
1	Potenciómetro 50 k Ω	Potenciómetro rotativo, con valor de resistencia variable ajustable manualmente.	Corriente: máx 2A	 Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Potenci%C3%B3metro

Varios de los componentes utilizados en el circuito de control de velocidad son elementos utilizados en circuitos de potencia, como claramente se puede observar que los capacitores de poliéster utilizados en nuestro caso soportan tensiones de 400V, así como el TRIAC maneja cargas de hasta 40A y 600V. Los componentes que comprometen la fiabilidad del circuito son los que no están diseñados para resistir cargas elevadas, los cuales pueden ser las resistencias y el potenciómetro, pero tal es el caso que en nuestro circuito los mismos están ubicados en una etapa en donde las corrientes son pequeñas y sirven únicamente de control para las corrientes elevadas del resto de componentes.

5.3.3. Diseño del Circuito de Control del LCD:

Para el caso de control, alimentación y comunicación del GLCD, en primera instancia se precisa definir el microcontrolador a elegir, para de esta forma en base a las características de la pantalla, proceder a realizar la configuración de la conexión de la misma al microcontrolador.

Tabla de Ponderación 8: Elección del microcontrolador para las funciones digitales del equipo.
Fuente: Aelus Microelectrónica.

MICROPROCESADOR		Versatilidad	Precio \$	Sensores/ Shields	TOTAL
ChipKit Uc32	Especificación	Capacidad media	41	Costosos, raros	4
	Calificación	2	1	1	
Arduino UNO	Especificación	Capacidad media	35	Barato, comunes	7
	Calificación	2	2	3	
Arduino MEGA 2560	Especificación	Alta capacidad	65	Barato, comunes	8
	Calificación	3	2	3	

Nota: Se toma en cuenta la capacidad de almacenamiento, en función del costo del microprocesador, además consideramos la familiarización con la programación en el software de Arduino.

Tomando en cuenta la elección del microcontrolador con el que se desarrollara el proyecto, definimos las características de la pantalla LCD que se desea colocar en el flujometro, por lo que evaluamos las opciones existentes en el mercado.

Tabla de Ponderación 9: Elección de la pantalla LCD.

Fuente: Portales de Compras Online.

PANTALLA LCD		Visualización	Precio \$	Comunicación	TOTAL
16x2 LCD	Especificación	Media	7	I2C	7
	Calificación	1	3	3	
128x64B GLCD	Especificación	Alta	20	ST7920	8
	Calificación	3	3	2	

Nota: La calificación del costo, está fundamentada en el hecho de que la visualización para nuestro proyecto es deficiente con la pantalla de 16x2, por lo que a razón del precio y la capacidad de visualización excelente de la GLCD 128x64, esta relación es óptima.

Al elegir la pantalla y saber el interfaz de comunicación que la misma posee según el microprocesador que se encarga de controlar la misma, podemos diseñar un circuito de conexión hacia el ARDUINO MEGA 2560, según los pines de conexión de la pantalla que se usan para vincularla con el microcontrolador elegido. A continuación describimos los pines de conexión de la pantalla hacia el microcontrolador Arduino:

Tabla 11: Conexión de la pantalla hacia el microcontrolador Arduino Mega.

Fuente: El Autor.

PINES DEL GLCD	PINES DEL ARDUINO
PIN 1 GND	GND
PIN 2 VCC	5 V
PIN 4 RS	D10
PIN 5 R/W	D11
PIN 6 E	D13
PIN 15 PSB	GND
PIN 19 BLA	5 V
PIN 20 BLK	GND
*PIN 3 V0	PIN central de potenciómetro
*PIN 18 VOUT	PIN derecho del potenciómetro

Nota: Los pines indicados *PIN, son pines opcionales conectados a un potenciómetro con alimentación en el pin izquierdo para regular el contraste de la pantalla. En nuestro caso no son utilizados dado a que la regulación del contraste la realizamos directamente desde el trimmer que dispone la GLCD en la parte posterior.

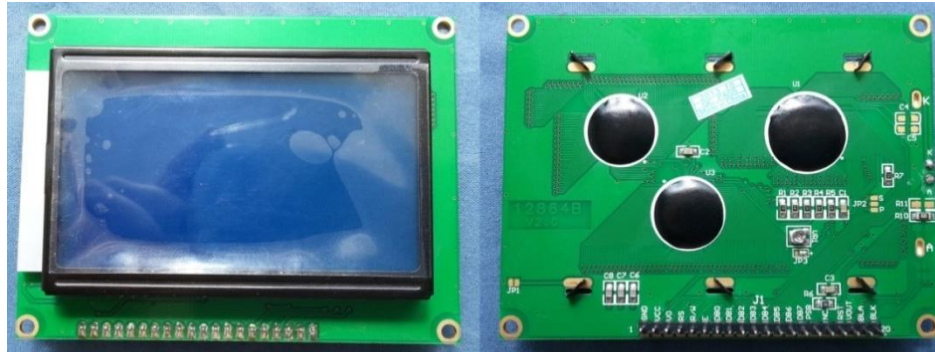


Figura 29: Display GLCD 128x64 Pinout B V2.0.

Fuente: El Autor.

Al momento de diseñar el circuito podemos verificar que a excepción de que se quiera controlar el contraste de la pantalla con el potenciómetro, todas las conexiones correspondientes entre la pantalla GLCD y el microcontrolador serán realizadas de forma directa, por lo que no se precisa un circuito en específico y se indicará las conexiones en forma esquemática. Pero es importante indicar que al momento del montaje final del equipo si dispondremos del circuito correspondiente en la placa PCB.

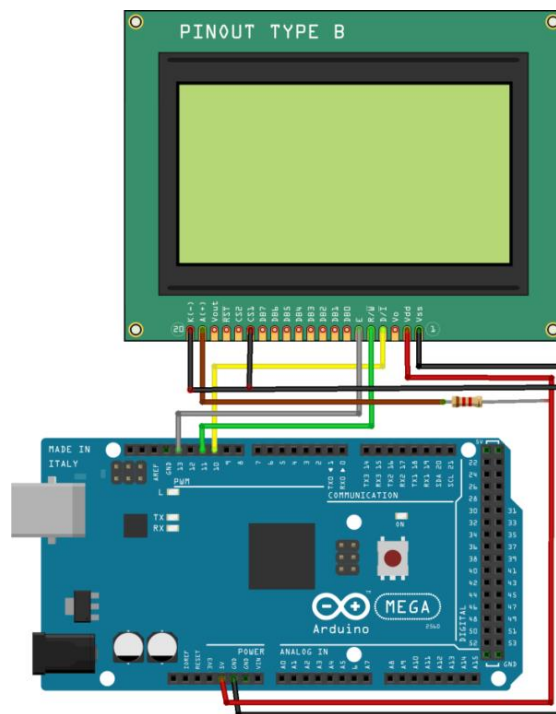


Figura 30: Conexión display GLCD 128x64 Pinout B V2.0.

Fuente: El Autor.

Al realizar todas las conexiones correspondientes entre la pantalla GLCD y el microcontrolador Arduino Mega, es transcendental proceder a comunicar la pantalla con nuestro microcontrolador, por lo que es necesario probarla mediante el diseño de un programa o un ejemplo en el software de Arduino, dado que dentro del playground de Arduino no se dispone de una librería que soporte el tipo de pantalla GLCD que estamos usando, es necesario, incluir una librería que sea capaz de comunicarse con el controlador de la pantalla en este caso ST7920.

La librería que se incluirá para soporte del controlador de pantalla es la librería oficial U8glib, la misma que contiene un soporte para varios tipos de controladores y que se puede encontrar en el Library Manager del software, cabe recalcar que es conveniente incluir librerías oficiales en el software debido a que en librerías que no han sido aprobadas por Arduino se pueden generar varios errores de compilación de los programas.

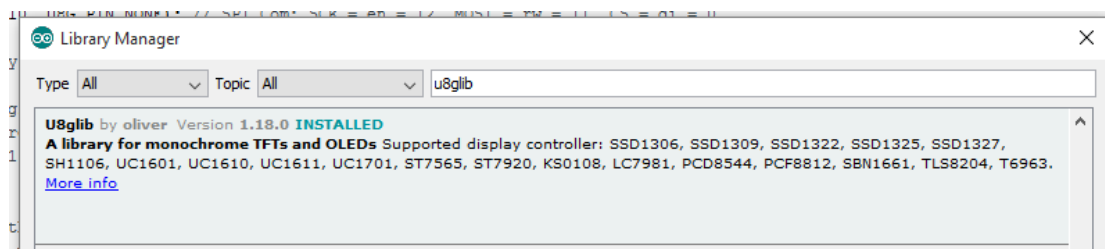


Figura 31: Library Manager, descarga de la librería para el tipo de controlador del GLCD.

Fuente: El Autor.

5.3.4. Diseño del Circuito de Alimentación y Recepción de Señal del Sensor

MAF:

El tipo de sensor que en nuestro caso es utilizado para realizar la medición de flujo es un sensor analógico, por lo que la conexión únicamente se limita a alimentar el

sensor con el voltaje correspondiente y a recibir la señal para conectarla a una entrada analógica del microprocesador.

Las características de alimentación y Pinout del sensor se detallan en la siguiente imagen, en este caso el sensor es el único componente que tendrá una alimentación con voltaje diferente a la provista por el microcontrolador:

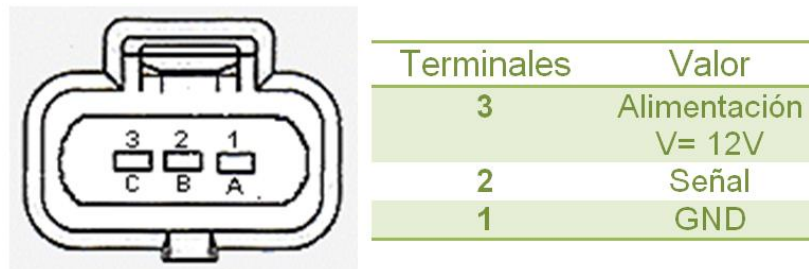


Figura 32: Designación del conector analógico del sensor y características de funcionamiento.
Fuente: El Autor.

5.3.5. Diseño del Circuito de Iluminación:

El circuito de alimentación en nuestro equipo, representa una ayuda significativa para la utilización del mismo ya que, en este se puede realizar mediciones durante largos periodos, teniendo en cuenta que los trabajos son extensos y al existir falta de iluminación natural, se compromete la comodidad en cuanto a la visualización de los componentes. Por lo cual el equipo emplaza una bombilla que contribuirá a la visualización del panel de control y del soporte de los componentes, para facilitar el uso del mismo en condiciones de poca iluminación.

Para el circuito de iluminación tenemos que tener presente que el mismo se alimenta con un voltaje de 120 V de CA, y además tendrá que poseer un sistema que lo accione al momento de que sea conveniente su utilización, por lo que el diseño resulta ser simple, donde únicamente interviene la alimentación y un interruptor tipo switch.

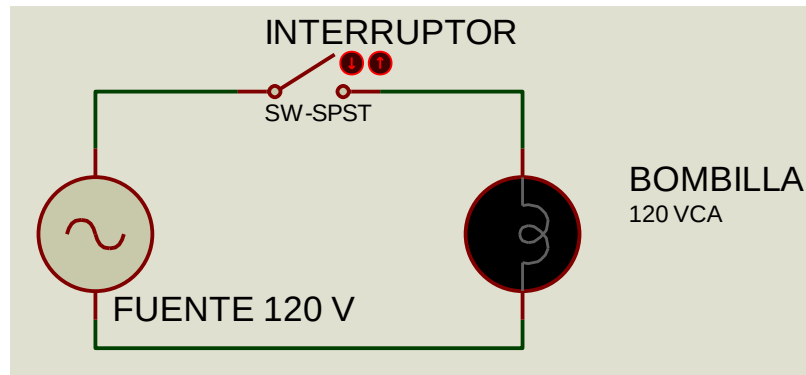


Figura 33: Circuito de Iluminación.
Fuente: El Autor.

5.4. CONSTRUCCIÓN DEL BANCO FLUJOMETRO:

Para la construcción del banco flujometro, cabe recalcar que en el documento indicaremos únicamente el proceso de construcción de los componentes más importantes y más complejos de manera que en las figuras se detalla el terminado final de los componentes.

5.4.1. Construcción del Bastidor:

Para la construcción del bastidor, utilizamos los tubos metálicos elegidos en el proceso de diseño, para la unión y la conformación de la estructura, precisamos de soldadura de arco eléctrico, con la utilización de electrodos INDURA 6011.

De manera que se asegure la integridad de la estructura, los tubos metálicos deben ser cortados de manera precisa en ángulos de 45° , para reforzar las uniones, y en el caso de que en la estructura existan uniones en ángulos diferentes a 90° , se buscara unirlos de igual forma, precisando la unión en ángulos complementarios.



Figura 34: Proceso de construcción del bastidor.

Fuente: El Autor.

5.4.2. Construcción del Soporte de los Componentes a Medir:

Para la construcción del soporte de componentes es importante, tener en cuenta que el mismo debe cumplir con los requerimientos del soporte transversal colocado en el bastidor, para de esta manera, sujetarlo y que resista la colocación de los diferentes componentes, siempre y cuando estén dentro del rango de peso para el cual se diseñaron los soportes transversales en el bastidor.

El soporte comprende el tubo de las dimensiones indicadas en el diseño, además del disco perforado, el cual comprenderá la forma de sujeción hacia el bastidor, y también un disco de iguales características al perforado que alojara en la parte superior del soporte a los acoples, diseñados para los diferentes diámetros de cilindro. Los discos presentan iguales características, debido a que son contruidos a partir de materiales

reciclados, y se toma en cuenta que no es necesaria la construcción de un disco para los acoples adicional ya que el mismo únicamente sirve de soporte para los acoples.



Figura 35: Construcción del soporte de componentes con el disco de anclaje al bastidor.
Fuente: El Autor.



Figura 36: Soporte de componentes con el disco de los acoples de cilindros.
Fuente: El Autor.

5.4.3. Fabricación de los Acoples para Culatas:

Los acoples para las culatas, como se sustentó en la tabla de ponderación, serán de fabricación en impresión de plástico 3D. Estos acoples representan un componente importante a la hora de utilizar el equipo, dado que gracias a estos se reduce el margen de error en las medidas, debido a que los acoples se ajustan a las dimensiones variadas de cilindros que pueden existir, haciendo de esta manera que el flujo del aire aspirado, no presente interrupciones o pueda presentar turbulencia.



Figura 37: Acople general con el acople para culata de cilindros de hasta 85 mm de diámetro.
Fuente: El Autor.



Figura 38: Acople general y acoples para diferentes diámetros de cilindros.
Fuente: El Autor.

5.4.4. Construcción de la Caja de Aspiración y Expulsión:

La caja de aspiración se construye en base a las dimensiones mostradas en el diseño y con los materiales indicados, teniendo en cuenta que los acabados curvos de la caja son necesarios hacerlos de manera que el flujo interior de aire a través de ella se realice de la forma más suave y uniforme posible, para lo cual utilizamos masilla plástica para moldearlo de acuerdo a nuestros requerimientos.



Figura 39: Boquilla de aspiración, vista lateral de la caja de aspiración.

Fuente: El Autor.



Figura 40: Caja de aspiración montada en la aspiradora.

Fuente: El Autor.

La caja de expulsión, llega a ser el componente por el cual se expulsa el aire aspirado, no requiere de un diseño específico, sino que únicamente cumpla con el requerimiento de no representar una restricción en el flujo de salida, el cual conlleva a una aspiración deficiente. Por lo que esta caja únicamente debe acoplarse al conducto de salida de la aspiradora y no precisa de acabados que eviten pérdidas en las esquinas de la caja.



Figura 41: Caja de expulsión con acople a la aspiradora.

Fuente: El Autor.



Figura 42: Ensamble completo de la aspiradora con la caja de aspiración y expulsión.

Fuente: El Autor.

5.4.5. Fabricación de los circuitos electrónicos:

Para los circuitos electrónicos, según sea necesaria la utilización de una placa ruteada, procedemos en base al diseño de cada circuito y según sea la utilidad a crear un diseño PCB, para su posterior fabricación. El circuito PCB, representa notables ventajas en la fabricación de circuitos electrónicos, gracias a que se convierte en una placa que es maniobrable sin correr el riesgo de perturbar las diferentes conexiones del circuito, las que pueden provocar la pérdida del cableado o peor aún un cortocircuito, por lo que la alternativa de las placas ruteadas resulta ser la más conveniente, ya que las mismas proveen de pistas en las que se sueldan cada componente y además resultan ser muy pequeñas.

Los diferentes circuitos y el diseño de sus placas, tanto en el software como las placas fabricadas se presentan a continuación:

5.4.5.1. Fabricación del Circuito de Control General:

Este circuito posee varios componentes, así como, la suministro de alimentación para el funcionamiento del circuito de control, diferentes fuentes de voltaje, para los sensores electrónicos digitales y el sensor de flujo automotriz, además, la captación de señales de los diferentes sensores del flujometro y sus respectivos conectores de datos de lectura hacia el microcontrolador, los circuitos del control general del flujometro ensamblados en un Project Board resultan ser extensos y además se deben manipular con sumo cuidado, dado a que incorporan cables sobrepuestos, por lo que para este circuito se toma la alternativa de fabricar una placa PCB, que contenga todas las pistas y componentes necesarios.

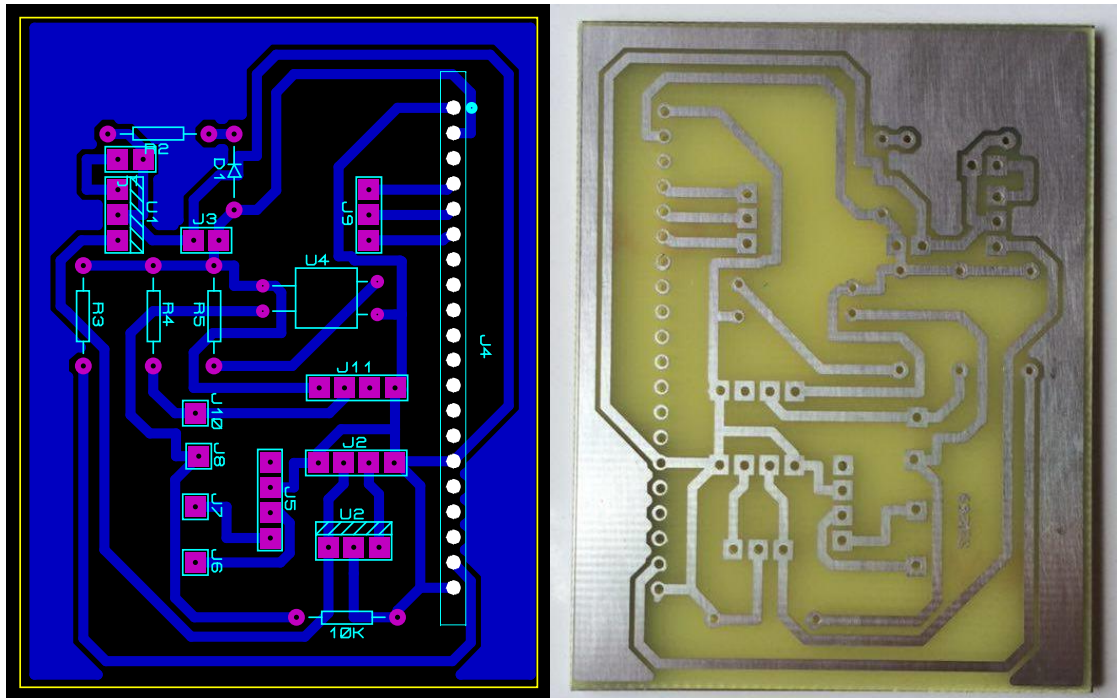


Figura 43: Diseño y fabricación del circuito impreso PCB.

Fuente: El Autor.

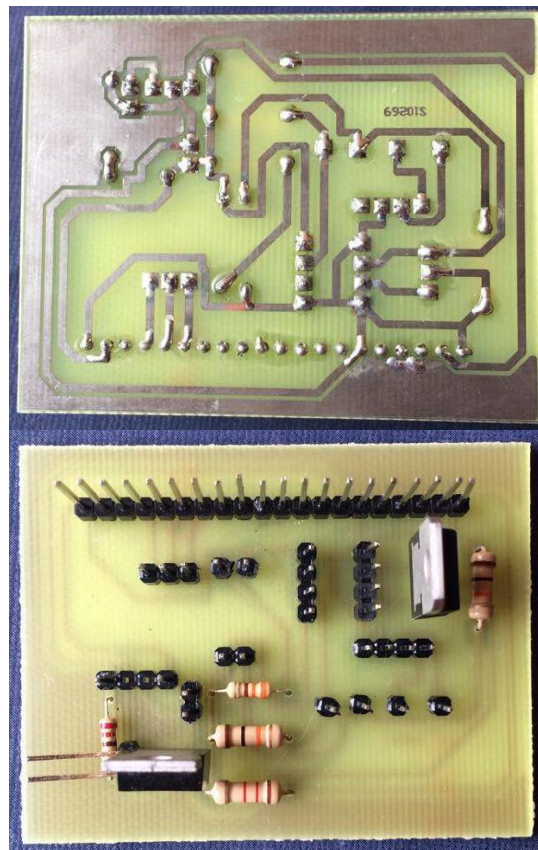


Figura 44: Vista posterior y frontal de la soldadura de los componentes.

Fuente: El Autor.

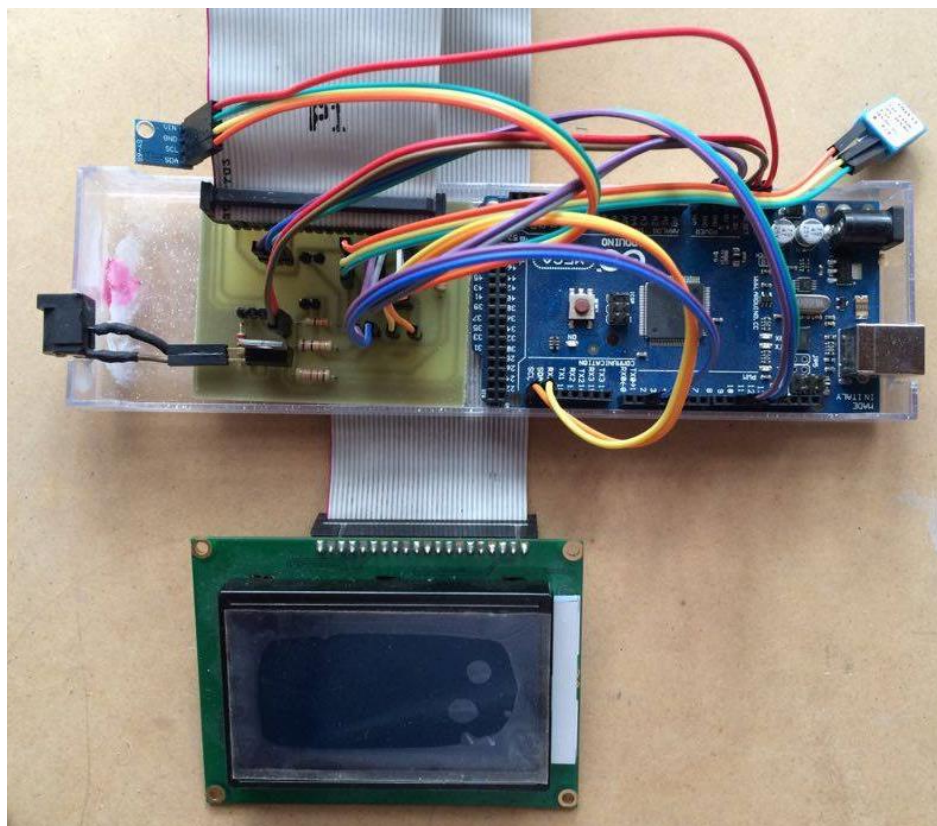


Figura 45: Ensamblaje del circuito general de control con sus conexiones al microprocesador.

Fuente: El Autor.

5.4.5.2. Fabricación del Circuito de Control de Velocidad de la Aspiradora:

El circuito de control de velocidad de la aspiradora, como se mencionó anteriormente es un circuito que comprende componentes robustos, por las características propias del motor de la aspiradora, por lo que por las pistas que conexionan cada uno de los componentes, va a transitar una alta magnitud de corriente, lo cual es el punto más notable a tener en cuenta en el diseño del PCB.

En nuestro caso debido a las limitantes de la fabricación, que corresponde a las dimensiones de los componentes, es decir existen componentes que tienen separaciones muy pequeñas entre sus terminales de conexión, lo que no hace posible aumentar el

tamaño de las pistas del PCB, para respetar la regla de que por cada amperio de corriente que transite por una pista la misma deberá tener 1 mm de grosor. Teniendo en cuenta estas consideraciones para la fabricación de nuestra placa procedemos a recubrir con una capa de estaño, cada una de las pistas para acrecentar la capacidad de conducción de corriente de las mismas.



Figura 46: Capa de estaño sobre las pistas de la placa y vista frontal de la placa terminada.
Fuente: El Autor.

6. OBTENCIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS DEL SENSOR:

La obtención de los datos del sistema que comprende la aspiradora y el sensor, es tal vez el punto más importante del desarrollo del flujometro, dado que entorno a estos componentes se desenvuelve el prototipo de medición de flujo con cada uno de los componentes involucrados.

De forma muy puntual la obtención de los datos que se interpretaran para la visualización de los resultados, de cada elemento medido en el flujometro, está ligada de manera directa con el tipo de sensor que se eligió, según los parámetros constructivos y de diseño expuestos en el capítulo anterior. Por lo que la característica sobresaliente a tomar en cuenta para la utilización del sensor, es la forma en la que la señal del mismo varía para denotar el flujo proporcional, entre el sensor MAF y la visualización de un valor en el anemómetro, ya sea en escala de velocidad o flujo volumétrico. Siendo rescatable que la forma de medición del sensor MAF, que incorpora el flujometro resulta ser menos compleja, ya que el mismo utiliza una variación de voltaje en función del flujo y no en cambio la interpretación de variaciones de frecuencia o ancho de onda, que resulta ser muy complicada de procesar.

Las variaciones de voltaje del sensor se pueden interpretar, de manera ajustada al flujo obtenido en el anemómetro mediante la obtención de una ecuación matemática que ajuste los diferentes puntos de muestreo adquiridos en el anemómetro y en el sensor.

6.1. OBTENCIÓN DE LOS DATOS DEL SENSOR:

La obtención de los datos, es muy significativa, ya que de ella deriva los resultados que se visualizaran, los cuales deberán ser precisos y consistentes, por lo que

el muestreo que se realiza para caracterizar el sensor en función del flujo del sistema, medido en el anemómetro, debe presentar una ratificación de las mediciones consistente.

6.1.1. Ensamblaje del Sistema de Aspiración para Obtención de Datos:

En la obtención de los datos es imprescindible simular el sistema de aspiración que ira incorporado en la maqueta, de esta manera los datos obtenidos no son erróneos, dado que al modificar las partes que intervienen en el sistema de aspiración, se pueden provocar cambios en el flujo que desataran variaciones en las medidas.

Dentro del ensamblaje del sistema de alimentación para la realización del muestreo, es imprescindible adjuntar, tanto el sensor que ira montado en la maqueta permanentemente, y además el anemómetro, que dado a las lecturas digitales que este arroja nos permitirá modelar el sistema en base a la obtención de datos de forma paralela entre voltaje y la lectura del instrumento de medición.

Como se dijo anteriormente, este sistema de muestreo simulara las condiciones de funcionamiento normal del flujometro, la diferencia trascendental es que en el sistema de muestreo ira montado el instrumento de medición digital, el cual nos permitirá adquirir datos que irán relacionados a los captados por el sensor analógico, para permitir la caracterización del sensor en base a las lecturas correspondientes entre las magnitudes en las que se realicen las mediciones en el anemómetro y el sensor MAF automotriz . El ensamblaje del sistema se muestra a continuación en la figura:



Figura 47: Sistema de muestreo para adquisición de datos.

Fuente: El Autor.

6.1.2. Adquisición de Datos Analógicos y Digitales:

Como ya se mencionó el funcionamiento del flujometro consiste en procesar datos que se obtienen de manera analógica del sensor MAF en función de voltaje para visualizarlos de manera digital, por lo que básicamente para el proceso de adquisición de datos en nuestro sistema de muestreo, incorporamos los componentes que ejecutan las mediciones y que nos permiten modelar una ecuación matemática que con la variable analógica de entrada nos muestre un resultado en magnitud de flujo volumétrico y velocidad de aire.

La obtención de los datos, del sensor, se realiza mediante la utilización de un voltímetro, que resulta ser el instrumento que nos permite visualizar los datos analógicos del sensor de forma digital, es decir que obtenemos lecturas de voltaje, para de esta manera utilizarlos según sea el caso, y por separado tenemos los datos de muestreo que se deben leer en paralelo con el sensor MAF, que son los del anemómetro, que el mismo esta soportado por un software para PC, llamado Anemometer FormView, que nos permite visualizar los mismos directamente en el computador. De esta manera se procede a la compilación de muestras según la variación de la velocidad del motor de la aspiradora, que a su vez variara la capacidad de aspiración de aire del sistema.

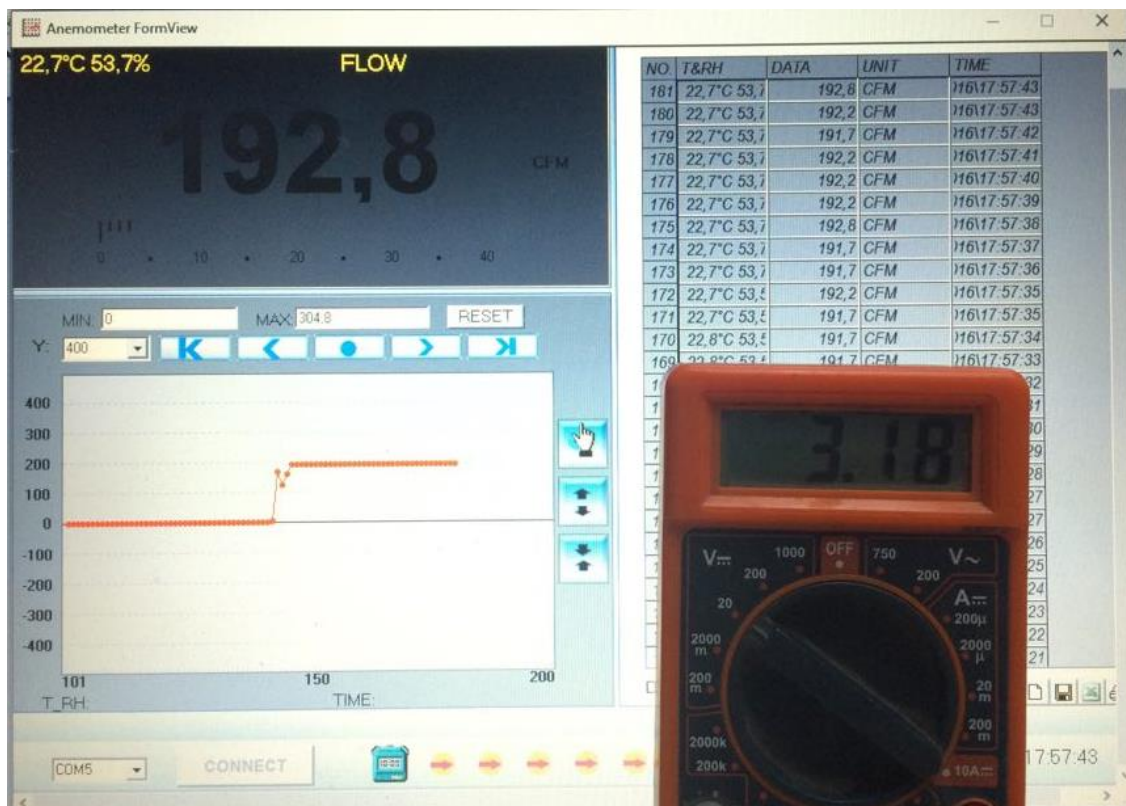


Figura 48: Adquisición de datos del sensor y del anemómetro.

Fuente: El Autor.

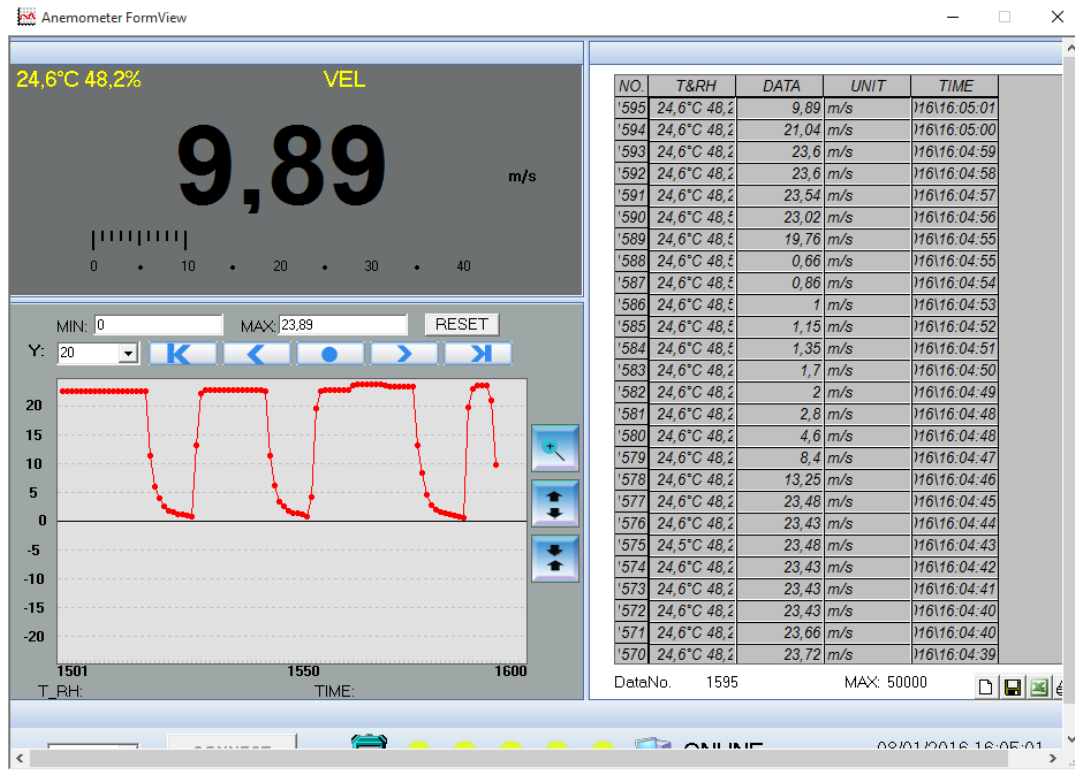


Figura 49: Adquisición de datos del anemómetro en el software Anemometer FormView.

Fuente: El Autor.

Los diferentes datos adquiridos tanto del sensor como del anemómetro, deben ser tomados de forma paralela a medida de que se varía el flujo de aspiración producido por la variación de voltaje del circuito creado para el control de velocidad, para de esta manera obtener diversos puntos muestrales, que describan el comportamiento del sensor, sometido a dichos cambios de flujo, en función de la lectura de voltaje en proporción al flujo y de esta manera obtener una curva que contenga datos suficientes para la disminución del margen de error en el ajuste de la curva, de la que se obtendrá el modelo matemático en el software MatLab.

A continuación se indican los datos recolectados durante el muestreo, tanto en función de velocidad y flujo de aire, con su asociación de lectura de voltaje del sensor, a medida de que se produzca la variación de flujo de aspiración:

Tabla 12: Datos adquiridos de las magnitudes de flujo y voltaje del sensor.**Fuente:** El Autor.

MUESTRA	Velocidad m/s	Voltaje Velocidad Vv	Flujo CFM	Voltaje Flujo Vf
1	0	0,05	0	0,05
2	8,665	2,28	39,2	0,85
3	9,445	2,38	53,7	1,82
4	10,29	2,48	55,7	1,85
5	11,27	2,57	78,9	2,26
6	12,79	2,71	80,4	2,31
7	14,18	2,82	81,4	2,34
8	15,17	2,86	87,4	2,39
9	15,81	2,9	97,7	2,53
10	16,22	2,94	101,6	2,56
11	16,91	2,98	119,7	2,76
12	17,38	3,01	127,9	2,8
13	17,84	3,04	128,5	2,82
14	19,8	3,1	131,8	2,83
15	20,11	3,15	132,9	2,84
16	20,98	3,18	144,4	2,94
17	21,56	3,22	148,8	2,96
18	22,06	3,27	151,6	2,98
19	22,73	3,31	161,5	3
20	23,73	3,35	165,4	3,03
21	24,27	3,38	166,4	3,05
22	24,78	3,4	175,2	3,08
23	25,11	3,42	175,7	3,09
24	25,75	3,44	185,6	3,15
25	26,39	3,47	187,3	3,16
26	27,32	3,42	187,8	3,18
27	27,84	3,51	197,7	3,22
28	28,31	3,54	198,5	3,23
29	28,77	3,56	204,9	3,28
30	29,46	3,57	205,4	3,3
31	30,87	3,64	224,6	3,36
32	31,33	3,66	231,2	3,43
33	31,8	3,68	232,3	3,45
34	32,67	3,71	237,8	3,46
35			238,8	3,47
36			245,3	3,48
37			255,7	3,49
38			261,4	3,54
39			267,5	3,56
40			268	3,58
41			276,8	3,61
42			291,7	3,65
43			293,9	3,67

Nota: Los diferentes valores se tomaron en forma paralela entre el software y el multímetro, haciendo variar el rango de funcionamiento del motor de la aspiradora, de tal manera que en los valores obtenidos también podemos ver los valores máximo y mínimo de funcionamiento.

6.1.3. Procesamiento de Datos:

Los datos obtenidos tanto los digitales y analógicos, cumplen un rol fundamental dentro del objetivo para el que fue desarrollado el proyecto del flujometro digital, teniendo en cuenta este aspecto, resulta necesario procesar cada uno de los datos de manera que resulten útiles para el desarrollo del proyecto.

La manipulación de los datos, en lo que concierne al procesamiento de las señales, consiste en gestionar los datos analógicos de manera que los mismos se interpreten en el formato necesario para ser percibidos por la entrada analógica de lectura del microprocesador. Teniendo en cuenta que los datos de entrada del sensor hacia el microprocesador serán en función de voltaje, debemos realizar las transformaciones correspondientes para poder ser interpretados por la lectura analógica del ARDUINO MEGA, la cual se remite al procesamiento de datos que ingresen al microprocesador en forma de BITS.

Para realizar las transformaciones de VOLTAJE a BITS, se utiliza únicamente una ecuación de primer grado, la misma que multiplica el voltaje para el rango de niveles que distingue el arduino y luego se divide para el voltaje máximo de lectura analógica, la ecuación se detalla a continuación:

$$Bits = \frac{Voltaje * 1023}{5}$$

Ecuación 1: Transformación de voltaje a bits.

De esta manera resultan todas las transformaciones que se realizaran en la lectura analógica del ARDUINO, para procesarlas y de las cuales se deriva posteriormente en nuestro proyecto la curva que describe el comportamiento del sensor, según las

variaciones de voltaje y que dará lugar a la obtención de la ecuación modelo del sensor, la cual será procesada en el microcontrolador, para que de esta forma se obtenga en función del voltaje un valor de flujo y velocidad del aire.

En la tabla observamos los valores transformados a bits para ser ingresados en el software de manera que obtengamos la ecuación que describa el modelo del sensor:

Tabla 13: Transformación de datos a bits para el modelado matemático.
Fuente: El Autor.

MUESTRAS	Velocidad m/s	Voltaje Vvel	Bits Velocidad	CFM	Voltaje Vcfm	Bits CFM
1	0	0,05	7	0	0,05	7
2	8,665	2,28	466,488	39,2	0,85	173,91
3	9,445	2,38	486,948	53,7	1,82	372,372
4	10,29	2,48	507,408	55,7	1,85	378,51
5	11,27	2,57	525,822	78,9	2,26	462,396
6	12,79	2,71	554,466	80,4	2,31	472,626
7	14,18	2,82	576,972	81,4	2,34	478,764
8	15,17	2,86	585,156	87,4	2,39	488,994
9	15,81	2,9	593,34	97,7	2,53	517,638
10	16,22	2,94	601,524	101,6	2,56	523,776
11	16,91	2,98	609,708	119,7	2,76	564,696
12	17,38	3,01	615,846	127,9	2,8	572,88
13	17,84	3,04	621,984	128,5	2,82	576,972
14	19,8	3,1	634,26	131,8	2,83	579,018
15	20,11	3,15	644,49	132,9	2,84	581,064
16	20,98	3,18	650,628	144,4	2,94	601,524
17	21,56	3,22	658,812	148,8	2,96	605,616
18	22,06	3,27	669,042	151,6	2,98	609,708
19	22,73	3,31	677,226	161,5	3	613,8
20	24,78	3,4	695,64	175,2	3,08	630,168
21	25,11	3,42	699,732	175,7	3,09	632,214
22	25,75	3,44	703,824	185,6	3,15	644,49
23	26,39	3,47	709,962	187,3	3,16	646,536
24	27,32	3,42	699,732	187,8	3,18	650,628
25	27,84	3,51	718,146	197,7	3,22	658,812
26	28,31	3,54	724,284	198,5	3,23	660,858
27	28,77	3,56	728,376	204,9	3,28	671,088
28	29,46	3,57	730,422	205,4	3,3	675,18
29	29,82	3,59	734,514	212,3	3,33	681,318
30	30,46	3,62	740,652	217,5	3,34	683,364
31	30,87	3,64	744,744	224,6	3,36	687,456
32	31,33	3,66	748,836	231,2	3,43	701,778
33	31,8	3,68	752,928	232,3	3,45	705,87
34	32,67	3,71	759,066	237,8	3,46	707,916

NOTA: Los valores de bits en el microcontrolador se interpretan en valores sin decimales, pero dado el caso que los mismos en el ingreso del ARDUINO, se transforman a bits, en la ecuación matemática que obtengamos el valor independientemente que ingrese sin decimales, se ajustará a un punto en la curva correspondiente.

La transformación voltaje a bits que se realiza, comprende las magnitudes transformadas, con decimales, puesto que la curva descrita por los datos ingresados en el software tendrá un menor margen de error, ya que los puntos muestrales no varían ampliamente entre ellos, y es sumamente necesario que el ajuste del modelo matemático realizado en el software sea lo más preciso posible, teniendo en cuenta que los instrumentos de medición tales como el anemómetro y el voltímetro ingresan un margen de error adicional en las lecturas de las magnitudes que miden cada uno de ellos y que se sumaran al error de ajuste del modelo obtenido en el software.

6.1.4. Obtención del Modelo Matemático del Sensor:

Después de la conversión y adaptación necesaria de los datos adquiridos, el microprocesador deberá realizar las diferentes funciones necesarias para mostrar en la pantalla GLCD, un valor en magnitud de flujo y velocidad de aire que represente las lecturas analógicas del sensor, para esta representación se necesita de una ecuación matemática en la cual se ingresen los diferentes datos, variables de flujo de aire producidos por la aspiradora y según sea la restricción que se presente por los componentes colocados en el soporte para la medición.

Para la obtención de la ecuación matemática que modele el sensor en función de lo que sucede con el comportamiento del sistema, es necesario relacionar los datos, por lo que para la obtención del modelo matemático, precisamos de la utilización del software matemático MatLab, y de la herramienta del software Cftool, la misma que nos permite obtener una ecuación en base al ajuste de los puntos de una gráfica obtenido relacionando la lectura en Bits y los datos de flujo en CFM, y Velocidad en m/s, cada

una colocada en los ejes de las abscisas y ordenadas de la gráfica, según cual sea la variable que se lee en la entrada analógica. Dada la gráfica correspondiente al muestreo, el ajuste de la curva y la ecuación que se obtendrá en la herramienta Cftool, puede seleccionar el tipo de curva de ajuste que se desea obtener, teniendo presente el porcentaje de error en el ajuste.

En nuestro caso el ajuste a la curva formada por los datos adquiridos para describir la velocidad que fluye a través del sensor, resulta ser una curva polinomial de tercer grado, el ambiente virtual y los datos obtenidos en Cftool, se pueden ver en la siguiente figura:

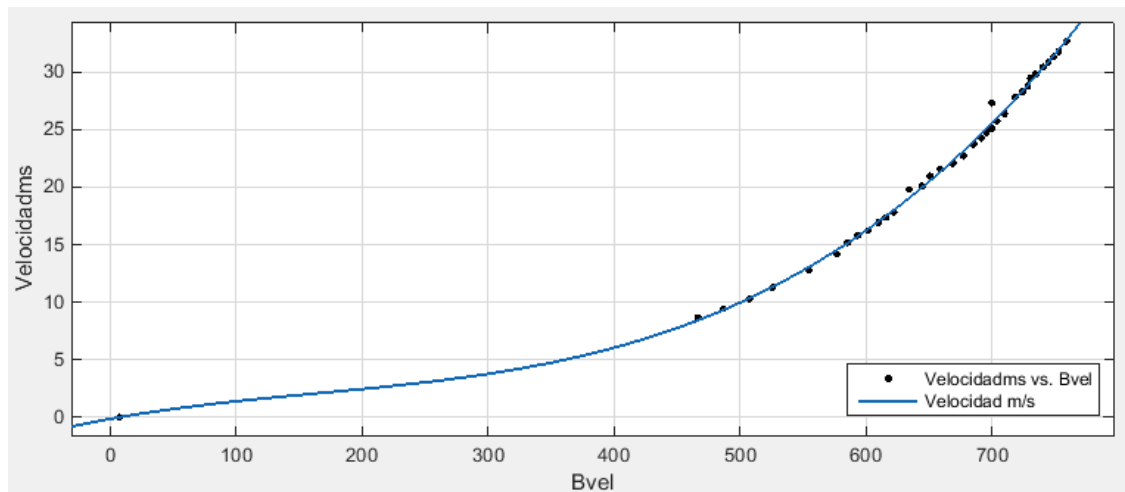


Figura 50: Datos de voltaje con relación a velocidad.

Fuente: El Autor.

En la parte izquierda de la ventana de Cftool, podemos ver la ecuación resultante obtenida y además los coeficientes de la ecuación. En la ventana de resultados se observa también el porcentaje de exactitud en el ajuste, denotado por la raíz cuadrada de la ecuación, que en este caso resulta ser un ajuste de 99.75%.

Linear model Poly3:
 $f(x) = p1*x^3 + p2*x^2 + p3*x + p4$
Coefficients (with 95% confidence bounds):
p1 = 1.167e-07 (7.89e-08, 1.545e-07)
p2 = -5.752e-05 (-0.0001064, -8.634e-06)
p3 = 0.01979 (0.003639, 0.03594)
p4 = -0.1305 (-1.011, 0.7503)

Goodness of fit:
SSE: 5.501
R-square: 0.9975
Adjusted R-square: 0.9972
RMSE: 0.4146

Figura 51: Resultados del ajuste del modelo Velocidad de aire.
Fuente: El Autor.

Posteriormente dado a que la velocidad del aire resulta ser un dato adicional, el dato transcendental para la medición de los componentes, es el flujo volumétrico, debido a que el mismo denota la función principal del flujometro, que es medir la capacidad de aspiración de aire para las culatas en función de los trabajos de mecanización, por lo que de igual forma se modelan los datos y se obtiene una ecuación polinomial de tercer grado que se ajusta a la curva descrita por los datos obtenidos en el muestreo, de manera que presenta un error considerablemente pequeño. A continuación observamos el ajuste de la curva y los resultados de la ecuación.

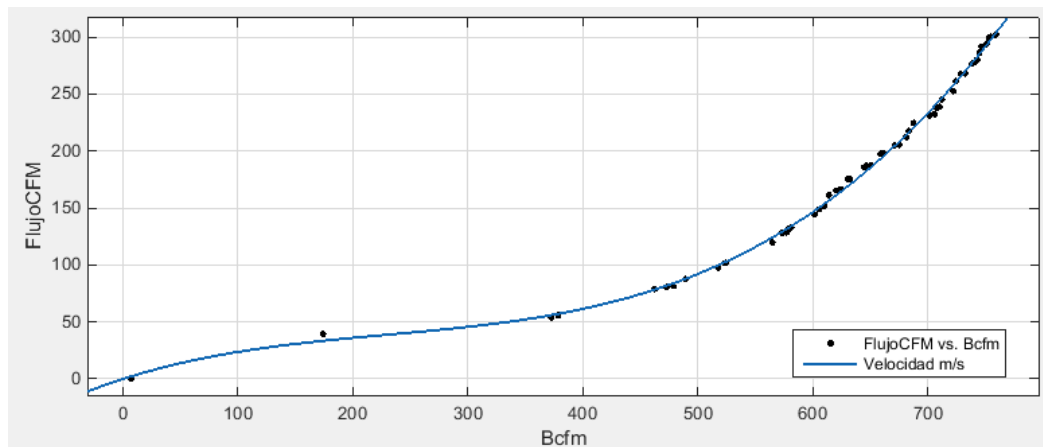


Figura 52: Datos de voltaje con relación al flujo.
Fuente: El Autor.

```

Linear model Poly3:
f(x) = p1*x^3 + p2*x^2 + p3*x + p4
Coefficients (with 95% confidence bounds):
p1 = 1.465e-06 (1.316e-06, 1.614e-06)
p2 = -0.001012 (-0.001205, -0.0008189)
p3 = 0.3244 (0.2543, 0.3945)
p4 = -0.2106 (-7.196, 6.774)

Goodness of fit:
SSE: 547.9
R-square: 0.9982
Adjusted R-square: 0.9981
RMSE: 3.414

```

Figura 53: Resultados del ajuste del modelo CFM.
Fuente: El Autor.

6.1.5. Modelos Matemáticos Obtenidos y Porcentaje de Error:

Los modelos matemáticos que se obtuvieron, que resultaron poseer un menor margen de error de ajuste a los puntos de muestreo plasmado en la curva del sensor y además resultan ser de fácil interpretación, manejo y procesamiento para el microcontrolador y software de programación. Posteriormente los modelos matemáticos obtenidos tendrán que ser ingresados en el sketch de la plataforma virtual del software de programación ARDUINO, que tendrá que incorporar todas las variables de entrada de los sensores, para que sean procesadas por el microprocesador y a manera de presentarlas para las necesidades de visualización del funcionamiento y mediciones correspondientes del flujometro, deben ser visualizadas en el GLCD.

6.1.5.1. Modelo Matemático de Velocidad m/s:

El modelo matemático obtenido para la velocidad, tiene la siguiente forma:

$$f(x) = p1 * x^3 + p2x^2 + p3 * x + p4$$

Ecuación 2: Ecuación polinomial de tercer grado.

y las características se detallan a continuación:

$$p1 = 1.167e - 07$$

$$p2 = -5.752e - 05$$

$$p3 = 0.01979$$

$$p4 = -0.1305$$

$$R - square = 0.9975$$

Ecuación 3: Resultados del ajuste de la curva de velocidad.

Lo que resulta en la ecuación de velocidad con cada una de las constantes, resultado del ajuste realizado por el software matemático que se presenta a continuación y será la ecuación ingresada en el microcontrolador para procesar las señales analógicas de entrada convertidas a BITS:

$$\begin{aligned} \text{Velocidad} = & 1.167e - 07 * Bits^3 - 5.752e - 05 * Bits^2 + 0.01979 \\ & * Bits - 0.1305 \end{aligned}$$

Ecuación 4: Ecuación del modelo matemático de la velocidad del aire.

6.1.5.2. Modelo Matemático de Flujo CFM:

El modelo matemático para el flujo CFM, tiene la misma forma que la de velocidad, es decir que resulta ser una ecuación polinomial de tercer grado, que representa el flujo caracterizado en esta ecuación y resulta con un error de ajuste relativamente pequeño y es resulta ser de fácil interpretación:

$$f(x) = p1 * x^3 + p2x^2 + p3 * x + p4,$$

Ecuación 2: Ecuación polinomial de tercer grado.

y las características varían de acuerdo al ajuste de los parámetros del muestreo:

$$\begin{aligned}
 p1 &= 1.465e - 06 \\
 p2 &= -0.001012 \\
 p3 &= 0.3244 \\
 p4 &= -0.2106 \\
 R - square &= 0.9982
 \end{aligned}$$

Ecuación 5: Resultados del ajuste de la curva de CFM.

Lo que resulta en la ecuación de velocidad:

$$\begin{aligned}
 CFM &= 1.465e - 06 * Bits^3 - 0.001012 * Bits^2 + 0.3244 * Bits \\
 &\quad - 0.2106
 \end{aligned}$$

Ecuación 6: Ecuación del modelo matemático del flujo del aire CFM.

7. VALIDACIÓN DE RESULTADOS:

La validación de los resultados, es fundamental para el funcionamiento del flujometro, teniendo en cuenta que los resultados deben ser de alguna forma ratificados, indicando de este modo que las mediciones realizadas en el flujometro, son correctas, veraces, cumplen con un margen de error mínimo y serán repetitivas si es el caso de que las pruebas de componente se deberán volver a realizar en igualdad de condiciones ambientales y de funcionamiento de los sistemas de la maqueta. El proceso para validar el hecho de que las diferentes muestras tomadas, son correctas y veraces, se deriva de la validación del funcionamiento de los instrumentos de medición empleados para modelar el sensor, al mismo que posteriormente validaremos las mediciones, en función de una comparativa entre el motor del vehículo que generalmente incorpora este sensor, y la simulación de motor que realizamos con la maqueta construida.

7.1. VALIDACIÓN DE FUNCIONAMIENTO DEL ANEMÓMETRO:

Los resultados que se visualizara posteriormente en la pantalla GLCD del flujometro, de acuerdo al voltaje del sensor MAF, procesado en base a la ecuación matemática, son procedentes a partir de las lecturas de los instrumentos de medición. Por lo que se debe cumplir el procedimiento de verificación de las lecturas de los instrumentos, para dictaminar que la medición de los mismos es real, confiable, notablemente precisa y repetitiva a iguales condiciones, ya que el modelado del sensor surge en base a las lecturas del anemómetro, como se dijo anteriormente, validar que las mediciones y lecturas que se realizan en el mismo es uno de los puntos de partida que garantizaran la confiabilidad de las mediciones realizadas por el flujometro.

Lo que corresponde a la validación de funcionamiento del anemómetro se efectúa con la asistencia de un instrumento que provea de un flujo de aire laminar y que tenga la capacidad de variar la magnitud de flujo, además que contenga un medidor que muestre las variaciones que se presentaran durante la realización de las pruebas de forma confiable y precisa, para garantizar que las bases del desarrollo del flujometro, partiendo desde la validación de los instrumentos de medición, están orientadas hacia la obtención de un equipo de medición preciso y que dictaminara de forma correcta el comportamiento de los componentes en los que se realicen las mediciones, una vez se realicen los trabajos de trucaje y se comprueben con el funcionamiento de dichos componentes montados en los motores de competición . El equipo necesario para la validación de las mediciones efectuadas por el anemómetro, es el túnel de viento ARMFIELD C15-10, el cual nos incorpora un medidor exacto que contribuye a decretar que el funcionamiento del anemómetro es correcto y la uso del mismo en el desarrollo del proyecto es válida.

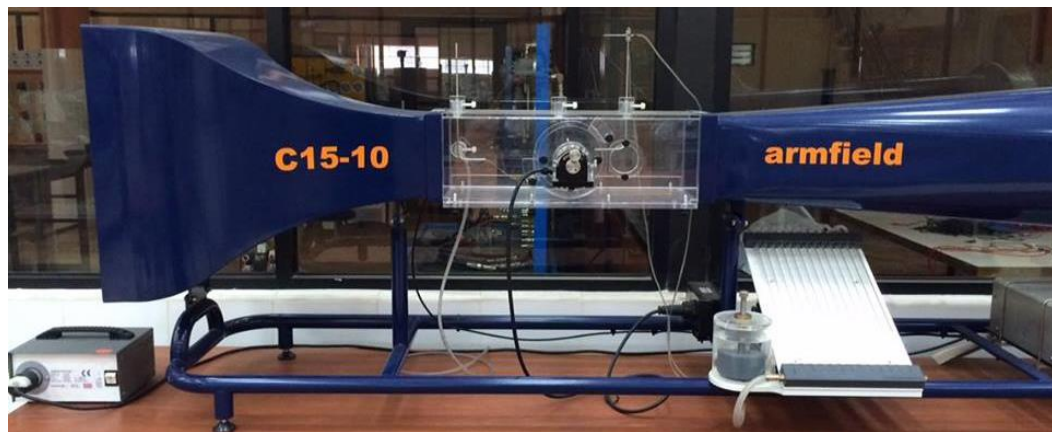


Figura 54: Túnel de viento ARMFIELD C15-10, laboratorio de termofluidos UPS.

Fuente: El Autor.

Debido a que el túnel de viento está destinado a medir las restricciones de flujo y el redireccionamiento ante la presencia de un componente aerodinámico, el medidor de

tubo pitot, toma muestras, en las cuales el cuerpo del anemómetro que se aloja en el interior del túnel, constituye un cuerpo a ser analizado aerodinámicamente en el túnel, por lo que causa restricciones de flujo y redireccionamiento en las magnitudes de flujo medidas, por lo tanto las medidas entre el túnel de viento y el anemómetro no se asemejaran. Las diversas pruebas que se realicen se remitirán a observar los valores medidos en el anemómetro, entre varias muestras realizadas, con respecto a la magnitud de velocidad de aire a las cuales se realizan las pruebas y en el anemómetro se visualizaran un valor de velocidad de acuerdo al porcentaje de funcionamiento del generador de aire del túnel, que se mantendrá y repetirá, si se realizan los ensayos el número de veces que sean necesarias a iguales condiciones de funcionamiento del túnel de viento, lo que ratificara la labor de muestreo del anemómetro, constituyéndose como un instrumento válido para la adquisición de los datos procedentes del flujometro durante su etapa de desarrollo.



Figura 55: Colocación del anemómetro y el tubo de medición dentro del túnel de viento.

Fuente: El Autor.

Las muestras realizadas para la validación del anemómetro en el túnel de viento se realizaron en cinco ocasiones, en cada muestra con variaciones de porcentaje de funcionamiento del generador de flujo de aire del túnel de viento, tal como se muestra en la tabla desde el porcentaje mínimo de funcionamiento hasta el máximo porcentaje de generación de flujo:

Tabla 14: Validación de mediciones del anemómetro en el túnel de viento.
Fuente: El Autor.

% de funcionamiento del Túnel	Velocidad Medida en el Túnel de Viento	Velocidad Medida en el Anemómetro
15	3,2 m/s	3,7 m/s
20	3,85 m/s	4,94 m/s
30	5,2 m/s	7,55 m/s
40	6,4 m/s	9,94 m/s
50	7,1 m/s	12,68 m/s
60	8 m/s	15,17 m/s
70	8,9 m/s	17,38 m/s
80	9,6 m/s	19,88 m/s
90	10,6 m/s	23,25 m/s
100	11,6 m/s	26,33 m/s

Durante las 5 pruebas realizadas en el túnel el anemómetro arrojo resultados semejantes con variaciones de centésimas en la unidad de medida, por lo que en la tabla se muestra los resultados promedio de las mediciones tomadas durante 5 segundos con el porcentaje de funcionamiento del generador respectivo.

7.1.1. Procedimiento de Validación de Funcionamiento del Anemómetro:

A continuación se describe el proceso a seguir, para la recolección de datos y validación el funcionamiento del anemómetro con la utilización del túnel de viento ARMFIELD C15-10:

7.1.1.1. Fabricación de un Acople para la Cámara de Ensayo del Túnel de Viento:

En primera instancia el anemómetro debe ser emplazado en un acople que permita que la cámara de ensayo del túnel quede totalmente sellada y no se produzcan pérdidas o filtraciones de aire por el acople, que produzcan variaciones en las medidas. El acople es fabricado en espuma de poliuretano, considerando la forma y las medidas de la tapa original de la cámara de ensayo fabricada en polimetacrilato.

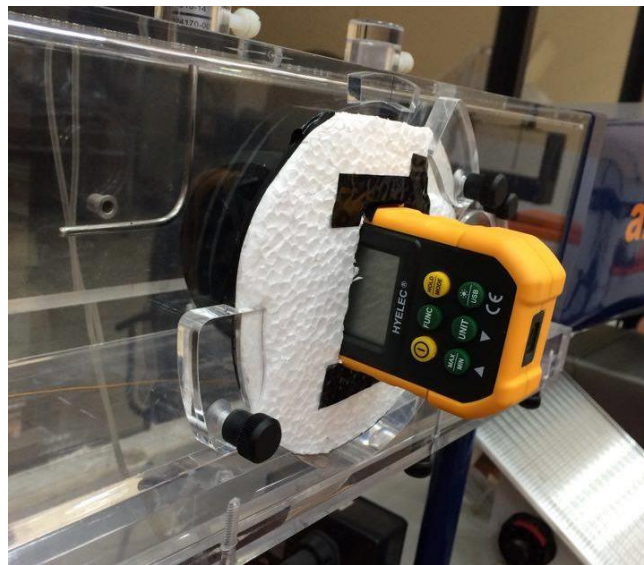


Figura 56: Acople del anemómetro en el túnel de viento.
Fuente: El Autor.

7.1.1.2. Colocación del Anemómetro en el Interior del Túnel de Viento:

Se coloca el anemómetro en el túnel de forma que la tapa fabricada para acoplarse a la cámara de ensayo, selle la cavidad de la tapa de polimetacrilato y el anemómetro se encuentre emplazado en el centro de la sección de la cámara, de manera que las aspas queden de forma perpendicular al flujo de aire. Teniendo en cuenta que la visualización de la pantalla se pueda realizar sin inconvenientes.



Figura 57: Colocación del anemómetro dentro de la cámara de ensayo.
Fuente: El Autor.

7.1.1.3. Configuración del Túnel de Viento para las Pruebas:

La configuración de los parámetros de funcionamiento del túnel de viento se realiza en el software de control, en donde se puede seleccionar la forma del objeto que se introduce en la cámara de ensayo, y además controlar el porcentaje de funcionamiento del generador de flujo del túnel.

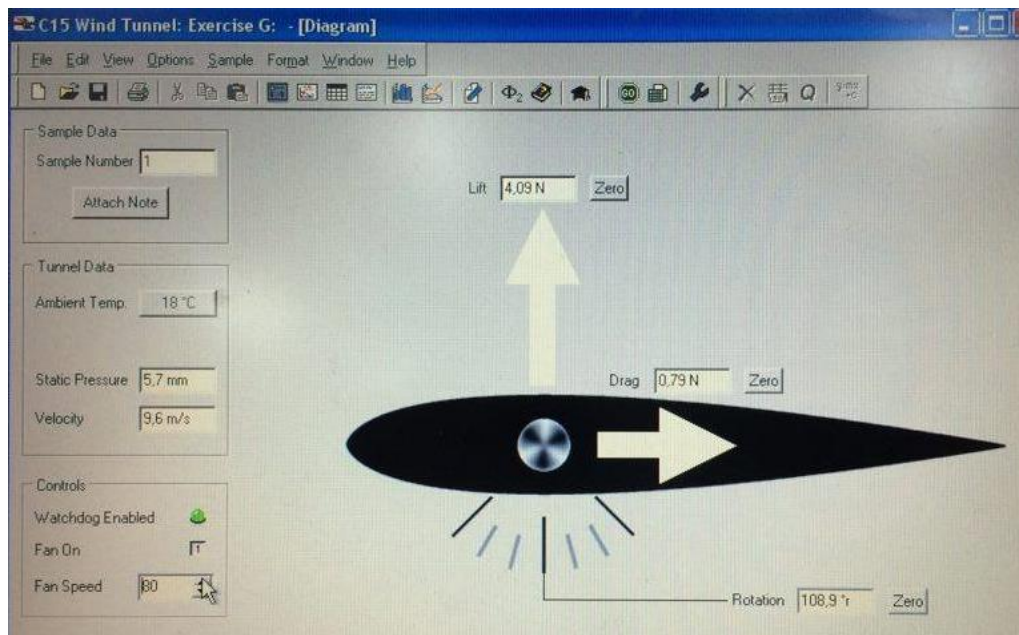


Figura 58: Configuración del software del túnel de viento para la puesta en marcha.
Fuente: El Autor.

7.1.1.4. Realización de las Pruebas:

Las diferentes pruebas como se dijo anteriormente se realizan aumentando de forma progresiva el porcentaje de funcionamiento del generador, para captar una muestra en cada porcentaje. Las muestras se realizan en 5 ocasiones, aumentando en cada una de ellas el porcentaje de funcionamiento del impulsor de flujo desde 15% hasta el 100%, tomando una muestra en cada decena de aumento.

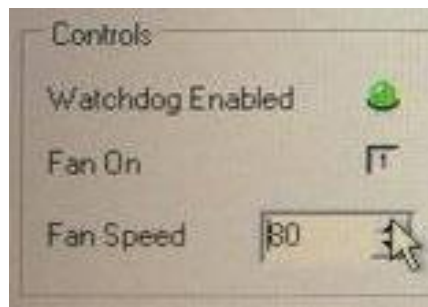


Figura 59: Configuración de la velocidad de funcionamiento del generador de flujo.

Fuente: El Autor.

7.1.1.5. Recolección de Datos:

Los datos se recolectan de forma visual, en el display del anemómetro, según sean las variaciones en la generación de flujo.



Figura 60: Recolección de datos en el anemómetro.

Fuente: El Autor.

7.2. VALIDACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL SENSOR:

La validación correspondiente a la verificación del funcionamiento del sensor, se fundamenta en el hecho de que se comprobara que el sensor, realiza las mediciones de forma en que no sufren perturbaciones, es decir la magnitud de flujo constante medida en un intervalo de tiempo, denota un voltaje en proporción en el sensor, el cual resultara ser el mismo en proporción, si se vuelve a tomar varias muestras con la misma magnitud de flujo y durante intervalos de tiempo extensos de muestreo.

Las pruebas realizadas para denotar la veracidad de las mediciones del sensor, se realizaron durante 3 días diferentes, en las cuales se tomó dos muestras promediadas durante cada día, procurando realizarlas con las mismas condiciones ambientales, ya que las mismas afectan de manera directa a las características del aire aspirado, durante los 3 días se simularon condiciones iguales de funcionamiento del generador de la aspiración, en un rango máximo y mínimo de aspiración. En la siguiente tabla se observan los resultados conseguidos de las mediciones durante los 3 días de muestreo:

Tabla 15: Comprobación de las mediciones del sensor con respecto al voltaje.
Fuente: El Autor.

DIA	Velocidad m/s		Flujo CFM	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
1	8,665 - 0,86V	32,67- 3,11 V	39,2 - 0,86V	302,1 - 3,10 V
2	8,612 - 0,85V	32,50 - 3,10 V	39 - 0,85V	301,8 - 3,11 V
3	8,598 - 0,85V	32,72 - 3,11V	39,3- 0,86V	302,2 - 3,10 V

Los diferentes datos recogidos durante el muestreo se observan con relación al flujo volumétrico del anemómetro, y se asocian a la señal de voltaje provista por el sensor, que de igual manera decretan que tanto el flujo medido por el anemómetro y la lectura de voltaje del sensor son veraces, dado a que se repiten mientras se realicen las

pruebas en las mismas condiciones de funcionamiento del sistema de adquisición de datos.

En las siguientes figuras se puede ver el flujo mínimo y máximo medido en el anemómetro, y que de igual manera es captado por el sensor paralelamente y se obtiene un voltaje proporcional semejante, con variación de centésimas en las unidades de medida, en todas las ocasiones en las que se realice el muestreo, pese a que en el funcionamiento del sensor de flujo intervienen varias variables de las propiedades del fluido, para la emisión de la señal, indicando que el sensor MAF resulta ser preciso e indica valores concisos.

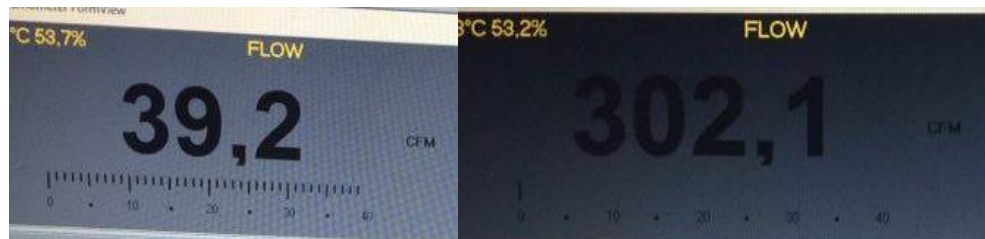


Figura 61: Datos de flujo mínimo y máximo.

Fuente: El Autor.

7.2.1. Procedimiento de Validación de Funcionamiento del Sensor MAF:

Para validar el funcionamiento del sensor de flujo, se procede como se describe a continuación:

7.2.1.1. Obtención de Información del Sensor:

La información de las características del sensor, describe el conexionado y los valores típicos de los datos que se obtienen con la utilización del sensor. De acuerdo a los terminales que se describen en la figura se obtienen los pines de conexión del sensor para alimentación y recepción de señal.

Sensor de flujo de masa de aire

Terminales	Color/número del cable		Estado	Valor típico	Nota
2 y masa	ws y masa		Contacto dado	11-14 V	7
3 y masa	gr y masa		Motor al ralentí	0,6-1,0 V	15
3 y masa	gr y masa		3000 r.p.m.	1,7-2,0 V	15

Figura 62: Datos del conexionado del sensor MAF.

Fuente: Autodata 3.38.

7.2.1.2. Conexionado del Sensor:

Consiste en la realización de las conexiones de alimentación y recepción de señal correspondientes para poder recolectar los datos de voltaje.

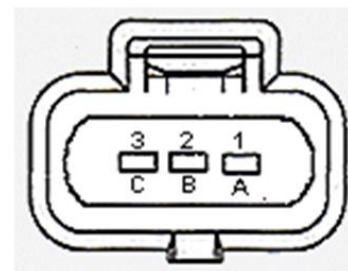
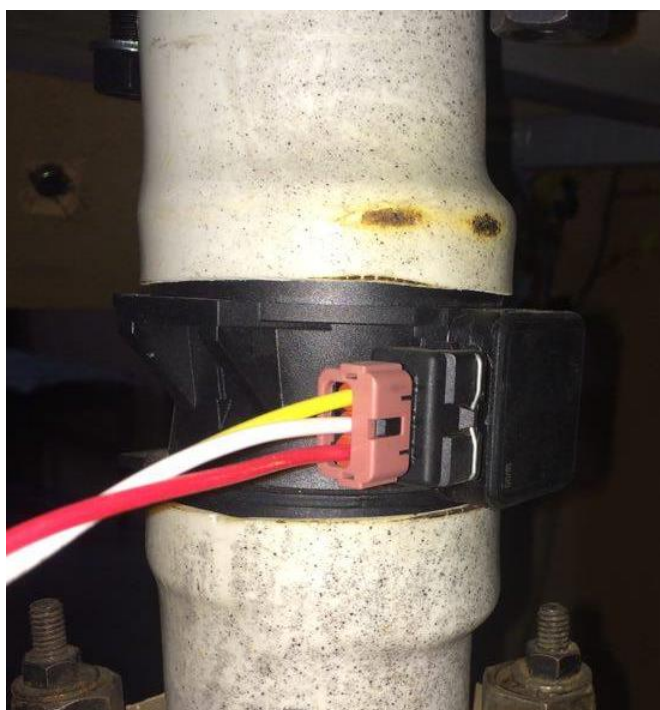


Figura 63: Conexionado del sensor a la alimentación y señal respectiva.

Fuente: El Autor.

7.2.1.3. Colocación en el Sistema de Muestreo:

Una vez se realizan las conexiones pertinentes, el sensor es emplazado en el sistema de muestreo, para adquirir los datos que luego serán analizados para dictaminar la validez del sensor.



Figura 64: Colocación del sensor en el sistema de muestreo.

Fuente: El Autor.

7.2.1.4. Adquisición de Datos:

Los diferentes datos adquiridos del sensor son visualizados mediante la utilización de un voltímetro entre los terminales 3 y 1 del sensor, los datos son necesarios para las comparaciones correspondientes.



Figura 65: Obtención de los datos del sensor en el multímetro.

Fuente: El Autor.

7.3. PROCEDIMIENTO DE OBTENCION DE DATOS:

Los diferentes procedimientos descritos para la obtención de datos, representan una forma estandarizada de procesos para la realización de pruebas en el flujometro y de esta manera garantizar que las mediciones adquiridas son correctas y tendrán la repetitividad requerida.

7.3.1. Manual de Usuario:

7.3.1.1. Recomendaciones Generales de Uso:

En todo momento se debe precautelar la aspiración de objetos o impurezas, que puedan ingresar en el sistema, provocando la adherencia de desechos en el sensor de flujo o, el tránsito de materiales pesados que provoquen colisiones en las aletas del ventilador de la aspiradora y pueda producirse roturas internas en el sistema de aspiración.

Nota: Las instrucciones de uso deberán ser acatadas a cabalidad de manera que los muestreos correspondientes, cumplan con términos que garanticen la seguridad necesaria tanto al usuario como al funcionamiento general de los diferentes instrumentos del equipo.

7.3.1.2. Preparación del Flujometro:

- Situar el flujometro digital en una superficie plana, que permita un soporte estable para la realización de las pruebas, indiferentemente del peso de los componentes a medir.
- Elegir de forma apropiada los acoples correspondientes al diámetro de la culata a medir.

- Verificar que la superficie de los componentes a medir cumpla con un parámetro de planicidad mínimo que permita la unión aislada, entre la superficie de asiento del elemento de prueba y la superficie del acople correspondiente.

7.3.1.3. Uso:

- Cerciorarse de que los elementos de flujo probados, se encuentren dentro del rango máximo de medición.
- Si se notan anomalías durante el uso del flujometro detener todos los sistemas de forma inmediata.
- No someter el flujometro a condiciones de medición que puedan provocar cambios bruscos en los resultados, por ejemplo: altas temperaturas, humedad excesiva, etc.

7.3.1.4. Partes de la Sección de Control:

- 1. Puesta en marcha general:** Alimenta todos los circuitos electrónicos del flujometro.
- 2. Control de la aspiradora:** Enciende o apaga la aspiradora con una pulsación.
- 3. Regulador de velocidad de aspiración:** Regula el rango de capacidad de aspiración del sistema para la realización de las pruebas.
- 4. Control de iluminación:** On/Off de la iluminación del puesto de trabajo del flujometro.

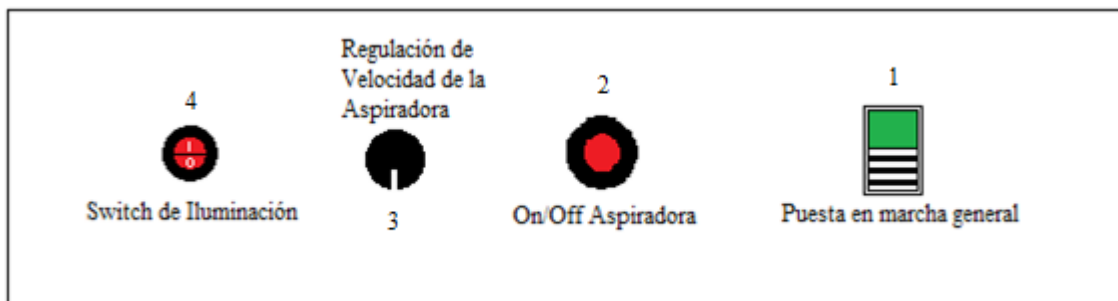


Figura 66: Partes de la sección de control.

Fuente: El Autor.

7.3.1.5. Partes del Sistema de Muestreo:

1. Boca de aspiración: Ingreso de aire y acople para el asiento de las culatas.
2. Sensor MAF: Sensor analógico de flujo másico.
3. Anemómetro: Captador digital de flujo volumétrico y velocidad de aire.
4. Caja de Aspiración: Acople entre la sección tubular circular y la sección de entrada de la aspiradora.
5. Aspiradora: Generador del flujo de aspiración.
6. Caja de Expulsión: Acople para la salida del aire aspirado.



Figura 67: Partes del sistema de muestreo.

Fuente: El Autor.

7.3.1.6. Ecuación de la Escala de Medición Teórica:

$V_u = \text{Volumen Unitario en } ft^3$

$D = \text{Diámetro del cilindro en } ft$

$C = \text{Carrera del pistón}$

$N = \text{Número de Cilindros}$

$rpm \text{ máx} = \text{Revoluciones por minuto máximas del motor}$

$$Escala\ CFM = \frac{rpm\ máx * \pi * D^2 * C}{N}$$

NOTA: Es necesario considerar que a pesar de que un ciclo de aspiración de aire de un cilindro se produce en dos rpm, diversos factores propios del funcionamiento del motor producen sobrealimentación, que aumenta la cantidad de aire aspirado, por lo que en la ecuación no se toma en cuenta que la embolada se produce cada dos rpm.

7.3.1.7. Definición de las Lecturas en el Display:

1. CFM: Flujo volumétrico Cubic Feet per Minute.
2. Pa: Presión en Pascales.
3. °C: Temperatura en grados centígrados.
4. %HR: Porcentaje de humedad relativa.
5. m/s: Velocidad del aire ingresado en metros por segundo.
6. RPM: Velocidad de rotación del motor de la aspiradora.



Figura 68: Lectura del display GLCD.

Fuente: El Autor.

7.4. PROCEDIMIENTO PARA EL MUESTREO:

Los procesos a seguir para la obtención de una muestra normalizada, se detallan dentro del procedimiento a continuación, en donde se demostrara la forma en la cual se obtendrán muestreos válidos, que minimizaran el error.

7.4.1. Diagrama de Procesos para la Obtención de Muestras en el Flujometro:

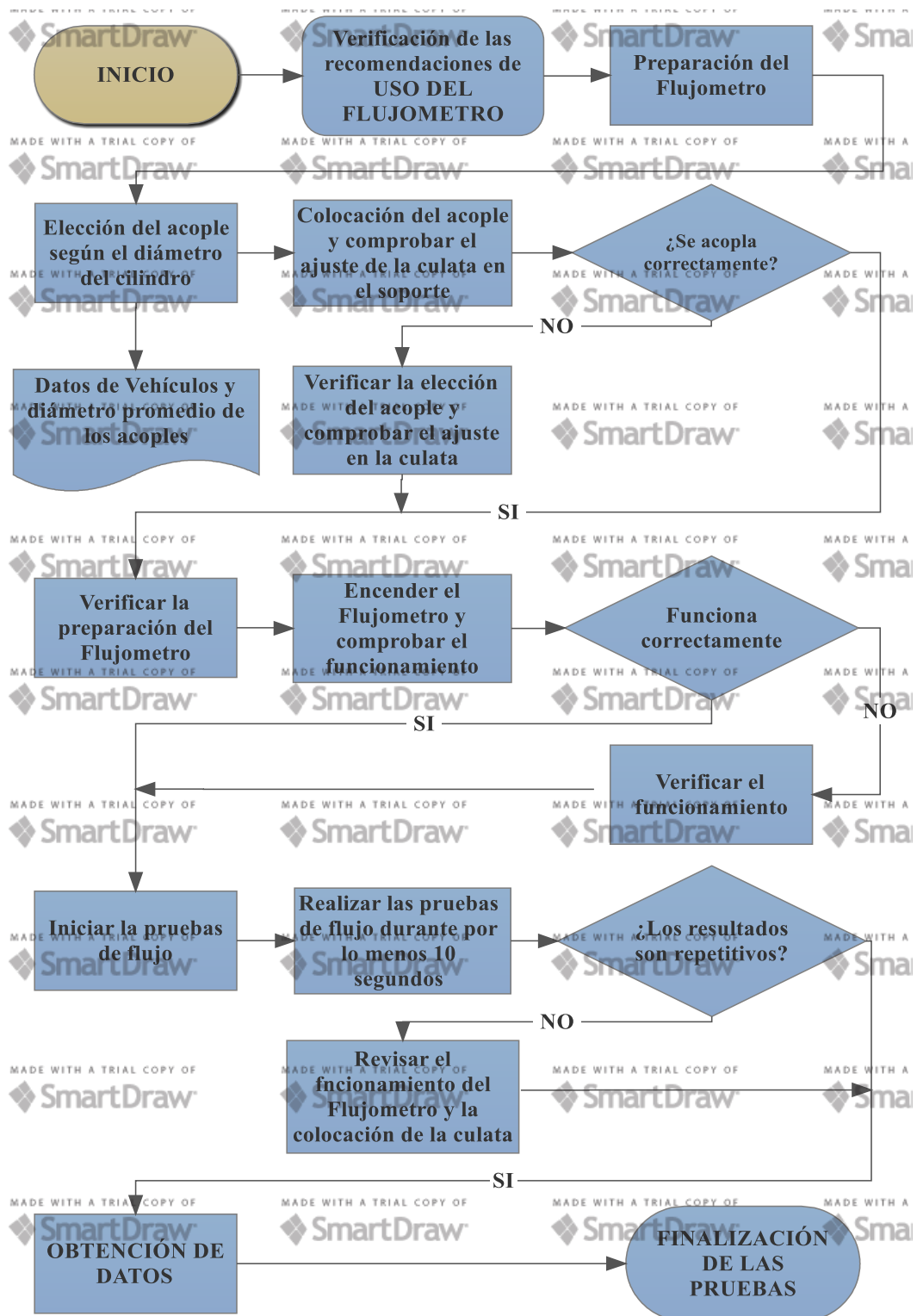


Figura 69: Diagrama de procesos para el muestreo en el flujometro.

Fuente: El Autor.

7.5. COMPARATIVA ENTRE LOS DATOS REALES DE FUNCIONAMIENTO DEL SENSOR Y LOS DATOS DEL FLUJOMETRO:

La comparación entre los datos adquiridos en el proyecto, y el funcionamiento real de un motor de combustión interna alternativo, que incorpora el sensor usado en el flujometro, resulta ser necesario para asociar que la simulación de motor que realizamos con el equipo, aparenta las condiciones normales de funcionamiento de un motor y de esta manera los datos obtenidos aseguran el comportamiento de la culata preparada para un motor de competición. Además, esta resulta ser una forma adicional de comprobar el funcionamiento del sensor, teniendo en cuenta que se realiza la conversión de las unidades de medición del anemómetro y del scanner, asociando el voltaje medido.

La forma en la que la comparación y asociación de datos se realiza, es mediante la utilización de los resultados de las pruebas preliminares realizadas en el sensor y el anemómetro, para de esta manera asociarla a los datos reales de un motor Hyundai Tucson 2007.

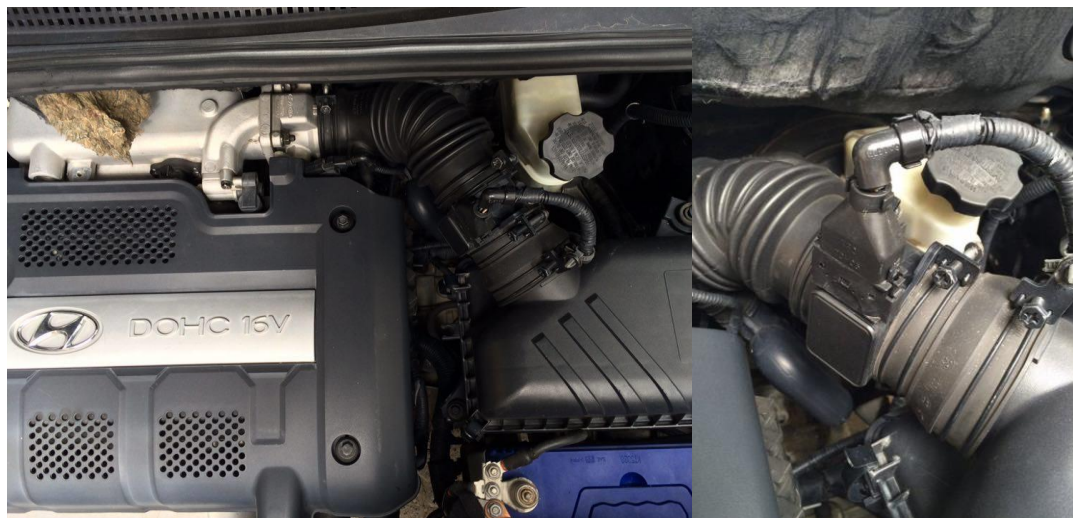


Figura 70: Sensor MAF, Hyundai Tucson 2007.
Fuente: El Autor.

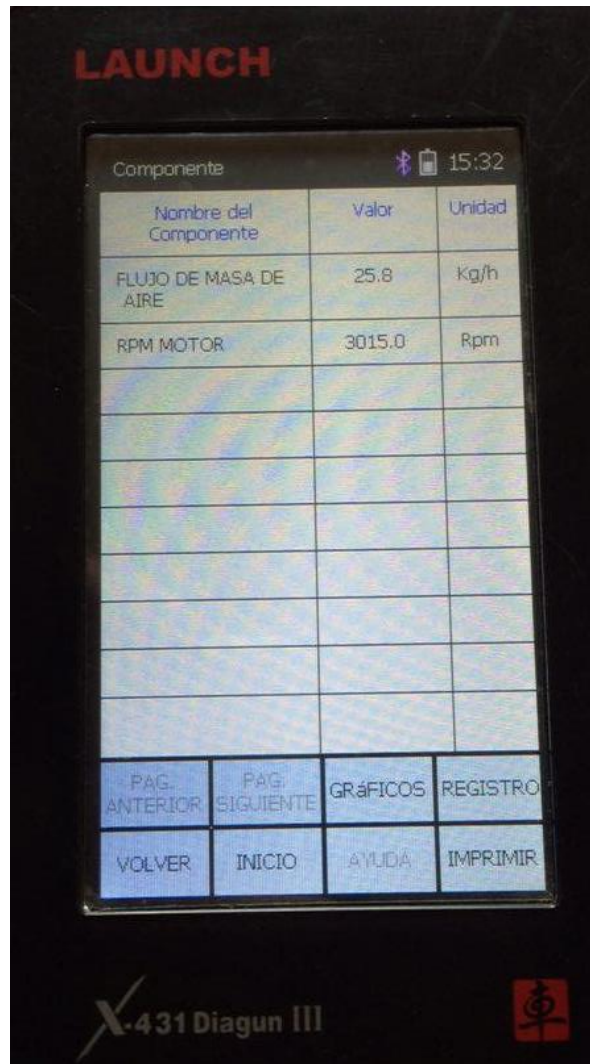


Figura 71: Datos de flujo y rpm obtenidos en el scanner.
Fuente: El Autor.

Para la comparación, es imprescindible tomar en cuenta que en el vehículo la ECU, procesa el flujo captado por el sensor MAF en forma de flujo másico, y en el scanner automotriz se visualizan de igual forma en estas unidades, teniendo en cuenta que la captación de la señal se realiza en función de voltaje, pero existen varios sensores en el vehículo que permiten el cálculo de flujo en función de masa de aire ingresada a los cilindros, con estos precedentes es inevitable la realización de las conversiones correspondientes a flujo volumétrico, para la comparativa, de acuerdo a que las

proporciones medidas por los sensores incorporados en la maqueta están emplazadas con el fin de describir las condiciones ambientales en las que se da el funcionamiento de la misma, en este caso son útiles para la conversión correspondiente, en donde se obtendrá un factor de conversión de flujo volumétrico a flujo másico, para calcular la conversión en base al estado del aire mediante el software web Remak Mass Air Flow Rate Unit Converter.

Pressure:	77970	Pa ▼
Altitude:	2450	m ▼
Temperature:	23.1	°C ▼
Relative humidity:	34	% ▼
Specific humidity:	7.765	g/kg ▼
Air-flow entry and calculation		
Volume air-flow rate:	1	ft3/min ▼
Calculate Delete		
Volume air-flow rate:	0.00047	m3/s ▼
Mass air-flow rate:	0.00043	kg/s ▼

Figura 72: Cálculo de la relación de flujo volumétrico y flujo másico.

Fuente: <http://www.remak.eu/en/mass-air-flow-rate-unit-converter>.

Con el factor de conversión obtenido se procede a transformar las unidades de flujo másico a flujo volumétrico, para efectuar la comparación de las medidas, tomando en cuenta de igual manera que esta conversión describe que el voltaje captado por el sensor refiere un flujo igual, tanto en el vehículo como en la maqueta, por lo que de esta manera también se decreta que el sensor funciona de manera correcta, describiendo el flujo en proporción al voltaje.

En la siguiente tabla, se puede observar las pruebas realizadas, tanto en el vehículo, como en la maqueta, teniendo en cuenta que las pruebas en el vehículo se realizan a diferentes rpm y se asociaran a las muestras del flujometro en función del voltaje obtenido del sensor en ambos casos.

Tabla 16: Comparativa entre el flujo medido del vehículo y del flujometro.

Fuente: El Autor.

RPM	HYUNDAI TUCSON 2007			FLUJOMETRO DIGITAL	
	Voltaje Sensor	Flujo Másico	Conversión a CFM	Voltaje Sensor	CFM
694	0,4V	8,8 kg/h	20,4651163	-	-
1254	0,8 V	16 kg/h	37,2093023	0,85	39,2
2048	1,4 V	17,9 kg/h	41,627907	1,4	42,34
3015	1,9 V	25,8 kg/h	60	1,85	55,7
4117	2,8 V	57,6 kg/h	133,953488	2,84	132,9

Según los diferentes datos obtenidos, podemos diferenciar que los valores se asemejan, pero existe un margen de error, debido a que la conversión de unidades puede no contemplar variables que influyen en los resultados, además cabe recalcar que en un motor el valor que se obtiene en la lectura del scanner es un valor calculado en base a los diferentes parámetros de funcionamiento del motor.

7.6. PROCESO DE DESARROLLO DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO ANOVA:

Los resultados obtenidos, descritos por el funcionamiento normal del flujometro en comparación con el instrumento de medición que se utiliza para el modelado del sensor analógico, que efectúa el muestreo de los datos, se obtuvieron con la utilización del software estadístico MINITAB que nos permita desglosar las variables importantes a tener en cuenta para comprobar que el funcionamiento del anemómetro es correcto y los resultados obtenidos en la mediciones efectuadas en el mismo son veraces.

A continuación, indicamos los valores ingresados para la realización del análisis estadístico, con un porcentaje de funcionamiento de la aspiradora del 70%.

↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	Voltaje MAF	BITS	CFM MAF	CFM Anemómetro	Temperatura °C	%HR	Presión Pa	Vel Aire m/s
2	3,36	696	229,27	224,60	20,5	41	78221	25,23
3	3,38	700	233,48	226,48	20,5	41	78222	25,57
4	3,37	699	232,42	225,54	20,5	41	78226	25,46
5	3,40	703	236,69	228,37	20,5	41	78224	25,90
6	3,41	706	236,92	229,31	20,1	42	78250	26,24
7	3,42	707	237,41	230,25	20,2	42	78249	26,35
8	3,38	700	232,42	226,48	20,1	42	78248	25,55
9	3,36	696	229,27	224,60	20,3	41	78221	25,23
10	3,37	699	232,42	225,54	20,5	41	78226	25,46

Figura 73: Tabulación de datos para la evaluación estadística en Minitab.

Fuente: El Autor.

Una vez, ingresados los datos al software, se procede a seleccionar el tipo de análisis estadístico, tal como se muestra en la figura.

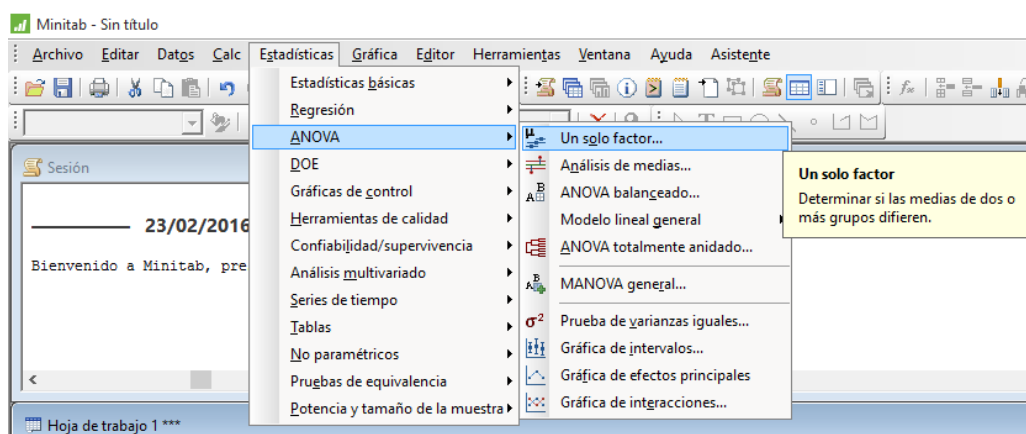


Figura 74: Selección del método estadístico de evaluación.

Fuente: El Autor.

Al haber elegido el método correspondiente de análisis estadístico ANOVA, procedemos a configurar los parámetros correspondientes de los cálculos a realizar, en donde ingresamos la variable de respuesta, que en el caso del análisis de los datos del flujometro, es la variable de CFM, procesados según el voltaje del sensor MAF, y además elegimos el factor que resulta ser la variable, con respecto a la que se va a realizar la comparación estadística que es el factor de lectura de CFM, del anemómetro.

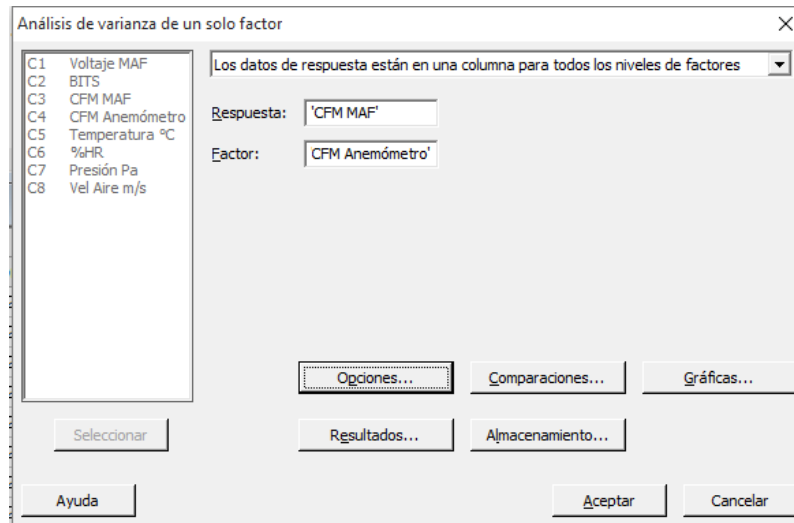


Figura 75: Selección del método estadístico de evaluación.

Fuente: El Autor.

Luego de haber ingresado los datos, y haber configurado los parámetros que intervienen en el análisis, se obtienen graficas de evaluaciones estadísticas, que indican la diferenciación del resultado de CFM, observados en la pantalla GLCD, en comparativa con el factor de análisis. En la figura, se observan los resultados obtenidos de forma gráfica.

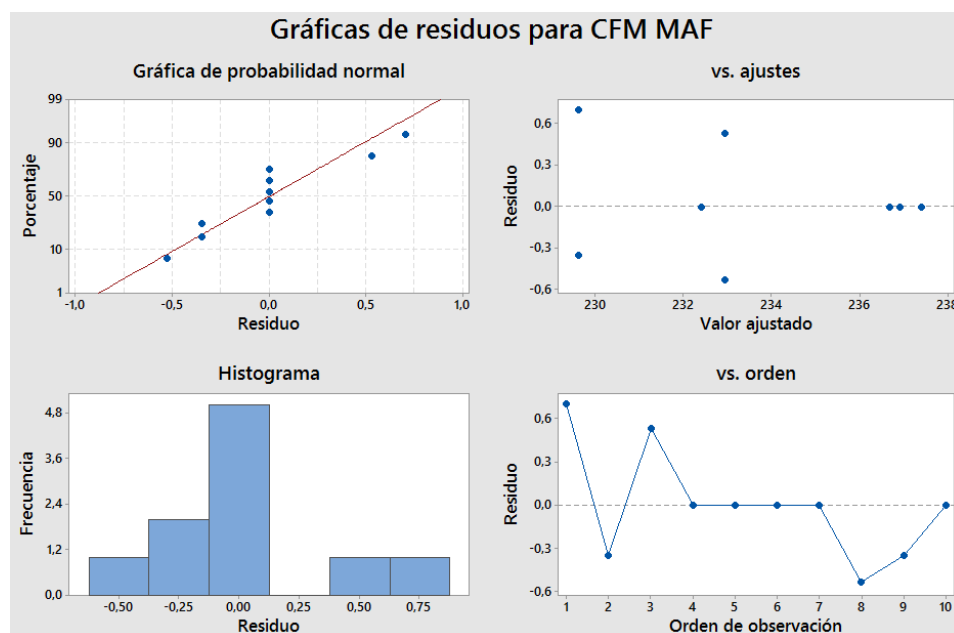


Figura 76: Resultados gráficos de residuos para la variable CFM MAF.

Fuente: El Autor.

Además, de manera simultánea, los diferentes resultados obtenidos del Análisis de Varianza de un solo Factor, se muestran en la ventana principal de la sesión del software, entre el resumen de resultados obtenidos, es preciso rescatar que se visualizan en detalle los parámetros que describe, el método de análisis, la información de los factores analizados, el análisis de la varianza, el resumen de los resultados del modelo y las medias obtenidas del análisis. En la siguiente grafica se observan el resumen de los resultados obtenidos por medio del método ANOVA.

ANOVA unidireccional: CFM MAF vs. CFM Anemómetro

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales
 Hipótesis alterna Por lo menos una media es diferente
 Nivel de significancia $\alpha = 0,05$

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
CFM Anemómetro	6	224,60; 225,54; 226,48; 228,37; 229,31; 230,25

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
CFM Anemómetro	5	83,343	16,6686	51,41	0,001
Error	4	1,297	0,3242		
Total	9	84,640			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,569386	98,47%	96,55%	*

Medias

CFM	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Anemómetro				
224,60	3	229,620	0,606	(228,707; 230,533)
225,54	2	232,4	0,0	(231,3; 233,5)
226,48	2	232,950	0,750	(231,832; 234,068)
228,37	1	236,7	*	(235,1; 238,3)
229,31	1	236,9	*	(235,3; 238,5)
230,25	1	237,4	*	(235,8; 239,0)

Desv.Est. agrupada = 0,569386

Figura 77: Resumen de resultados del método ANOVA.

Fuente: El Autor.

7.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA VALIDACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL FLUJOMETRO A 70% DE SU FUNCIONAMIENTO:

Teniendo en cuenta el procedimiento descrito anteriormente, para la realización del análisis estadístico con el método ANOVA, se procede a la recolección de muestras del funcionamiento del flujometro, para realizar el respectivo análisis, según el porcentaje de funcionamiento del flujometro, para validar la obtención de los datos en diferentes rangos de actividad del mismo.

Los datos se tomaron de forma simultánea, tanto en los instrumentos de medición, que intervinieron el modelado del sensor, como en la pantalla de visualización del flujometro.



Figura 78: Obtención de los datos para el análisis estadístico
Fuente: El Autor.

La recolección de datos, denota un espacio muestral, que describe las condiciones de funcionamiento del flujometro, de las cuales se desarrolla el análisis estadístico, por lo que dicho esto, es preciso la obtención de varias muestras con diferentes factores de trabajo, que remarquen la realización del funcionamiento normal del flujometro.

Hoja de trabajo 1 ***								
↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	Voltaje MAF	BITS	CFM MAF	CFM Anemómetro	Temperatura °C	%HR	Presión Pa	Vel Aire m/s
2	3,36	696	229,27	224,60	20,5	41	78221	25,23
3	3,38	700	233,48	226,48	20,5	41	78222	25,57
4	3,37	699	232,42	225,54	20,5	41	78226	25,46
5	3,40	703	236,69	228,37	20,5	41	78224	25,90
6	3,41	706	236,92	229,31	20,1	42	78250	26,24
7	3,42	707	237,41	230,25	20,2	42	78249	26,35
8	3,38	700	232,42	226,48	20,1	42	78248	25,55
9	3,36	696	229,27	224,60	20,3	41	78221	25,23
10	3,37	699	232,42	225,54	20,5	41	78226	25,46

Figura 79: Datos ingresados para la evaluación en Minitab 17.

Fuente: El Autor.

7.7.1. Análisis de Resultados de Gráficas de Residuos a 70% de Funcionamiento del Flujometro sin Restricción de Entrada de Aire:

Siguiendo el procedimiento indicado para el análisis estadístico, con los datos obtenidos, con el funcionamiento del flujometro al 70%, se obtienen los siguientes resultados, que serán analizados.

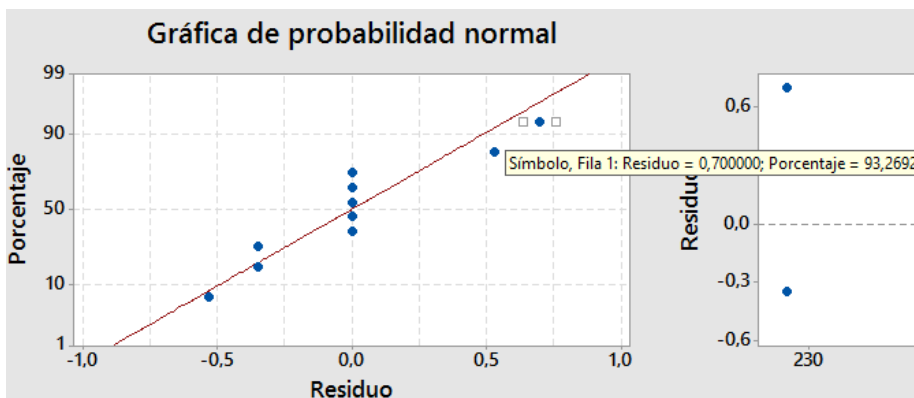


Figura 80: Resultados de la gráfica de probabilidad normal.

Fuente: El Autor.

La gráfica que describe la probabilidad normal, representa puntos dispersos alrededor de la recta que describe el factor CFM, medidos por el anemómetro, constituye la diferencia de cada punto de las muestras con respecto al factor, es decir que se

observa el residual, para que se obtenga el ajuste hacia la recta. Los datos residuales, representan en este caso un grado máximo de residuo de 0.7, con respecto a los valores ajustados correspondientes, con un porcentaje de que la muestra obtenga un valor diferente al residual mostrado, de 93,27%.

De esta manera el análisis arrojado por la gráfica de probabilidad normal, indica que el residuo entre los valores del factor de comparación y los valores de lectura del flujometro, es notablemente pequeño, lo que resulta garantizar a que las muestras adquiridas en el equipo contienen un porcentaje de confiabilidad alto.

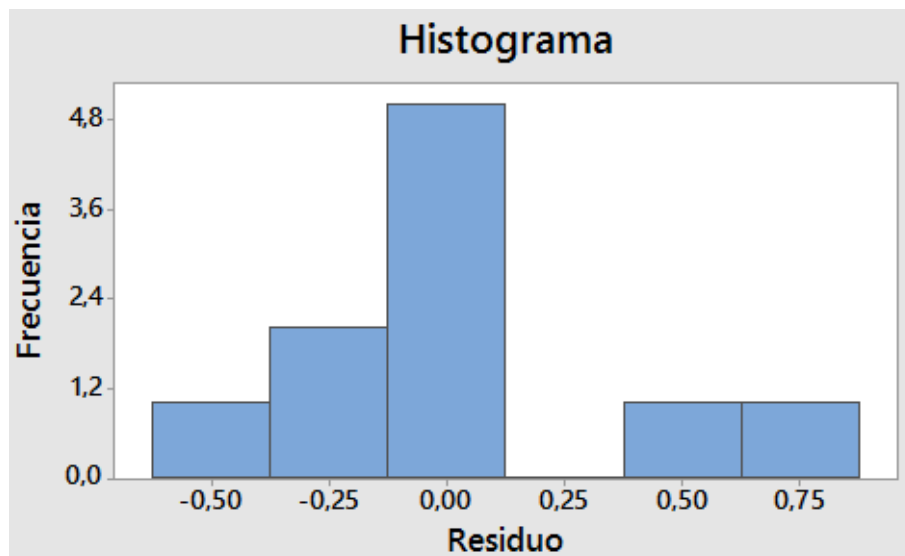


Figura 81: Histograma de probabilidad.

Fuente: El Autor.

De igual forma dentro de las gráficas de resultados obtenidas a partir del análisis ANOVA, encontramos el histograma, en donde evaluamos la frecuencia, con la que se puede obtener un valor con el residual correspondiente indicado en el eje horizontal. Y en el caso del análisis de los datos ingresados, es notable diferenciar que los datos que se repiten con mayor frecuencia, tienen un residual de 0, con respecto al valor de los datos ajustados. También cabe indicar que el histograma describe, además que los valores

alejados de las barras de mayor frecuencia son valores que se presentan de forma atípica.

La siguiente gráfica describe, los datos y los residuos en el orden en el que se tomaron las muestras, de esta manera se puede diferenciar la existencia de errores no aleatorios, y en el caso particular de la gráfica obtenida con los datos ingresado, se distingue que los datos centrales del espacio muestral se ajustan de manera que no presentan ningún residuo, remarcando que aleatoriedad del muestreo se produce al inicio y al fin de la obtención de resultados. Por lo que para garantizar que la precisión de las pruebas realizadas en el flujometro es la mejor posible, se toma en cuenta la adquisición de datos intermedios, que se visualizan en la pantalla del flujometro, durante el periodo de realización de la pruebas.

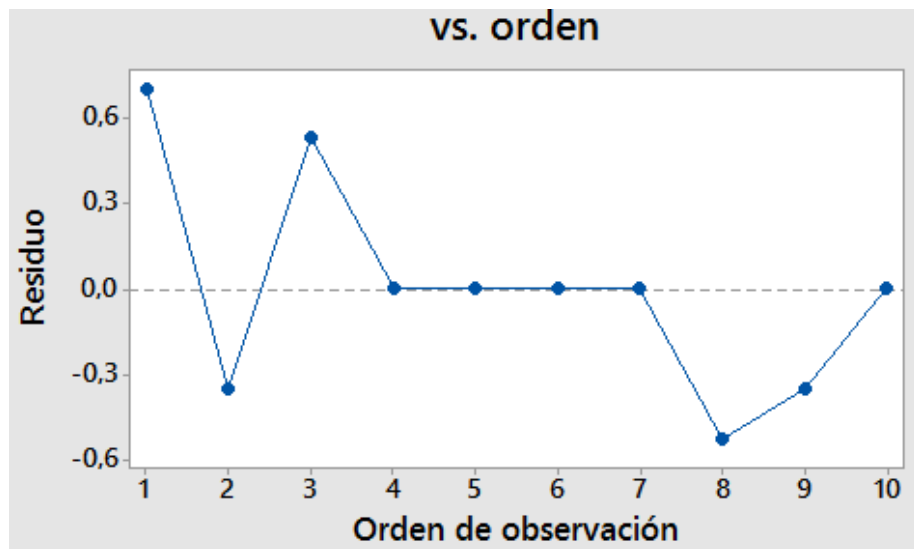


Figura 82: Grafica de descripción de los datos con respecto al ajuste según el orden de muestreo.
Fuente: El Autor.

7.7.2. Análisis de Resultados del Resumen del Método ANOVA a 70% de Funcionamiento del Flujómetro sin Restricción de Entrada de Aire:

Del resumen de resultados indicado a continuación, resulta que el análisis se centra de manera considerable en los análisis de varianza, el resumen del modelo y la desviación estándar.

ANOVA unidireccional: CFM MAF vs. CFM Anemómetro

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna Por lo menos una media es diferente
Nivel de significancia $\alpha = 0,05$

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
CFM Anemómetro	6	224,60; 225,54; 226,48; 228,37; 229,31; 230,25

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
CFM Anemómetro	5	83,343	16,6686	51,41	0,001
Error	4	1,297	0,3242		
Total	9	84,640			

Resumen del modelo

S	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,569386	98,47%	96,55% *

Medias

CFM Anemómetro	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
224,60	3	229,620	0,606	(228,707; 230,533)
225,54	2	232,4	0,0	(231,3; 233,5)
226,48	2	232,950	0,750	(231,832; 234,068)
228,37	1	236,7	*	(235,1; 238,3)
229,31	1	236,9	*	(235,3; 238,5)
230,25	1	237,4	*	(235,8; 239,0)

Desv.Est. agrupada = 0,569386

Figura 83: Resumen de los datos obtenidos según el método estadístico ANOVA al 70% de funcionamiento del flujómetro.

Fuente: El Autor.

La suma de cuadrados denotada en el análisis de varianza por SC Ajust, se utiliza con el propósito de la realización de descomposición de las variabilidades presentadas para la variable respuesta es decir el valor esperado, con respecto al que se realiza la comparación de las muestras obtenidas.

Como se observa en el caso del resumen del modelo, se obtiene que la R-cuad, presenta un porcentaje de variación de la variable de respuesta explicada en relación con las variables predictoras, un valor de 98.47%, indicando de esta forma que el modelo se ajusta de forma precisa a sus datos.

En otro caso la desviación estándar del modelo, resulta ser para 3 datos 0.606, para 2 datos 0.0 y para 2 datos adicionales 0.75, indicando que la dispersión de las muestras obtenidas no se separan de forma muy notoria de la media que conforman los datos esperados de CFM medidos en el anemómetro. Y de igual forma la desviación estándar agrupada de 0.5693, muestra ser mínima en promedio para cada uno de los valores de respuesta obtenidos.

7.8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA VALIDACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL FLUJOMETRO EN LA REALIZACIÓN DE PRUEBAS REALES DE FUNCIONAMIENTO EN LA CULATA DATSUN A14:

Para la realización de las pruebas reales de funcionamiento del flujometro, efectuamos el proceso de Obtención de las Muestras, descrito al inicio de este capítulo, para de esta manera crear el espacio muestral correspondiente con los datos obtenidos, de acuerdo a las pruebas realizadas en la culata Datsun A14.



Figura 84: Culata trucada Datsun A14.
Fuente: El Autor.

Los datos ingresados, al software estadístico, son los que se muestran en la figura:

↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	Volataje MAF	BITS	CFM MAF	CFM Anemómetro	Temperatura °C	%HR	Presión Pa	Vel Aire m/s
1	2,65	549	115,28	109,74	19,5	41	78318	12,71
2	2,64	536	108,52	108,84	19,5	41	78323	11,92
3	2,62	533	107,03	107,03	19,6	41	78320	11,75
4	2,64	539	110,04	108,84	19,6	41	78324	12,10
5	2,68	572	128,41	112,46	19,6	41	78327	14,21
6	2,64	550	115,82	108,84	19,6	41	78317	12,77
7	2,64	542	111,58	108,84	19,6	41	78319	12,26
8	2,63	548	114,74	107,93	19,6	41	78318	12,65
9	2,62	533	107,03	107,03	19,6	41	78320	11,75
10	2,68	572	128,41	112,46	19,6	41	78327	14,21

Figura 85: Datos obtenidos para la culata Datsun A14 con funcionamiento del flujometro de 70%.
Fuente: El Autor.

Derivado de los datos ingresados, siguiendo el proceso de la realización del análisis estadístico, obtenemos los resultados que se presentaran a continuación para el análisis según las gráficas residuales y el resumen de resultados relevantes para indicar la validación del equipo.

De acuerdo a los resultados provistos por las gráficas, resulta importante recalcar que las deducciones del histograma, denotan que existe una frecuencia de aparición de datos con residuos de 0, con respecto al ajuste, que favorece a corroborar la certeza de las mediciones realizadas en el flujometro.

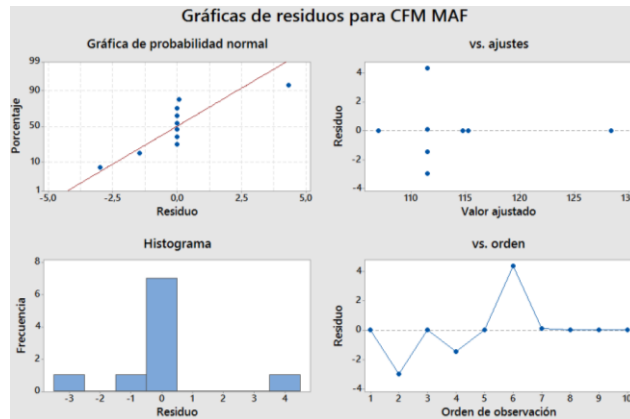


Figura 86: Gráficas de residuos para la prueba real de funcionamiento a 70% de la capacidad de aspiración.

Fuente: El Autor.

Como se puede observar en el resultado de las gráficas de probabilidad normal, existe una muestra que difiere de manera considerable al valor ajustado, pero esta representa un porcentaje mínimo de aparición, y además los demás puntos muestrales ilustrados, comprenden una homogeneidad considerable alrededor de un residuo de 0, por lo que debido a que el porcentaje de aparición de puntos que varían considerablemente se puede indicar que el funcionamiento del flujometro es repetitivo en el muestreo y además se consigue una precisión en las mediciones muy considerable. En la siguiente figura se indica el detalle del punto muestral distante de la recta de ajuste del factor de comparación.

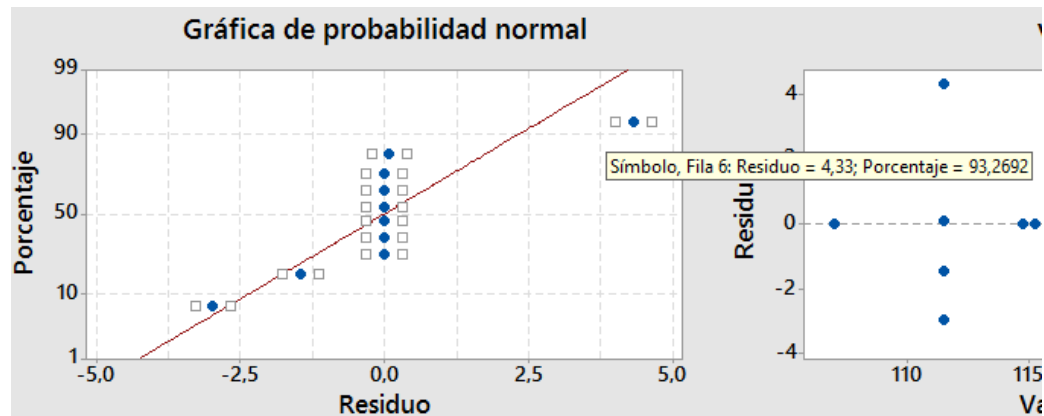


Figura 87: Detalle del dato muestral con mayor variación con respecto al ajuste.

Fuente: El Autor.

7.9. ANÁLISIS DEL RESUMEN DE RESULTADOS DE LA REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS REALES DE FUNCIONAMIENTO EN LA CULATA DATSUN A14:

Los diferentes datos obtenidos y de relevancia para la demostración de la funcionabilidad del flujometro se describen a continuación en la siguiente figura:

ANOVA unidireccional: CFM MAF vs. CFM Anemómetro

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
CFM Anemómetro	5	107,03; 107,93; 108,84; 109,74; 112,46

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
CFM Anemómetro	4	535,14	133,785	22,54	0,002
Error	5	29,68	5,936		
Total	9	564,82			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
2,43641	94,75%	90,54%	*

Medias

CFM	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Anemómetro				
107,03	2	107,0	0,0	(102,6; 111,5)
107,93	1	114,7	*	(108,5; 121,0)
108,84	4	111,49	3,15	(108,36; 114,62)
109,74	1	115,3	*	(109,0; 121,5)
112,46	2	128,4	0,0	(124,0; 132,8)

Desv.Est. agrupada = 2,43641

Figura 88: Resumen de resultados estadísticos de la prueba real de funcionamiento del flujometro.

Fuente: El Autor.

Según se observa en los resultados de relevancia del método ANOVA, describimos en primera instancia la raíz cuadrada de la variable de respuesta, que representa un ajuste de los datos obtenidos en comparación con los datos esperados de

94%, acotando que el grado de dispersión de la muestra más alejada de la media esperada causa la disminución del porcentaje de ajuste de los datos recolectados.

Siguiendo con el análisis, la desviación estándar agrupada de los factores analizados, representa un grado de 2.43, siendo esta de igual forma notablemente modificada por la existencia de los datos con un residuo de ajuste elevado.

8. PRUEBAS Y AJUSTES DE FUNCIONAMIENTO:

Las pruebas de funcionamiento, son quizás la parte más importante del desarrollo del proyecto, puesto que gracias a ellas, se puede certificar el correcto funcionamiento del equipo, dejando por sentado que el mismo cumple con el cometido del estudio, de simular un motor de combustión interna alternativo, por lo que las mediciones de flujo volumétrico que en él se realicen, derivadas de los trabajos de trucaje de culatas de motores, resultaran reflejar el aumento de potencia esperado, procedentes de los cálculos correspondientes de mecanizado de culatas.

Según se obtengan los resultados de las pruebas de funcionamiento, describiendo el comportamiento general de la maqueta, tanto en la medición de flujo, como en el funcionamiento de los circuitos electrónicos y sistemas, será conveniente la realización de ajustes que permitan optimizar el funcionamiento y que garanticen un margen de error mínimo en las mediciones, lo cual permitirá garantizar que la maqueta refleja resultados reales de los componentes medidos, durante el funcionamiento de los mismos en los motores de competición.

Las pruebas se remiten a comprobar que las mediciones arrojen un valor repetitivo de flujo, cuando se realicen las pruebas, teniendo en cuenta la magnitud de flujo de la aspiradora, en la que se realiza la prueba y que el valor arrojado debe similar, las veces que se realicen las pruebas, siempre y cuando no se realicen cambios en las partes sometidas a prueba y en el flujo de aspiración o las propiedades del aire aspirado.

8.1. COMPROBACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL SKETCH DE CONTROL DEL MICROCONTROLADOR:

Teniendo en cuenta que posteriormente se comprobara la actividad de sensores electrónicos, que precisan de la visualización de su funcionamiento en la pantalla GLCD, es necesario comprobar que el programa de control que se ejecuta en el microcontrolador ARDUINO, funcione de manera correcta y se pueda cargar de forma exitosa desde la plataforma del software Arduino CC, al microcontrolador. Por lo que en el software de programación, se procede a realizar la compilación del sketch, en la que se visualizara la existencia de errores de compilación que comprometan la ejecución del programa. Para comprobar la existencia de errores se procede cargar el programa en la placa ARDUINO y de esta forma se observará el mensaje que se ve en la figura, indicando que el programa no tiene errores de compilación y se cargara al microcontrolador.

```
//libreria para lectura de tempe y humedad
#include "DHT.h"
#define DHTPIN 4 // what digital pin we're connected to
// Uncomment whatever type you're using!
#define DHTTYPE DHT11 // DHT 11

// Initialize DHT sensor.
// Note that older versions of this library took an optional third argument to
// tweak the timings for faster processors. This parameter is no longer used
// as the current DHT reading algorithm adjusts itself to work on faster
// processors.
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

//canales de lectura analogicos

const int PinTemp = A0;
```

Compilado

Global variables use 580 bytes (7%) of dynamic memory, leaving 7.612 bytes for local variables. Maximum is 8.192 bytes.

Arduino/Genuino Mega or Mega 2560, ATmega2560 (Mega 2560) on COM4

Figura 89: Compilación del programa de control de ARDUINO.

Fuente: El Autor.

Es importante tener en cuenta el tamaño del sketch, en nuestro caso el tamaño del mismo resulta ser una limitante para la utilización de un ARDUINO UNO, lo cual se puede comprobar tratando de subir el archivo al microcontrolador, por lo que se tendrá un mensaje de espacio insuficiente, como se muestra a continuación:



The screenshot shows the Arduino IDE interface with a sketch named 'sketch_jan05a'. The code includes the U8glib.h library and defines a DHT sensor. The error message at the bottom states: 'Programa muy grande: visite http://www.arduino.cc/en/Guide/Troubleshooting#size para ver cómo reducirlo.' (Program too big: visit http://www.arduino.cc/en/Guide/Troubleshooting#size to see how to reduce it.)

```
sketch_jan05a Arduino 1.6.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
sketch_jan05a
#include "U8glib.h"
// setup u8g object, please remove comment from one of the following
U8GLIB_ST7920_128X64 u8g(12, 11, 10, U8G_PIN_NONE); // SPI Com: SC

//libreria para lectura de tempe y humedad
#include "DHT.h"
#define DHTPIN 4 // what digital pin we're connected to
// Uncomment whatever type you're using!
#define DHTTYPE DHT11 // DHT 11

// Initialize DHT sensor.
// Note that older versions of this library took an optional third
// tweak the timings for faster processors. This parameter is r
// as the current DHT reading algorithm adjusts itself to work c
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

Programa muy grande: visite http://www.arduino.cc/en/Guide/Troubleshooting#size para ver
cómo reducirlo.
at java.lang.Thread.run(Thread.java:745)
Arduino/Genuino Uno on COM4
```

Figura 90: Compilación del programa para la plataforma ARDUINO UNO.
Fuente: El Autor.

8.2. COMPROBACIÓN DE FUNCIONAMIENTO DEL DISPLAY GLCD:

El display es de suma importancia al momento de la verificación del funcionamiento de los diferentes circuitos, ya que gracias a la ayuda de la visualización, se puede comprobar que se estén procesando en el ARDUINO, las lecturas de los

sensores, y además se comprueba la organización de los datos en la pantalla, que fueron configurados en el sketch.

Para la comprobación de funcionamiento del GLCD, basta realizar las conexiones correspondientes de alimentación y de comunicación con el microcontrolador, y de esta forma se podrá observar los datos procesados en el ARDUINO, y la disposición de los mismos para su visualización.



Figura 91: Comprobación de funcionamiento del display y lectura de datos.
Fuente: El Autor.

8.3. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL CIRCUITO DE CONTROL GENERAL:

Dentro de lo que corresponde a garantizar el funcionamiento del equipo, es necesario, avalar el funcionamiento del circuito de control general, por lo que de este se deriva la alimentación y recepción de señales de los diferentes sensores y componentes del flujometro, es decir comprende un componente fundamental dentro del

funcionamiento en general del flujometro, además es el encargado de conexionar el microcontrolador con las diferentes señales recogidas de los sensores.

Para garantizar el funcionamiento del circuito diseñado, que contiene las fuentes de voltaje continuo, ya que en el caso particular de los sensores utilizados en la maqueta existen sensores con diversas fuentes de alimentación, que se energizan con 5 Voltios, 3,3 Voltios y sensor de flujo de uso automotriz que utiliza una alimentación que ronda los 12 Voltios.

En primera instancia, comprobamos que las fuentes de alimentación tengan la polaridad correcta, y luego procedemos a comprobar que el voltaje proveniente de cada regulador de voltaje sea el necesario para alimentar los componentes según los diferentes requerimientos en las pistas de la placa PCB, además tenemos que tener presente que de la placa de control general también se obtiene la fuente de alimentación del ARDUINO, la cual en nuestro caso la diseñamos con un regulador de voltaje de 6 Voltios, debido a que la alimentación del ARDUINO es 5 Voltios y un regulador de voltaje de esta denominación entrega valores un tanto menores a ese voltaje según sean las variaciones de la fuente de alimentación del regulador, pudiendo causar que en algunas circunstancias el voltaje de alimentación del microcontrolador decaiga demasiado causando un apagado general del mismo.

Luego de haber verificado las fuentes de voltaje de todos los componentes derivados del circuito general de control, es necesario probar cada uno de los sensores y fuentes de alimentación que se disponen en la placa PCB, por lo que las diferentes conexiones de las señales procesadas se realizan directamente en el ARDUINO y se

emplazan tanto el microcontrolador, como la placa impresa en el bastidor, para las pruebas correspondientes.

Las pruebas de funcionamiento del circuito de control se realizan teniendo en cuenta el diagrama electrónico presentado a continuación, para de esta forma verificar el cumplimiento de la funcionalidad de la placa PCB:

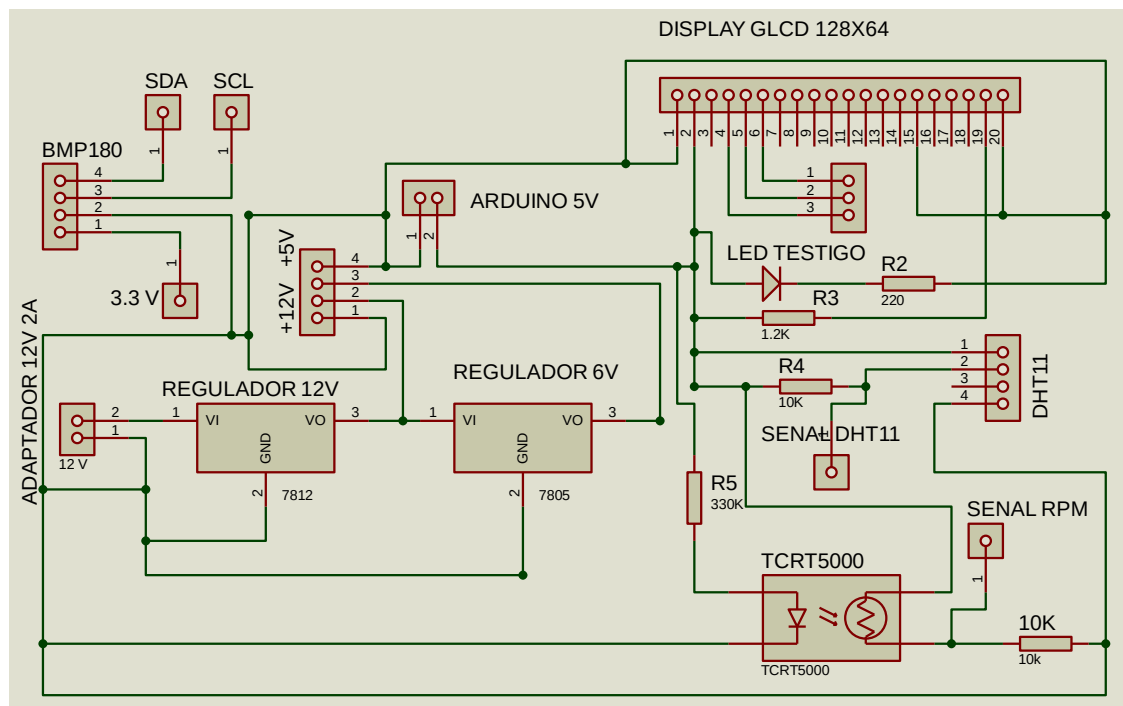


Figura 92: Diagrama del circuito de control general.

Fuente: El Autor.

Las diferentes conexiones de la placa de control general y del microcontrolador se realizan, de manera que no presenten complicaciones en el manejo del circuito, y de forma organizada para poder realizar las verificaciones correspondientes, tanto en el funcionamiento de los circuitos electrónicos, como en las mediciones realizadas por los sensores emplazados en la placa, la verificación del funcionamiento de los dispositivos dependientes del circuito general de control se muestran en la siguiente figura:

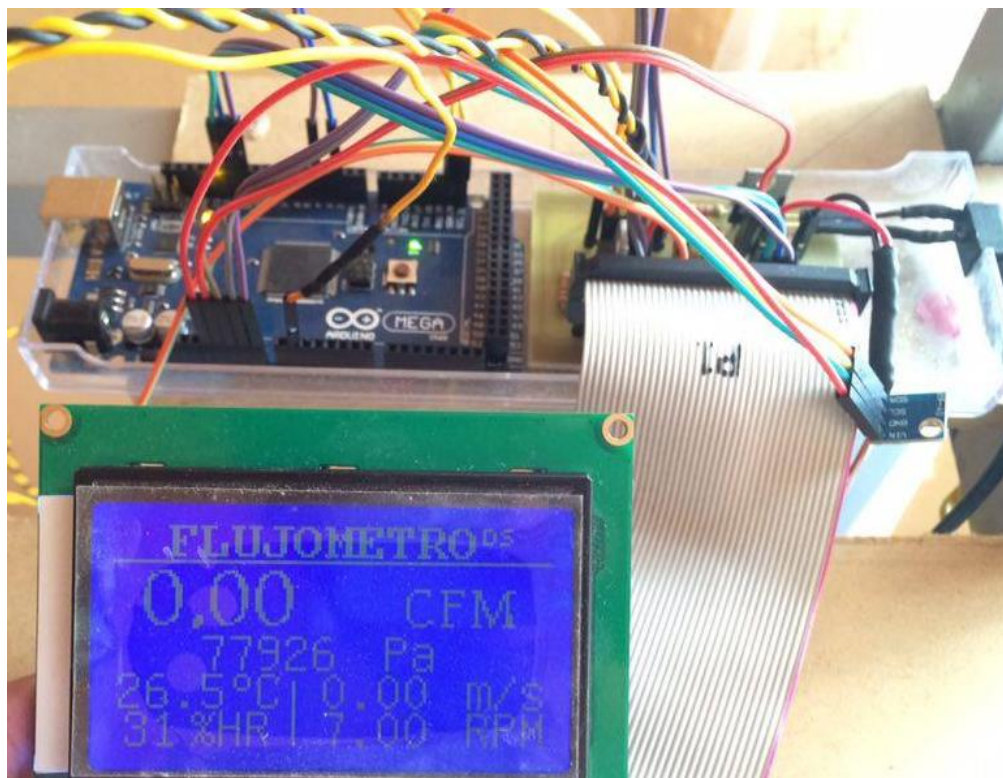


Figura 93: Comprobación de funcionamiento de los sensores.

Fuente: El Autor.

El funcionamiento de los sensores se verifica, visualizando la diferentes magnitudes medidas en la pantalla GLCD, así como el funcionamiento del indicador de la maqueta que marcan el estado de la misma, es decir si está encendida o apagada, el que se sitúa en el interruptor de encendido general.

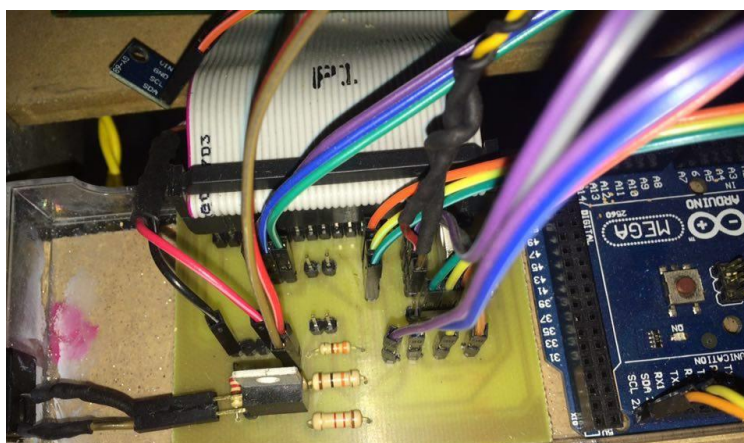


Figura 94: Cableado de los componentes, desde el circuito de control general.

Fuente: El Autor.

8.3.1. Pruebas de los Sensores:

Los diferentes sensores se comprueban según difieren las condiciones en las que se realizan ensayos y de esta manera se comprueba la actividad en general de los mismos. La forma en la que se verifica el funcionamiento de cada uno de los sensores es en la visualización mediante el GLCD, como se dijo anteriormente la visualización es una parte fundamental dentro del funcionamiento del flujometro, y en este caso resulta ser trascendental para comprobar que los diferentes sensores realizan su trabajo y provee al microcontrolador de la información necesaria para procesarla y mostrarla en la pantalla.

Para la comprobación del funcionamiento del sensor de flujo de aire, y la funcionalidad en general del flujometro, es decir verificar que cumpla con el objetivo principal de medir el flujo volumétrico, se verifica que las mediciones mostradas en la pantalla GLCD, concuerden con los datos de voltaje que se utilizaron para crear el modelo matemático, la comprobación se realiza mediante el uso de un Voltímetro, el cual indicara el voltaje del sensor, y se comprobara con lo calculado que se muestra en la pantalla.



Figura 95: Pruebas de funcionamiento del sensor MAF, en función del voltaje.

Fuente: El Autor.

Para probar el sensor de flujo, ingresamos el valor medido en voltaje en la función que modelamos en base a los datos obtenidos y de esta manera se comprueba que el voltaje medido está siendo procesado de manera correcta y se visualiza el flujo resultante en proporción al voltaje medido, tanto en la pantalla como en el anemómetro.

Los resultado obtenidos en función de voltaje del sensor, se analizan en comparación con los datos de flujo volumétrico y velocidad del cuadro de datos utilizados para el modelado del sensor, para de esta manera marcar la diferencia entre las mediciones e indicar el porcentaje de erro existente entre la lectura en la pantalla y los datos del modelo.

Tabla 17: Datos adquiridos de las magnitudes de flujo y voltaje del sensor.

Fuente: El Autor.

MUESTRA	Velocidad m/s	Voltaje Velocidad Vv	Flujo CFM	Voltaje Flujo Vf
25	26,39	3,47	187,3	3,16
27	27,84	3,51	197,7	3,22
36			255,7	3,49

En el cuadro se observa el número de la muestra tomada, en relación con el voltaje, el valor de CFM y velocidad, medidos con el anemómetro y el voltímetro, para de esta manera compararlos con los resultados obtenidos en la pantalla GLCD, y determinar el porcentaje de error que se obtiene en las mediciones, con respecto al modelado matemático de los datos del muestreo, tomados durante la etapa de desarrollo. La prueba se realiza, con datos de voltaje de 3,49 Voltios y en función de este voltaje asociamos las mediciones.

Tabla 18: Datos adquiridos de las magnitudes de flujo y voltaje del sensor.

Fuente: El Autor.

Voltaje del Sensor	Velocidad m/s Modelada	Velocidad m/s Lectura en el GLCD	Flujo CFM Modelado	Flujo CFM Lectura en el GLCD
2,49 V	27,84	28,33	255,7	260,16
% de Error	1,723 %		1,714 %	

8.3.2. Pruebas de Funcionamiento de los Indicadores:

El indicador en el caso del flujometro, realiza el papel de describir el estado en el que se encuentra el equipo, denotando si el mismo se encuentra encendido o apagado, y de igual forma el indicador, señala de acuerdo a la iluminación progresiva que se produce en el led, que el adaptador entrega su máximo de carga, y el funcionamiento de los reguladores de voltaje alcanza el valor normal para alimentar los circuitos electrónicos.

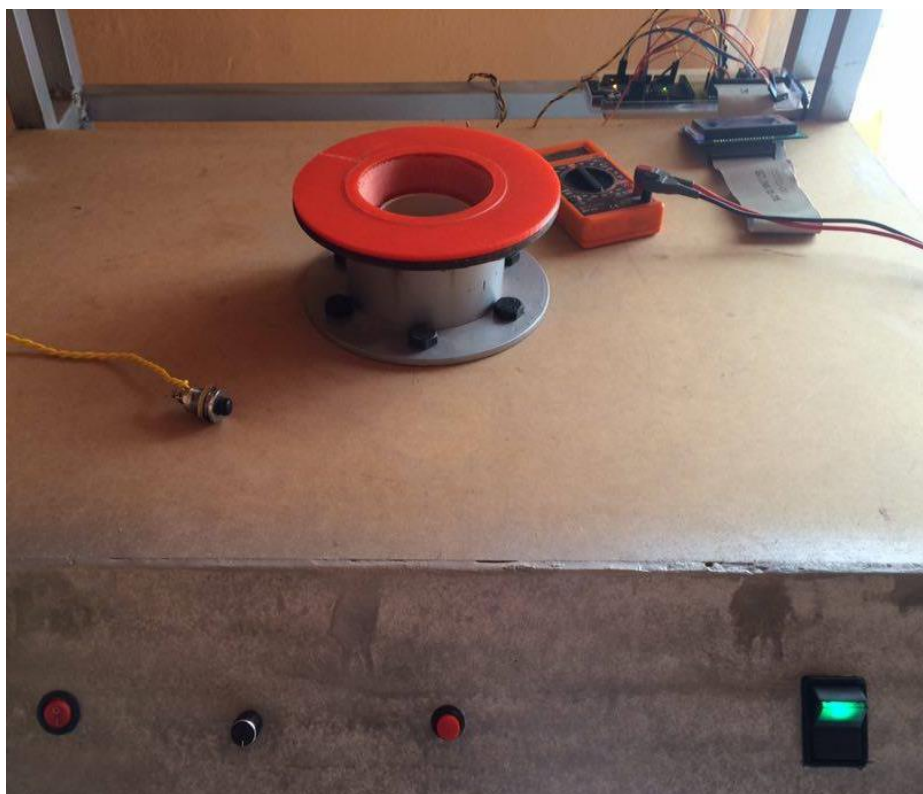


Figura 96: Comprobación de funcionamiento del indicador de encendido.

Fuente: El Autor.

8.4. PRUEBAS Y AJUSTES DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE MUESTREO:

Las diferentes pruebas de funcionamiento del sistema de muestreo, que comprende el sistema de aspiración y el sensor que capta las señales de flujo, necesita verificaciones, que arrojaran resultados para analizar y realizar las correcciones necesarias, ya sea en el modelado matemático o el ajuste de los valores captados para la realización del mismo. Por lo que es necesario visualizar los datos obtenidos en la pantalla que llegan a ser los que se derivan a partir de los cálculos, que se realizan en el microcontrolador, y además de manera simultánea los datos del anemómetro, de modo que se verifique que las mediciones son iguales, ya que durante el funcionamiento normal del equipo no se tendrá el anemómetro para indicar el valor real medido.

Varias muestras comparativas indicaran el porcentaje de error que se presentan en las medidas del anemómetro y en la medida procesada mediante la ecuación del sensor, y de esta forma se podrá saber con certeza que las mediciones en el flujómetro son correctas.

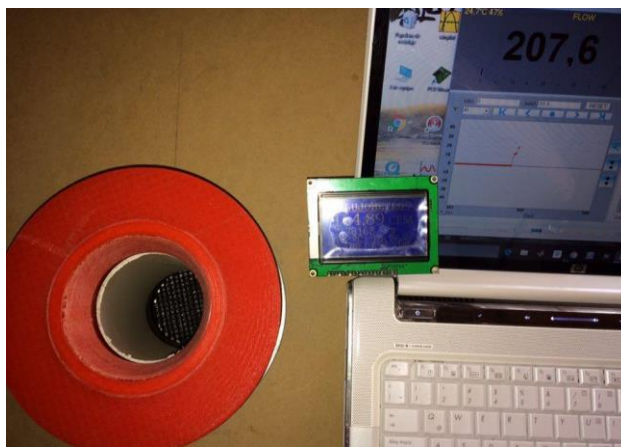


Figura 97: Comprobación de funcionamiento de las mediciones.

Fuente: El Autor.

Es necesario tomar en cuenta que la frecuencia de muestreo y visualización de los datos tanto en el anemómetro, como en el display son diferentes y cada una tiene una forma de mostrar resultados promedio o con un retardo por lo que el ajuste necesario que se podrá realizar es programar el microcontrolador de forma que muestre en el display un promedio de tres muestras, y de igual forma es muy importante tener presente que el flujo de la aspiradora varia en muy pequeña proporción, dado a que el flujo en CFM, es una medida considerablemente sensible a cambios pequeños, por lo que la variación de flujo es notable.

La variación de flujo producido por la aspiradora, es producida por el hecho de que el voltaje de alimentación alterno varia en el orden de unidades y decimales, lo que representa una diferenciación de hasta seis CFM en la lectura del GLCD.

8.4.1. Comprobación de la Existencia de Filtraciones:

Para la realización de esta comprobación, es preciso aislar el sistema de muestreo, y proceder a encender el sistema de aspiración a su máxima capacidad, para inspeccionar cada elemento que tenga uniones o cambios de sección, se obstruye completamente el orificio de aspiración del sistema de muestreo y se observa de manera minuciosa las partes por donde puedan provocarse filtraciones que comprometan las mediciones. Además en la pantalla de visualización se deberá observar un valor muy cercano a 0.

8.5. PRUEBAS Y AJUSTES DE FUNCIONAMIENTO GENERALES:

Las pruebas de funcionamiento general realizadas, consiste en simular el funcionamiento normal de la maqueta y realizar varias mediciones para comparar los resultados

obtenidos, para la realización de las pruebas en el flujometro, y a manera de garantizar las lecturas obtenidas, a continuación se genera un manual de usuario y un protocolo de procesos para legitimar que las muestras están correctamente realizadas y los resultados reflejados en ellas son reales y veraces.



Figura 98: Montaje de la culata en el flujometro.
Fuente: El Autor.

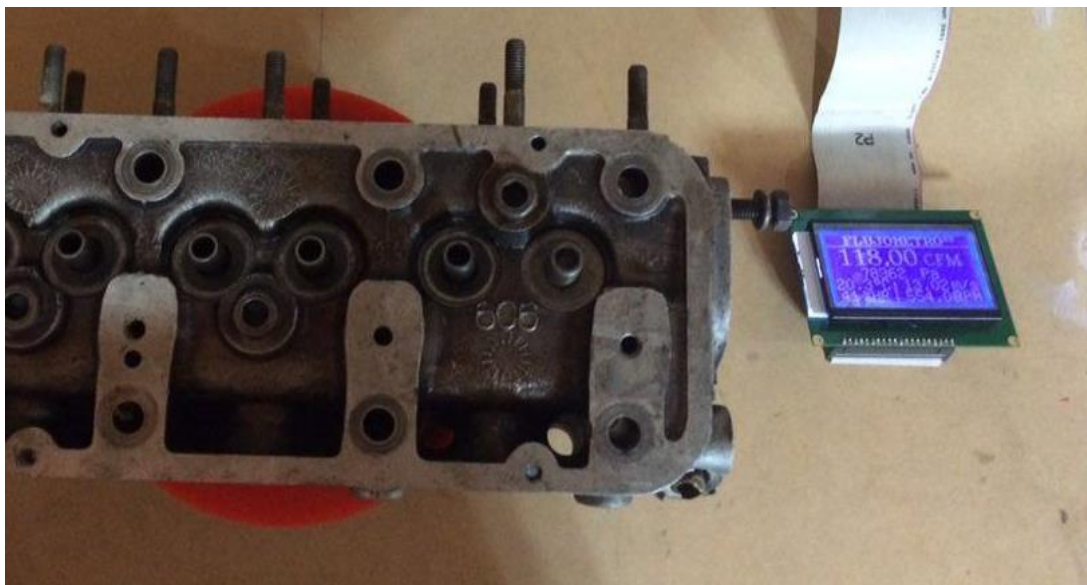


Figura 99: Prueba de flujo en la culata del motor A14.
Fuente: El Autor.

Los ajustes necesarios para perfeccionar el funcionamiento del flujometro, pueden realizarse para disminuir el error, tratando de anular la utilización de instrumentos de medición que influyen en el porcentaje de desviación de la medida, por lo que es preciso manipular el microcontrolador de forma en que la lectura de voltaje del sensor se realice en él, sin la necesidad de la utilización de un voltímetro. Por lo que en el microcontrolador, podemos crear una lectura analógica, que arroje resultados de voltaje directamente en función de bits, y de esta manera comprobar que la disminución del porcentaje de error acrecentar la veracidad de las medidas con respecto a la lectura de flujo en el anemómetro.

La lectura analógica de bits, se presenta directamente en el display, de manera que se recogerán nuevamente en simultáneo muestras en función de bits y de flujo en el anemómetro, para posteriormente procesar los datos y crear un modelo matemático con los bits de la muestra en el microcontrolador.



Figura 100: Lectura de Bits, colocada en la magnitud de las rpm.

Fuente: El Autor.

En la figura, se puede notar que la lectura de bits se coloca momentáneamente en la línea de lectura de las rpm de la aspiradora, y también es preciso indicar que el sensor tiene un voltaje mínimo en el rango de los decimales, cuando este no está sometido a ningún tipo de flujo, por lo que se debe realizar un ajuste en el microcontrolador, de manera que cuanto no exista flujo y se tenga el voltaje residual del sensor, en el display se muestre el valor de cero, teniendo en cuenta que cuando el flujo es cero se tiene una lectura de 6 bits.

En esta sección se indica la forma en la que se procedió para hallar los resultados de funcionamiento del flujometro, para de esta manera validar que el funcionamiento arrojará resultados válidos y repetitivos.

9. RESULTADOS:

Tabla 19: Resultados obtenidos durante el muestreo.

Fuente: El Autor.

MUESTRA	CFM	BITS	Presión	Temperatura °C	Humedad %HR	Velocidad m/s
1	64.83	415	78369	19.7	62	6.52
	64.59	414	78368	19.7	62	6.48
	66.82	429	78367	19.7	62	6.78
	66.31	421	78361	19.7	62	6.71
	63.41	409	78364	19.7	62	6.33
	62.95	407	78366	19.7	62	6.26
	61.17	399	78364	19.7	62	6.02
	62.95	407	78366	19.7	62	6.26
	60.32	395	78366	19.7	62	5.90
	61.17	399	78368	19.7	62	6.02
	62.72	406	78366	19.7	62	6.23
	65.81	419	78368	19.7	62	6.65
	64.83	415	78368	19.7	62	6.52
	65.07	416	78370	19.7	62	6.55
	66.56	422	78366	19.7	62	6.75
2	72.84	445	78379	19.5	63	7.57
	75.26	453	78375	19.5	63	7.88
	77.80	461	78378	19.5	63	8.20
	76.19	456	78379	19.5	63	8.00
	71.40	440	78381	19.5	63	7.38
	74.64	451	78377	19.5	63	7.80
	76.83	458	78377	19.5	63	8.08
	77.47	460	78383	19.5	63	8.16
	78.78	464	78379	19.5	63	8.33
	76.19	456	78380	19.5	63	8.00
	76.83	458	78379	19.5	63	8.08
	77.47	460	78380	19.5	63	8.16
	77.80	461	78378	19.5	63	8.20
	78.78	464	78379	19.5	63	8.33
	77.47	460	78383	19.5	63	8.16
3	98.55	515	78382	19.4	64	10.75
	99.45	517	78381	19.4	64	10.85
	99.00	516	78385	19.4	64	10.81
	104.11	527	78383	19.4	64	11.40
	95.48	508	78383	19.4	64	10.38
	95.05	507	78381	19.4	64	10.33
	98.55	515	78384	19.4	64	10.75
	95.48	508	78378	19.4	64	10.38
	101.28	521	78392	19.4	64	11.07
	102.68	524	78384	19.4	64	11.24
	97.66	513	78386	19.5	64	10.64
	95.48	508	78384	19.5	64	10.38
	98.55	515	78383	19.5	64	10.75
	99.45	517	78381	19.4	64	10.85

4	119,67	557	78375	19.6	63	13.21
	115.28	549	78377	19.7	62	12.71
	118.00	554	78379	19.7	63	13.02
	112.10	543	78371	19.7	63	12.34
	117.45	553	78375	19.7	63	12.96
	116.36	551	78376	19.7	63	12.83
	116.91	552	78377	19.7	63	12.90
	114.74	548	78374	19.7	63	12.65
	116.36	551	78378	19.7	63	12.83
	112.62	544	78374	19.7	63	12.40
	118.00	554	78378	19.7	63	13.02
	111.07	541	78371	19.7	63	12.22
	113.15	545	78373	19.7	63	12.46
	112.62	544	78374	19.7	63	12.40
	112.10	543	78371	19.7	63	12.34
5	165.67	626	78193	20.1	56	18.35
	159.54	618	78181	20.1	56	17.68
	163.35	623	78187	20.1	56	18.09
	160.30	619	78186	20.1	56	17.76
	164.12	624	78186	20.1	56	18.18
	163.35	623	78180	20.1	56	18.09
	156.56	614	78186	20.1	56	17.35
	164.89	625	78187	20.1	56	18.26
	157.30	615	78183	20.1	56	17.43
	161.82	621	78183	20.1	56	17.92
	160.30	619	78191	20.1	56	17.76
	164.12	624	78193	20.1	56	18.18
	161.82	621	78190	20.1	56	17.92
	160.30	619	78191	20.1	56	17.76
	164.12	624	78189	20.1	56	18.18

10. CONCLUSIONES:

- Se consiguió ejecutar el diseño correspondiente, además de la construcción en base a las diferentes evaluaciones que se desataron del análisis de ponderación, el que dictamino el camino del desarrollo del flujometro digital para la medición de elementos de circulación de gases de motores de combustión interna alternativos.
- Los resultados obtenidos de las mediciones correspondientes, realizadas en el flujometro, denotan la capacidad del equipo de verificar el mejoramiento de flujo volumétrico a través de los conductos mecanizados de un motor de competición.
- La validación de resultados realizada en base a la comparativa entre el sistema de aspiración diseñado y el motor de combustión interna, resulto ser estrechamente semejante, convirtiéndose los resultados obtenidos en el flujometro en valores similares dentro de un motor de competición en funcionamiento.
- La variación de voltaje en función del flujo de los componentes a medir o del rango de funcionamiento de la aspiradora, denotaron las variaciones correspondientes de señal, que sirvieron para la caracterización del sensor.
- Se consiguió la obtención de una ecuación matemática, que describa el comportamiento del sensor, sometido a diferentes condiciones de funcionamiento, según el flujo que transita a través de los componentes medidos, para su visualización en unidades de flujo volumétrico CFM.
- Se obtuvo la compilación de un sketch para el comando del microcontrolador, que realiza la digitalización de datos y permite visualizarlos en la pantalla GLCD.

- Se logró la construcción de cada uno de los elementos del flujometro, y de igual manera, se desarrolló un soporte para la colocación de componentes propios del equipo.
- Mediante la validación de resultados y las diferentes pruebas, se comprobó el funcionamiento del equipo, además, se corroboró la presión en cuanto a las mediciones realizadas.
- Los diferentes ajustes realizados, durante la etapa de desarrollo del flujometro, permitieron el progreso del funcionamiento y de la manejabilidad del equipo en forma global.
- El perfeccionamiento del funcionamiento del flujometro, comprende una etapa crítica, por lo que exclusivamente se definió, el modelamiento del sensor MAF, mediante la lectura de BITS.
- Para la realización de las pruebas en el equipo, es de suma importancia tomar en cuenta el proceso de obtención de muestras descrita en el documento, además de tener presente el manual de utilización correspondiente.

11. RECOMENDACIONES:

- En la etapa de diseño, mediante el análisis estructural correspondiente, contemplando los esfuerzos a los cuales se somete el bastidor, se puede obtener una estructura tubular perfeccionada, así como el material de revestimiento del equipo.
- Para el perfeccionamiento, del sistema de muestreo, se prevé de la utilización de herramientas de medición de mayor precisión.
- El modelamiento del sensor en base a la lectura analógica de BITS, del microcontrolador, es una alternativa factible que disminuirá el margen de error en las mediciones.
- En el modelamiento del sensor, se puede recabar datos del funcionamiento del mismo, montado en un vehículo, con la finalidad de lograr datos reales en base a las rpm, flujo másico y voltaje.
- Para los análisis estadísticos, se deben recopilar varios datos para la obtención de los resultados con mayor porcentaje de veracidad.

12. BIBLIOGRAFÍA:

- [1] López, B. E, & Guirado, V. Motores térmicos y sus sistemas auxiliares. 50-51.
- [2] Benítez, V. R, & Ochoa, R. J. Sistema de Combustible con carburador e introducción a la inyección electrónica; editorial Mecánica Automotriz Fácil. 21-23.
- [3] Jójvaj, M. S, & Máslov, G. S. Motores de automóvil. Traducido por Ing. Antonio Molina García. Editorial Pueblo y Educación. 1985. 430 - 437.
- [4] Cupra, A, & Beer, A, & Bauer, H. (1996). Manual de la técnica del automóvil. Barcelona: Reverté. 395-396.
- [5] Álvarez, J. A. (2005). Motores alternativos de combustión interna. Catalunya: Upc. 226-240.
- [6] Mott, R. L. (2006). Mecánica de fluidos. México: Pearson Education. 473-477.
- [7] Mantilla, J. M, & Aguirre, B. J, & Sarmiento, L. A. (2008). Evaluación experimental de un motor encendido por chispa que utiliza biogás como combustible. Scielo, 28(2).

ANEXOS

Manual de Usuario:

Recomendaciones Generales de Uso:

En todo momento se debe precautelar la aspiración de objetos o impurezas, que puedan ingresar en el sistema, provocando la adherencia de desechos en el sensor de flujo o, el tránsito de materiales pesados que provoquen colisiones en las aletas del ventilador de la aspiradora y pueda producirse roturas internas en el sistema de aspiración.

Nota: Las instrucciones de uso deberán ser acatadas a cabalidad de manera que los muestreos correspondientes, cumplan con términos que garanticen la seguridad necesaria tanto al usuario como al funcionamiento general de los diferentes instrumentos del equipo.

Preparación del Flujometro:

- Situar el flujometro digital en una superficie plana, que permita un soporte estable para la realización de las pruebas, indiferentemente del peso de los componentes a medir.
- Elegir de forma apropiada los acoples correspondientes al diámetro de la culata a medir.
- Verificar que la superficie de los componentes a medir cumpla con un parámetro de planicidad mínimo que permita la unión aislada, entre la superficie de asiento del elemento de prueba y la superficie del acople correspondiente.

Uso:

- Cerciorarse de que los elementos de flujo probados, se encuentren dentro del rango máximo de medición.
- Si se notan anomalías durante el uso del flujometro detener todos los sistemas de forma inmediata.
- No someter el flujometro a condiciones de medición que puedan provocar cambios bruscos en los resultados, por ejemplo: altas temperaturas, humedad excesiva, etc.
- Colocar las válvulas en la culata con su apertura correspondiente, teniendo en cuenta que las válvulas de admisión deben estar abiertas y las de escape cerradas, o en caso contrario, diferenciando los conductos a los que se someterán a prueba.

Partes de la Sección de Control:

5. **Puesta en marcha general:** Alimenta todos los circuitos electrónicos del flujometro.
6. **Control de la aspiradora:** Enciende o apaga la aspiradora con una pulsación.
7. **Regulador de velocidad de aspiración:** Regula el rango de capacidad de aspiración del sistema para la realización de las pruebas.
8. **Control de iluminación:** On/Off de la iluminación del puesto de trabajo del flujometro.

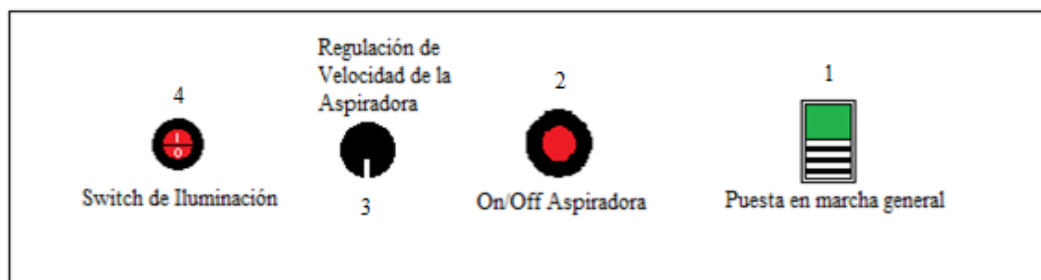


Figura: Partes de la sección de control.

Fuente: El Autor.

Partes del Sistema de Muestreo:

7. Boca de aspiración: Ingreso de aire y acople para el asiento de las culatas.
8. Sensor MAF: Sensor analógico de flujo másico.
9. Anemómetro: Captador digital de flujo volumétrico y velocidad de aire.
10. Caja de Aspiración: Acople entre la sección tubular circular y la sección de entrada de la aspiradora.
11. Aspiradora: Generador del flujo de aspiración.
12. Caja de Expulsión: Acople para la salida del aire aspirado.



Figura: Partes del sistema de muestreo.

Fuente: El Autor.

Ecuación de la Escala de Medición Teórica:

$V_u = \text{Volumen Unitario en } ft^3$

$D = \text{Diámetro del cilindro en } ft$

$C = \text{Carrera del pistón}$

$N = \text{Número de Cilindros}$

$rpm \text{ máx} = \text{Revoluciones por minuto máximas del motor}$

$$Escala\ CFM = \frac{rpm\ máx * \pi * D^2 * C}{N}$$

NOTA: Es necesario considerar que a pesar de que un ciclo de aspiración de aire de un cilindro se produce en dos rpm, diversos factores propios del funcionamiento del motor producen sobrealimentación, que aumenta la cantidad de aire aspirado, por lo que en la ecuación no se toma en cuenta que la embolada se produce cada dos rpm.

Definicion de las Lecturas en el Display:

7. CFM: Flujo volumétrico Cubic Feet per Minute.
8. Pa: Presión en Pascales.
9. °C: Temperatura en grados centígrados.
10. %HR: Porcentaje de humedad relativa.
11. m/s: Velocidad del aire ingresado en metros por segundo.
12. RPM: Velocidad de rotación del motor de la aspiradora.



Figura: Lectura del display GLCD.

Fuente: El Autor.

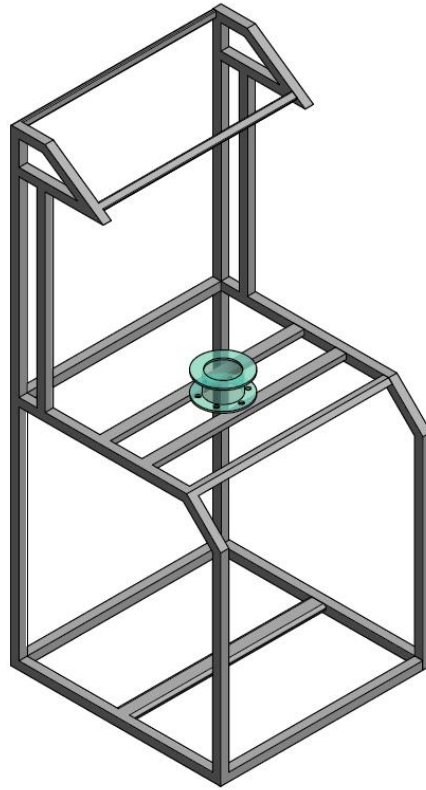


Figura: Bastidor terminado sin revestimiento.

Fuente: El Autor.

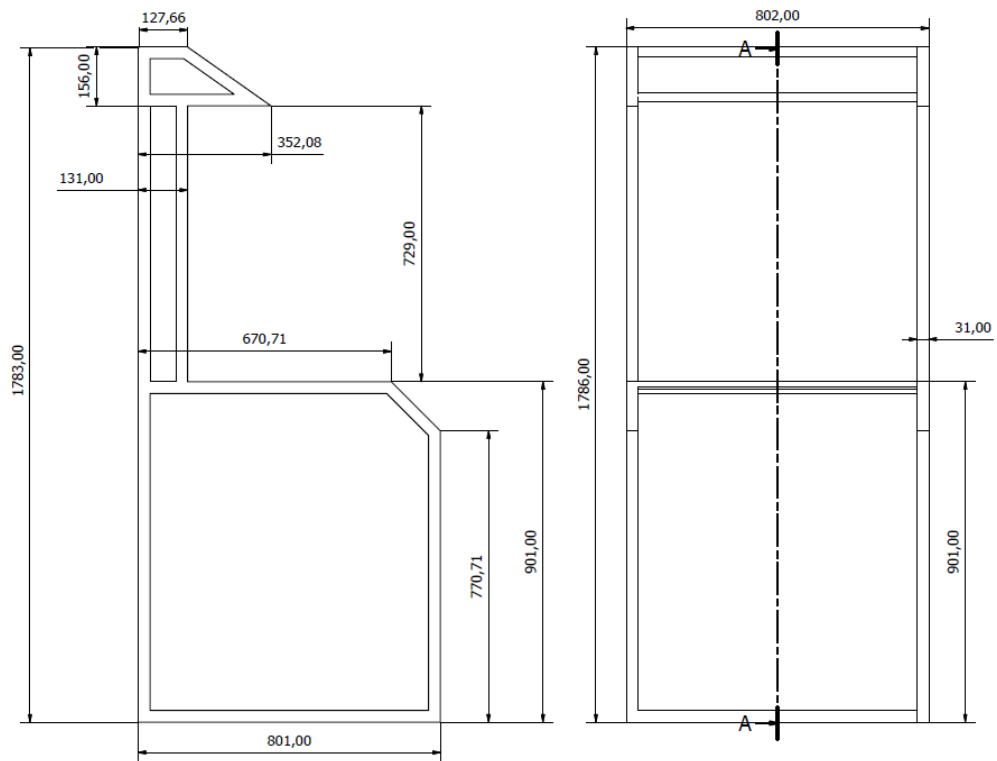


Figura: Dimensionamiento del Bastidor.

Fuente: El Autor.

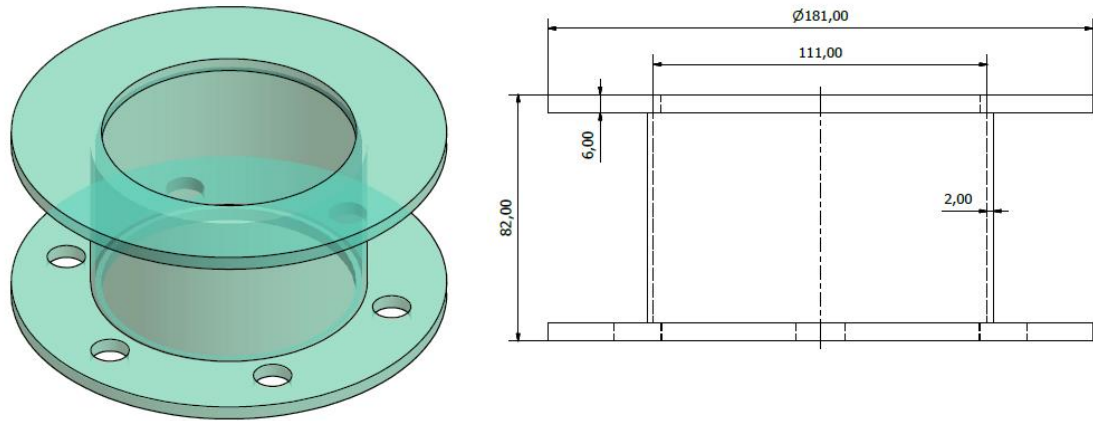


Figura: Dimensionamiento del soporte de componentes.

Fuente: El Autor.



Figura: Acople general y acoples de culata.

Fuente: El Autor.



Figura: Vista frontal y posterior del flujometro terminado.
Fuente: El Autor.