



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR

ESCUELA DE INGENIERIA AUTOMOTRIZ

TESIS DE GRADO PARA LA OBTENCION DEL TITULO DE INGENIERO EN  
MECANICA AUTOMOTRIZ

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA FILTROS DE AIRE  
DE DISTINTAS MARCAS DE VEHICULOS

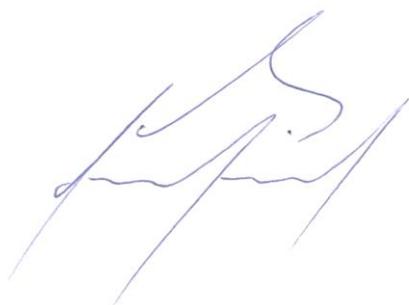
Elaborado por:  
David Carrera Álvarez  
Andrés David Paredez Naranjo

Director: MSc. Gorky Reyes

2020 Quito, Ecuador

## DECLARATORIA

Por medio de la presente certifico que el siguiente artículo es de autoría de David Carrera Álvarez y de Andrés David Paredes Naranjo, nosotros declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra propiedad intelectual, este documento no ha sido presentado anteriormente en ningún grado o certificado profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada. Los autores del presente trabajo de tesis ceden a la Universidad Internacional del Ecuador, con fines exclusivamente académicos. Los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo para transformación, reproducción y comunicación pública del mismo, según lo establecido por la Ley de propiedad Intelectual, por su reglamento y normativa institucional vigentes.



CARRERA ALVAREZ DAVID



PAREDES NARANJO ANDRES DAVID

Yo, Gorky Guillermo Reyes Campaña, certifico que conozco a los autores del presente trabajo:

Desarrollo y Construcción de un Banco de Pruebas Para Filtros de Aire de Distintas Marcas de Vehículos realizado por los estudiantes David Carrera Álvarez y Andrés David Paredes Naranjo son los responsables exclusivos tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.



Msc. Gorky Guillermo Reyes Campaña

## **Dedicatoria**

Quiero dedicar este logro a mi familia por el apoyo que me han dado todos estos años en especial a mis padres Gladys Álvarez Gutiérrez y Rene Carrera García que han estado conmigo siempre y a mis hermanos que siempre me han apoyado y me han enseñado en todos los ámbitos de mi vida, quiero agradecer a mis profesores y amigos con los cuales he compartido años en los cuales he aprendido muchas cosas de mi carrera pero además me han hecho crecer como persona para ser mejor y llegar a seguir cumpliendo mis metas.

David Carrera Álvarez

## **Dedicatoria**

En primer lugar, agradezco a Dios por la guía brindada en distintos momentos a lo largo de carrera.

A mis padres Ricardo y Sandra por ser mi principal fuente de apoyo y parte importante en la culminación de esta etapa en mi vida.

A mi hermano Sebastián por ser mi compañero de travesuras y juego que ha aligerado este proceso con sus ocurrencias.

A mis amigos y al resto de mi familia por su incondicional apoyo en alguna parte de este trayecto, una especial mención para mis abuelitos por su cariño y por ser una fuente de sabiduría para guiar mi vida.

A Gorky Reyes, director de esta tesis y profesor que nos brindó la asistencia y consejo necesarios en este proyecto.

Andrés Paredes

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I .....	1
INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Tema de Investigación .....	1
1.2. Antecedentes .....	1
1.3. Objetivos de la investigación .....	2
1.3.1. Objetivo General. ....	2
1.3.2. Objetivos Específicos. ....	2
1.4. Justificación y delimitación de la investigación .....	2
1.4.1 Justificación Teórica. ....	2
1.4.2 Justificación Metodológica. ....	2
1.5. Delimitaciones .....	3
1.5.1 Delimitación Temporal. ....	3
1.5.2 Delimitación Geográfica. ....	3
1.5.3 Delimitación de Contenido. ....	3
1.6. Marco referencial .....	3
1.6.1 Marco Teórico. ....	3
1.6.2 Marco Conceptual. ....	4
1.6.3. Fundamentación Teórica. ....	5
1.6.4. Materiales y métodos. ....	6
CAPÍTULO II .....	8
MARCO TEÓRICO .....	8
2.1 Filtros .....	8
2.1.1 Filtros de aceite. ....	8
2.1.2 Filtros de combustible. ....	9
2.1.3 Filtros de aire. ....	10

2.1.3.1 Partes filtro de aire. ....	11
2.1.3.2 Medio filtrante.....	12
2.1.3.3 Estructura. ....	13
2.1.3.4 Prefiltros.....	14
2.1.3.5 Sellos o juntas.....	14
2.1.4 Funcionamiento filtro de aire. ....	14
2.1.5 Propiedades. ....	17
2.1.5.1 Efectividad de retención.....	17
2.1.5.2 Baja restricción de paso de aire.....	18
2.1.5.3 Capacidad de almacenamiento.....	18
2.2 Tipos de filtros .....	19
2.2.1 Forma .....	19
2.2.1.1 Cilindro.....	19
2.2.1.2 Panel.....	20
2.2.1.3 Especiales.....	21
2.2.2 Papel filtrante.....	22
2.2.2.1 Papel o microfibra.....	22
2.2.2.2 Espuma.....	23
2.2.2.3 Textiles.....	24
2.2.3 Principio de funcionamiento.....	24
2.2.3.1 Filtro en baño de aceite.....	25
2.2.3.2 Filtro seco.....	26
2.2.3.3 Filtro de húmedo.....	27
2.3 Factores de desgaste .....	28
2.3.1 Duración y tamaño de filtro.....	29
2.3.2 Duración/ condiciones de uso.....	30

2.3.3 Duración/ modificaciones de alto rendimiento .....	31
2.4 Mecánica de fluidos .....	31
2.4.1 Definición de fluido. ....	31
2.4.2 Propiedades de los fluidos.....	32
2.4.2.1 Masa. ....	32
2.4.2.2 Peso. ....	32
2.4.2.3 Densidad.....	32
2.4.2.4 Peso específico .....	33
2.4.2.5 Gravedad específica. ....	33
2.4.2.6 Viscosidad absoluta.....	34
2.4.2.7 Viscosidad cinemática.....	35
2.4.3 Fluido newtoniano.....	35
2.4.4 Fluido no newtoniano.....	36
2.4.5 Comportamiento Turbulento.....	38
2.4.6 Turbulencia en un motor. ....	38
2.4.7 Ecuaciones.....	40
2.4.7.1 Caudal.....	40
2.4.7.2 Ecuación de continuidad. ....	41
2.4.7.3 Número de Reynolds.....	42
2.5 Programación .....	43
2.5.1 Algoritmo. ....	43
2.5.2 Lenguaje de programación.....	44
2.5.3 IDE (Entorno de Desarrollo Integrado).....	44
2.5.4 Arduino IDE.....	46
2.5.5 Arduino Uno.....	48
2.5.6 Programación. ....	48

2.5.6.1 Funciones y estructuras usadas. ....	49
CAPÍTULO III .....	52
METODOLOGÍA.....	52
3.1. Materiales.....	53
3.1.1 Vehículos.....	53
3.1.2 Normativas .....	59
3.1.2.1 Normativa local. ....	60
3.1.2.2 Normativa internacional.....	61
3.2 Parámetros.....	62
3.2.1 Generador de flujo.....	63
3.2.2 Medidor de flujo.....	64
3.2.3 Base contenedora.....	66
CAPÍTULO IV .....	67
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN.....	67
4.1 Partes .....	67
4.1.1 Fases. ....	68
4.1.1.1 Fase 1.....	68
4.1.1.2 Fase 2.....	68
4.1.1.3 Fase 3.....	68
4.2 Diseño Fase 1 .....	68
4.2.1 Diseño generador de flujo. ....	68
4.3 Diseño Fase 2 .....	71
4.3.1 Diseño depurador. ....	71
4.3.2 Adaptadores de distintos modelos.....	72
4.3.2.1 Chevrolet Aveo. ....	73
4.3.2.2 Kia Cerato. ....	73

4.3.2.3 Hyundai Accent. ....	74
4.3.2.4 Toyota Corolla. ....	75
4.3.2.5 Nissan Tiida. ....	75
4.3.3 Viscosidad despreciable. ....	76
4.3.4 Forma depurador. ....	77
4.3.5 Comportamiento fluido. ....	78
4.4 Diseño Fase 3 .....	79
4.4.1 Diseño de tuberías. ....	79
4.5 Diseño de Electrónica .....	82
4.5.1 Pines Arduino. ....	82
4.5.2 Sensores. ....	83
4.5.2.1 Especificaciones del Sensor. ....	83
4.5.2.2 Pines del sensor. ....	84
4.6 Diseño de Software .....	84
4.6.1 Código del programa. ....	84
4.7 Diseño en la recopilación de datos cuantitativos .....	86
4.1.2 Funcionamiento. ....	87
CAPÍTULO V .....	88
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	88
5.1 Procedimiento de Uso .....	88
5.2 Procedimientos específicos .....	89
5.3 Procedimiento general .....	90
5.4 Diagrama de flujo .....	91
5.5 Calibración Sensor .....	94
5.5.1 Calibración Sensor .....	94
5.6 Software .....	97

5.7 Pruebas Individuales .....	98
5.8 Comparativa de Resultados .....	101
5.9 Discusión de pruebas según variables .....	106
5.10 Resultados .....	106
CAPÍTULO VI .....	111
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	111
6.1 Conclusiones .....	111
6.2 Recomendaciones .....	112
Referencias .....	114
Anexos .....	117
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	
Tabla 1 <i>Ventas en el año 2018 por segmentos</i> .....	53
Tabla 2 <i>Marcas con mayor cantidad de ventas en el Ecuador por marca</i> .....	54
Tabla 3 <i>Ficha técnica Chevrolet Aveo</i> .....	55
Tabla 4 <i>Ficha técnica Kia Cerato</i> .....	56
Tabla 5 <i>Ficha técnica Hyundai Accent</i> .....	57
Tabla 6 <i>Ficha técnica Toyota Corolla</i> .....	58
Tabla 7 <i>Ficha técnica Nissan Tiida</i> .....	59
Tabla 8 <i>Magnitudes utilizadas</i> .....	62
Tabla 9 <i>Tabla de factibilidad de generador de flujo</i> .....	64
Tabla 10 <i>Factibilidad de medidor de flujo</i> .....	65
Tabla 11 <i>Tabla de factibilidad de base contenedora</i> .....	66
Tabla 12 <i>Especificaciones sopladora Makita UB1101</i> .....	71

Tabla 13 <i>Viscosidad dinámica del aire con respecto a temperatura</i> .....	77
Tabla 14 <i>Comportamiento fluido ralenti 750 rpm</i> .....	79
Tabla 15 <i>Comportamiento fluido 2500 rpm</i> .....	79
Tabla 16 <i>Especificaciones del sensor</i> .....	83
Tabla 17 <i>Comparativa pérdida eficiencia 2500 RPM (%)</i> .....	105
Tabla 18 <i>Comparativa pérdida eficiencia ralenti (%)</i> .....	105

## ÍNDICE DE ECUACIONES

[Ec.1] Peso.....	32
[Ec.2] Densidad .....	33
[Ec.3] Peso específico.....	33
[Ec.4] Peso específico.....	33
[Ec.5] Gravedad específica.....	34
[Ec.6] Gravedad específica.....	34
[Ec.7] Viscosidad Absoluta .....	34
[Ec.8] Viscosidad Dinámica.....	35
[Ec.9] Caudal .....	41
[Ec.10] Caudal .....	41
[Ec.11] Caudal .....	41
[Ec.12] Ley de conservación de masa .....	42
[Ec.13] Ley de conservación de masa .....	42
[Ec.14] Ecuación de continuidad.....	42

[Ec.15] Ecuación de continuidad.....	42
[Ec.16] Número de Reynolds .....	42
[Ec.17] Flujo de aire en el motor .....	69
[Ec.18] Perímetro mojado.....	78

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

#### 1.1. Tema de Investigación

Diseño y Construcción de un banco de pruebas para filtros de aire de distintas marcas.

#### 1.2. Antecedentes

Los filtros de aire son una pieza de recambio que tiene una gran importancia en el desempeño y tiempo de vida útil del vehículo, en nuestro país tenemos una gran variedad de marcas de filtros alternos de distintas calidades, precios y procedencias, además de los filtros comercializados por la misma casa comercial del vehículo. Además de las marcas ya existentes en el mercado podemos evidenciar que cada vez se introducen nuevas marcas al país mismas que en su mayoría tienen como país de origen China.

Se desconoce si los filtros de aire alternos presentes en el mercado cumplen con las especificaciones del fabricante o de alguna normativa para su funcionamiento. Razón por la cual, para evaluar el desempeño de los distintos filtros, procederemos a construir un banco de pruebas para filtros de distintas marcas, con el fin de evaluar criterios de su trabajo, como son restricción de flujo de aire volumétrico, capacidad de retención de partículas y eficiencia de este en trabajo, estas pruebas se realizarán con normativas nacionales o internacionales que regulen su funcionamiento y especificaciones.

Para conocer si los filtros cumplen estos requerimientos se va a realizar una comparativa de los diferentes filtros alternos y los datos del filtro de equipo original, esto se realizará mediante la tabulación y comparación de los datos obtenidos en las distintas pruebas, luego de

esto se podrá conocer si cumplen con los requerimientos de funcionalidad, además de conocer si su tiempo de vida útil es equivalente, menor o mayor.

### **1.3. Objetivos de la investigación**

#### **1.3.1. Objetivo General.**

- Diseñar una herramienta específica que analice la eficiencia en filtros de aire de distintas marcas.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos.**

- Elaborar un banco de pruebas que analicen la eficiencia de los diferentes filtros de aire
- Medir si existe una pérdida de flujo y su porcentaje.
- Realizar una comparativa de los resultados obtenidos de las distintas marcas.

### **1.4. Justificación y delimitación de la investigación**

#### **1.4.1 Justificación Teórica.**

La investigación se hará con el objetivo de evaluar la eficiencia de distintos filtros comercializados localmente, en donde se busca evaluar parámetros como eficiencia que presentan en su funcionamiento, una vez realizada la prueba se podrán realizar comparaciones entre el desempeño de las diferentes marcas, con el de la marca original.

#### **1.4.2 Justificación Metodológica.**

El método utilizado en las pruebas de ensayo permitirá evaluar valores de desempeño de los diferentes filtros, realizando una simulación muy acertada de la forma en la que se

encuentra ubicado el elemento en el motor. Esta prueba puede ser realizada con mediciones de flujo de aire antes y después del filtro y validando la diferencia existente entre una medición y la otra.

## **1.5. Delimitaciones**

### **1.5.1 Delimitación Temporal.**

Esta investigación tendrá una duración de 4 meses.

### **1.5.2 Delimitación Geográfica.**

La investigación se la realizará en la ciudad de Quito.

### **1.5.3 Delimitación de Contenido.**

El contenido estará enfocado en áreas como la mecánica de fluidos, electrónica y mecánica.

## **1.6. Marco referencial**

### **1.6.1 Marco Teórico.**

***Mecánica de fluidos:*** Es la parte de la física que estudia a los fluidos en movimiento y las fuerzas que intervienen en este movimiento; estos pueden ser tanto líquidos como gases, cada uno teniendo sus características diferentes en el momento de realizar el análisis matemático.

***Filtro de aire:*** Es un elemento que atrapa partículas sólidas dependiendo de la capacidad de filtrado que tenga este, en el aire los principales elementos atrapados son polvo, polen o bacterias, en el caso de los filtros de motor estos evitan la entrada de partículas grandes para

evitar desgaste excesivo y que funcione el motor de una manera adecuada, ya que se debe asegurar la calidad del aire para el proceso de combustión.

**Programación:** Proceso por el cual se estipulan pasos a seguir a un programa, estas indicaciones pueden ser dadas tanto para entrada de información que sea procesada y de como resultado una salida; estos pasos deben ser dadas de una manera ordenada ya que al ejecutarlos se irán verificando y realizando uno por uno con el objetivo dado previamente mediante el lenguaje en el mismo programa.

### **1.6.2 Marco Conceptual.**

**Fluido newtoniano:** Fluido en el cuál su viscosidad es considerada constante a lo largo del tiempo, su curva de relación entre esfuerzo y deformación es del tipo lineal; son incompresibles, e ideales en su comportamiento, no obstante, existen fluidos que en la realidad que bajo ciertas características externas tienen un comportamiento muy parecido en la realidad. La gasolina es un ejemplo de fluido newtoniano en el campo automotriz, ya que su viscosidad permanecerá constante en condiciones normales.

**Fluido no newtoniano:** Es el tipo de fluido que no presenta una viscosidad constante, sino que esta va a variar con la temperatura y el esfuerzo aplicado sobre este, a diferencia del newtoniano este no presentará una curva lineal entre el esfuerzo aplicado y la deformación dada. Un ejemplo sencillo es el caramelo, en donde al golpear o vaciar el recipiente rápidamente este se vuelve sólido en un proceso denominado endurecimiento por cizalladura.

**Flujo volumétrico:** Es el volumen de fluido que circula por un área determinada por unidad de tiempo, es un parámetro que también permite reconocer la velocidad a la que se desplaza un fluido.

**Algoritmo:** Es el conjunto de instrucciones definidas y ordenadas que permiten llevar a cabo una actividad determinada, permite la asimilación de entradas y brinda una salida como resultado del proceso realizado.

**Eficiencia:** Es la relación que existe entre la energía útil y la invertida para un proceso.

### **1.6.3. Fundamentación Teórica.**

Existe la idea de que un motor de combustión interna a gasolina necesita para funcionar en óptimas condiciones, es sólo combustible, pero esta es una afirmación incompleta, ya que además de gasolina, también necesita de los lubricantes, refrigerantes y de la calidad del aire. En los motores que utilizan como combustible la gasolina, se lleva a cabo el siguiente proceso: el aire entra al sistema de admisión después de haber pasado por el filtro de aire, luego se mezcla con el combustible mediante la atomización de este, esta mezcla aire/combustible es llevada a la cámara de combustión y allí es encendida por las bujías. Una vez quemada la mezcla se produce un aumento en la presión que impulsa los pistones, y esto provoca la rotación del cigüeñal, que a su vez transmite esta fuerza a las ruedas del vehículo.

Los motores de combustión interna según el modo de aspiración de aire se clasifican en dos grupos, los motores de aspiración natural, y los motores turbo cargados. Los primeros admiten el aire que luego será utilizado para la combustión por efecto de la presión atmosférica; los segundos, utilizan un turbocompresor, el cual les permite obtener mayor cantidad de aire para la combustión.

Los motores de aspiración natural, como se dijo anteriormente, admiten el aire por efecto de la presión atmosférica; a medida que el pistón se desplaza en carrera de admisión, la

presión atmosférica empuja el aire hacia adentro del motor pasando por el filtro y con destino final el interior del cilindro para llenar el espacio generado.

La cantidad de aire que utiliza un motor de combustión interna de aspiración natural para su funcionamiento es considerable. Según diversos fabricantes y dependiendo del tamaño y aplicación del motor, se consumen de 10.000 a 12.000 litros de aire por cada litro de combustible quemado.

Por ser a través del aire que el motor tiene contacto con el medioambiente externo, este tiene que estar debidamente protegido, por ello se utiliza un filtro de aire para garantizar la calidad del aire, y además de proteger el motor, obtener una mejor eficiencia del él.

#### **1.6.4. Materiales y métodos.**

El método utilizado en las pruebas de ensayo permitió evaluar valores de desempeño de los diferentes filtros, realizando una simulación muy acertada de la forma en la que se encuentra ubicado el elemento en el motor. Esta prueba se realizó con mediciones de flujo de aire antes y después del filtro y validando la diferencia existente entre una medición y la otra.

Para la construcción del banco de prueba se utilizó un equipo que genere flujo laminar y turbulento que simule la succión producida por el pistón, además de una velocidad variable lo que permitió simular aceleraciones y desaceleraciones que se ve en el funcionamiento real de un motor cualquiera, además de paneles, tubos, procesador Arduino y sensores. Esto permitió realizar la medición de los parámetros buscados, tales como masa de aire, diferencia de presión y saturación de los sensores, tomando en cuenta la temperatura y humedad relativa del sistema para cumplir normas internacionales. Los datos fueron procesados y mostrados en

pantallas, y en una computadora con el programa Excel donde se aprecian los datos en una tabla y grafico para facilitar su lectura.

Para el diseño del banco de pruebas se tomó en cuenta las características de funcionamiento de los motores en los cuales se encontraron en marcha normalmente, parámetros tales como diámetro de las mangueras o cañerías, flujo requerido en ralentí y a 2500 RPM que son las RPM usadas por la revisión técnica vehicular en Quito Ecuador.

Una vez realizadas las pruebas se procedió a comparar los datos obtenidos entre los distintos filtros de aire con el original, obteniendo los porcentajes de efectividad alcanzados por los fabricantes de las diferentes marcas en comparación con el equipo original, así como la pérdida de eficiencia que se presenta en estos con el uso a la mitad de su vida útil 5.000 km y su kilometraje de cambio recomendado por el fabricante que es de 10.000 km en la mayoría de los casos.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Filtros

Los filtros son elementos que se encargan de separar dos o más componentes ya sea un fluido, un sólido o un líquido, en el caso de los vehículos encontramos principalmente tres tipos de filtros los cuales son de aire, de aceite y combustible. Cada uno de ellos posee una función muy similar a simple vista, pero su funcionamiento varía dependiendo del del fluido con el cual va a trabajar ya que los mismos presentan comportamientos, fuerzas, contaminantes y temperaturas distintas de trabajo. Por lo cual no solo los materiales de filtración que utilizan son distintos, sino que su constitución estructural también lo es.

##### 2.1.1 Filtros de aceite.

Son los encargados de separar las impurezas presentes en el aceite que se forman en el motor por su funcionamiento, como tenemos resinas producidas por el aceite, carbón resultante de la combustión y otros sedimentos solidos producto del desgaste de las piezas móviles. Este debe generalmente como mínimo resistir una temperatura que oscila entre 90°C y 100°C que es la temperatura de funcionamiento normal de un motor, además de esto este componente se encuentra constantemente sometido a una presión que puede alcanzar 75 libras/pie al momento de su funcionamiento en frio, este tiene además un sistema que le permite recircular el fluido en el motor sin filtrarlo si este se encuentra saturado para impedir daños por falta de lubricación.



*Figura 1.* Ejemplos de los distintos tipos de filtros de aceite. (Potoy, 2016)

### **2.1.2 Filtros de combustible.**

En este caso los filtros de combustible se subdividen en filtros de gasolina y filtros de Diesel, los primeros deben soportar una presión que varía según la presión de funcionamiento del sistema de inyección por lo general de 3 a 5 bares en este caso únicamente se encargan de separar impurezas solidas presentes en la gasolina.

Por otro lado, los filtros Diesel soportan presiones más altas y cumplen la materia de casos la función de separar además el agua presente en este. Para lo cual su forma y diseño debe generar espacios de almacenamiento no solo de contaminantes solidos como lo hacen el filtro de aceite y aire, sino que además debe tener donde almacenar el agua presente en el combustible para esto generalmente podemos observar dos filtros uno que se encarga de separar los líquidos principalmente y el segundo se encarga de separar los contaminantes sólidos. Esto depende únicamente del diseño del fabricante.



*Figura 2.* Ejemplos de los diferentes filtros de combustible. (Srougo, 2016)

### **2.1.3 Filtros de aire.**

Estos elementos son los encargados de separar cualquier tipo de impureza presente en el aire que absorbe el motor en su funcionamiento. Para esto generalmente crea una barrera protectora que retiene partículas de 3 micras o mayores, o en otros casos retiene partículas desde 1 micra. (Fran-Benz, 2005)

Esto influye en el tiempo de vida útil del motor ya que cualquier partícula que ingrese al motor tiene una acción abrasiva tanto al cilindro, pistón y anillos de pistón. Se estima que la reducción del desgaste en el conjunto pistón, anillos y cilindro es de un 35% con un correcto filtrado. (Fran-Benz, 2005)



Figura 3. Ejemplos de distintos filtros de aire. (Hernandez, 2016)

Los distintos fabricantes tienen un diseño diferente para cada modelo en el cual se toma en cuenta la cantidad de aire que va a pasar por el mismo variando la dimensión del medio filtrante, también varía su tamaño y forma en base al espacio disponible, así como otras características que cumple el mismo, como son la reducción del aire al ser aspirado hacia el motor. Muchos de los fabricantes toman en cuenta las condiciones ambientales, tiempo de uso y el tipo de uso del vehículo como puede ser doméstico o comercial, en base a esto el fabricante en algunos casos brinda opciones de piezas de recambio que se adaptan más a la necesidad de estos mejorando la filtración y extendiendo los intervalos entre mantenimientos además de prevenir daños futuros.

#### ***2.1.3.1 Partes filtro de aire.***

El filtro de aire se encuentra compuesto por dos zonas principalmente que son el medio filtrante y su estructura, esto varía dependiendo del espacio disponible, las condiciones ambientales y los requerimientos del motor en el cual va a ser aplicado. En muchos casos esta forma parte la estructura o este compuesto por dos fases de filtrado donde tenemos una de mayor capacidad de almacenamiento pero que permite el paso a partículas de menor tamaño y

una de menor almacenamiento que se encarga de las partículas de menor tamaño. Muchos filtros destinados a motores estacionarios cuentan con un filtrado por liquido adicional al convencional lo que no solo extiende su vida útil exponencialmente, sino que permite un filtrado con un micraje menor aumentado su eficiencia.

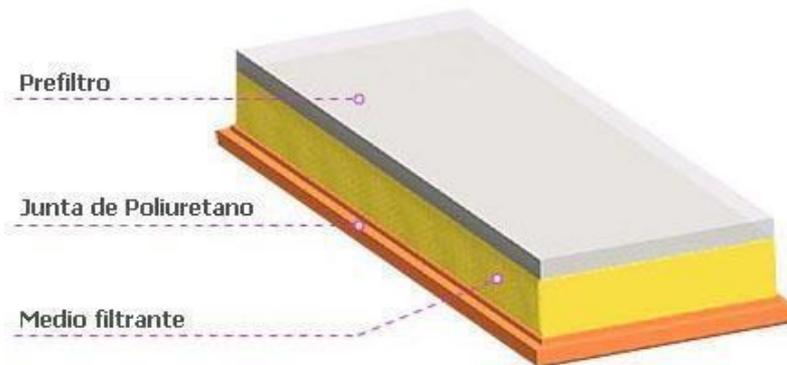


Figura 4. Estructura de un filtro común. (Clasicos, 2015)

### 2.1.3.2 Medio filtrante.

Es el encargado de retener las impurezas presentes en el aire, pueden ser de varios materiales entre ellos textiles, mallas metálicas, algodón papel y pueden encontrarse humedecidos en líquidos. Cada tipo de material nos brinda una ventaja con respecto a los demás esto lo determina el fabricante en base al diseño y necesidades de cada industria en el caso del área automotriz tenemos principalmente dos tipos:

- a. Celulosa. Es un conjunto de fibras de origen natural derivados de la madera la cual posee fibras irregulares que presentan espacios de distintos tamaños entre los cuales los menores espacios permiten poco paso de aire lo cual reduce su eficiencia, al contrario, los mayores espacios permiten una gran capacidad de almacenamiento de impurezas y contaminantes.

b. Sintéticas. A diferencia del medio filtrante de celulosa las fibras sintéticas tienen una uniformidad mayor en el espacio entre ellas lo que permite un mayor paso de aire sin comprometer su efectividad al momento de retener impurezas de menor tamaño. En muchos casos el uso de ambos medios filtrantes se utiliza para tener un mejor equilibrio en capacidad de almacenamiento y efectividad en retención de partículas.

### ***2.1.3.3 Estructura.***

Es la encargada de mantener la forma del filtro además de encargarse del sellado en el extremo o extremos dependiendo de su forma, los principales materiales con los cuales están contruidos son juntas de poliuretano, plásticos y aceros con tratamientos anti oxido.

Los filtros generalmente se diseñan en base a las necesidades del motor, espacio disponible y condiciones ambientales, una de las formas más usadas hasta el año 2000 fue la de un cilindro en este caso los materiales más usados fueron aros metálicos en su parte superior e inferior unidos por el medio filtrante y en algunos casos una malla metálica que reforzaba el conjunto, en este caso se podía observar que muchas veces el encargado de realizar el sello era un caucho ubicado en el depurador.

Al pasar de los años este modelo de filtro aún se encuentra en ciertos modelos principalmente de la línea pesada de las diferentes marcas, con la diferencia que se observa la sustitución de metales por materiales plásticos y cauchos, estos además de encargarse de mantener la forma también se encargan de realizar el sello de hermeticidad. Esto ayuda a reducir costos de fabricación eleva la vida útil de los mismos y reduce el peso total de las diferentes piezas de recambio.

#### ***2.1.3.4 Prefiltros.***

En algunos casos tenemos la presencia de una malla que puede ser hecha de algodón o fibras sintéticas que retiene partículas e impurezas de un tamaño relativamente grande. Con esto se obtiene un pre filtrado del aire puede retener hasta un 90% de las impurezas de mayor tamaño elevando así la eficiencia y duración del conjunto.

También podemos observar el uso de dos filtros consecutivos con diferentes micrajes de filtración los cuales además poseen un tiempo de recambio distinto en algunos casos. En general tenemos un filtro de mayor tamaño en la parte exterior con una mayor capacidad de almacenamiento y una capacidad de micraje más amplia, en el interior un filtro de menor tamaño con una menor capacidad de almacenamiento, pero una capacidad de retención de impurezas mayor.

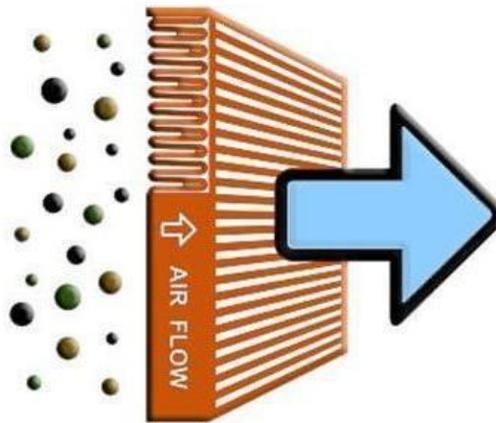
#### ***2.1.3.5 Sellos o juntas.***

En muchos casos podemos observar que la junta encargada de la hermeticidad del sistema se encuentra en el depurador o estructura que contiene el filtro, en otros casos esta junta se la encuentra adicional a la estructura pero al mismo tiempo forma parte de ella, por ultimo tenemos filtros en los cuales la estructura del de este tiene las dos funciones tanto de mantener la forma del mismo como realizar el sello para esto se encuentra realizado con materiales sintéticos que tienen una buena flexibilidad y dureza.

#### **2.1.4 Funcionamiento filtro de aire.**

El filtro de aire cumple ciertas funciones de la cual la retención de partículas es la principal. Para esto utiliza un medio filtrante que es como una malla donde las partículas

presentes en el aire quedan alojadas en el medio filtrante que es similar a múltiples capas de mallas apiladas unas sobre otras, además debe soportar las cargas producidas por el aire a impactar sobre el mismo con lo cual no debe permitir una deformación, ya que esta puede producir puntos por los cuales el aire siga su paso sin ser filtrado o la integridad estructural del mismo se vea afectada y pedazos del mismo podrían ser succionados por el motor provocando daños en él mismo. Se observan modelos en los cuales el filtro forma parte estructural del depurador, en algunos casos simplemente una pared de este o una sección entera.

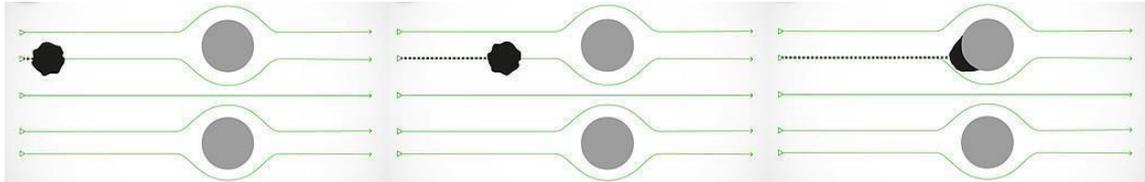


*Figura 5.* Funcionamiento básico de un filtro. (compresor, 2019)

Durante el funcionamiento del motor constantemente tenemos un caudal variable de aire dependiendo de las revoluciones a las que se encuentra funcionando, en un auto de 1600cc este valor sería de 640 L/min en ralentí y un valor de 3520 L/min a 5.500 rpm, dicho caudal deposita las impurezas presentes en el aire en las cámaras formadas por las múltiples capas de mallas en el medio filtrante, una vez alcanzado el límite de almacenamiento de este el filtro empieza a sufrir una depresión creciente en el extremo interno del filtro que puede causar deformaciones o incluso ruptura de este.

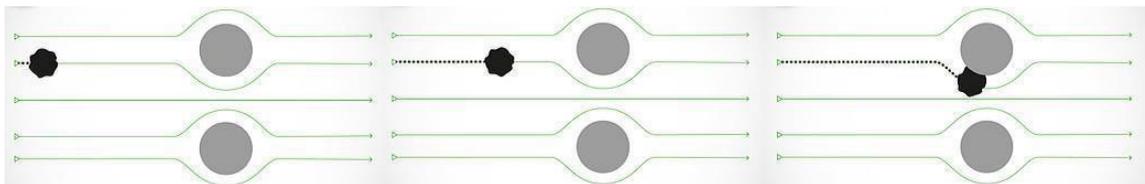
Se observan 4 tipos de retención de impurezas sobre el papel filtrante las cuales son:

Impacto por inercia. Esto se da principalmente con partículas de mayor tamaño y densidad las cuales poseen una inercia conservando su trayectoria al acercarse a las fibras del medio filtrante, lo que causa que colisionen con las mismas quedando atrapadas.



*Figura 6. Retención por impacto inercial. (HUMMEL, 2019)*

Intercepción. Este caso sucede cuando las partículas suspendidas en el aire son de menor tamaño y densidad que en el caso anterior por lo cual no poseen inercia, lo cual causa que las mismas varíen su trayectoria con el aire al acercarse a las fibras lo cual provoca que queden atrapadas si estas rozan las fibras y no al chocar directamente.



*Figura 7. Retención por intercepción. (HUMMEL, 2019)*

Difusión. Las partículas que poseen un tamaño aún menor tienden a tener un comportamiento muy diferente a las anteriores puesto poseen una inestabilidad muy similar a la observada en las partículas de los gases, esto las vuelve más propensas a colisionar con las fibras en algún momento al no tener un movimiento lineal en ningún momento.

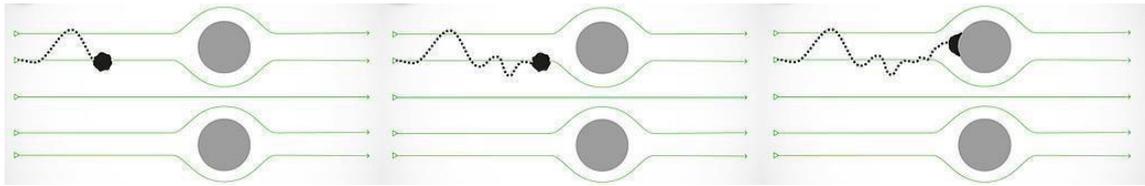


Figura 8. Retención por difusión. (HUMMEL, 2019)

Atracción electrostática. Este fenómeno se da principalmente en materiales sintéticos los cuales generan una carga negativa, mientras que las partículas presentan una carga positiva lo cual hace que estas sean atraídas hacia las fibras al pasar cerca de las mismas. Gracias a este fenómeno colisionan o rozan con las fibras y quedan atrapadas en las mismas.

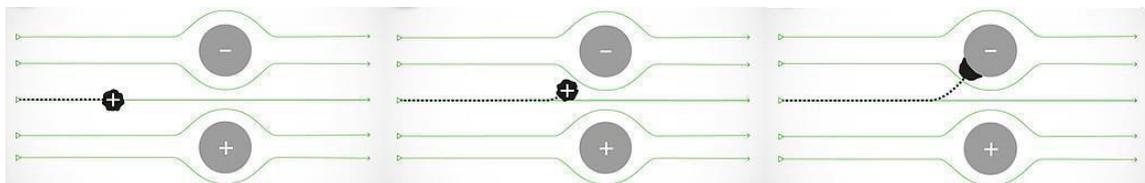


Figura 9. Retención por atracción electrostática. (HUMMEL, 2019)

## 2.1.5 Propiedades.

### 2.1.5.1 Efectividad de retención.

La efectividad de retención de partículas es una relación entre la cantidad de contaminantes presentes en el aire y la cantidad de estos que atraviesa el filtro y pasa hacia el motor, generalmente esto se encuentra expresado en porcentaje. En general esto es inversamente proporcional a la restricción al paso del aire, con los nuevos materiales como fibras sintéticas se logra un mejor equilibrio entre el rendimiento y funcionalidad.

También se puede elevar su rendimiento al usar materiales electrostáticos los cuales atraen a las diferentes impurezas al tener una carga opuesta, también es común el uso de

materiales humedecidos para maximizar las características de estos. En ambos casos esto genera un costo mayor en su producción por lo cual el medio filtrante de celulosa es el más utilizado.

#### ***2.1.5.2 Baja restricción de paso de aire.***

La restricción al paso de aire generada por un filtro de aire es la resistencia que ofrece el mismo mientras mayor sea esta restricción podremos observar una reducción en la potencia y eficiencia del motor, por este motivo es importante el intervalo de recambio de este para evitar aumentar este fenómeno presente en cualquier tipo de filtro. Son muy pocos los fabricantes que permiten una limpieza ya que esto puede causar daños a las fibras permitiendo una menor restricción al paso del aire, pero también permite el paso de impurezas de mayor tamaño y en mayor cantidad. Esto se debe realizar solo en caso de que el ambiente en el cual se trabaje obstruya de manera demasiado frecuente los filtros y son cuando los indicadores del vehículo muestren una obstrucción en los mismos.

Esta limpieza se debe hacer aplicando una corriente de aire de 90 grados hacia el medio filtrante y con una presión menor a 5 Psi hasta cuando no se vea más salida de impurezas., una vez realizado esto se debe verificar detenidamente el medio filtrante en busca de daños. En caso de encontrarlos este debe ser sustituido inmediatamente.

#### ***2.1.5.3 Capacidad de almacenamiento.***

La cantidad de impurezas que puede almacenar un filtro es la que determina su duración y efectividad pues un filtro de baja capacidad se va a saturar y posteriormente generará una falla de este o reducirá la eficiencia del motor al causar una restricción en el caudal. (Automotriz, 2004)

Los filtros se encuentran diseñados en base a los ambientes en los cuales va a ser comercializado, los vehículos tanto de carga, de trabajo y transporte generalmente tienen filtros más robustos con una mayor capacidad y en los casos como uso agrícola o de minería observamos no solo filtros de mayor tamaño para más capacidad de almacenamiento si no que podemos observar sistemas complementarios con los eliminan impurezas de mayor tamaño aumentando la vida útil de este.

## **2.2 Tipos de filtros**

### **2.2.1 Forma**

Los diferentes fabricantes realizan el diseño de los diferentes filtros tomando en cuenta no solo los requerimientos del motor en cuanto a flujo de aire y cantidad de almacenamiento de partículas para cumplir los intervalos de kilometraje que generalmente son de 10000 km, sino también el espacio disponible en el compartimiento del motor, así como la facilidad al momento del mantenimiento del mismo. En base a esto los fabricantes deciden no solo la forma y el tamaño del mismo sino también el material del medio filtrante para reducir el tamaño del filtro en caso de ser necesario, aunque esto signifique un aumento en los costos de fabricación.

#### ***2.2.1.1 Cilindro.***

Los filtros con esta forma generalmente son similares a un cilindro, aunque también los encontramos en forma cónica, estos pueden mantener su forma gracias a platillos de poliuretano en sus extremos, pero también podemos observar modelos que refuerzan sus estructuras con mallas metálicas externas e internas. De igual manera podemos observar que pueden tener o no sellado uno de sus extremos.

Esta clase de filtros se los usa principalmente en la línea de vehículos pesados de carga transporte y agrícolas. Ya que poseen una mayor capacidad de almacenamiento de impurezas y una mayor integridad frente a deformaciones por las fuerzas de presión causados por sistemas de sobrealimentación de aire.



*Figura 10.* Filtro cilíndrico. (millard, 2019)

#### **2.2.1.2 Panel.**

Estos filtros generalmente tienen una forma rectangular o trapezoidal y los podemos encontrar en tres configuraciones principalmente la primera se mantiene unida por una pega en el medio filtrante y un filo de poliuretano que además cumple la función de empaque. Otro de las configuraciones que encontramos en este tipo de filtro es en la cual tiene una estructura de plástico y un empaque de caucho, al final tenemos una configuración en la que el papel filtrante realiza todas las tareas tanto de filtrar mantener la forma y sellar.

Este tipo de filtros son los más usados en la actualidad y los podemos encontrar en vehículos como sedanes, pick ups, SUVs y busetas pequeñas, nos brinda una mayor facilidad y tiempo de fabricación además de permitir el uso de materiales más livianos y de menor costo. En muchos casos un mismo modelo de filtro es usado en varios modelos de

automóviles de una marca o varias marcas, las cuales incluso tienen una variación de cilindrada como tenemos el caso de los vehículos Nissan donde se observa un filtro usado en un motor de 1.6 litros y uno de 2.5 litros de igual forma se aprecia en la marca Renault donde un filtro se usa en un vehículo de 1.4 litros y uno de 2.0 litros.



*Figura 11.* Ejemplo filtros tipo panel. (millard, 2019)

### ***2.2.1.3 Especiales.***

En este caso tenemos filtros especiales que pueden tener cualquier forma además que pueden ser sellados y tener similitudes tanques de almacenamiento. Estos filtros los encontramos principalmente en vehículos de alta gama en los cuales el espacio es muy reducido o también en vehículos cuyos sistemas requieran de una filtración especial. En muchos casos estos filtros no solo poseen una forma distinta, sino que los materiales filtrantes utilizados también difieren de los convencionales en muchos casos estos optimizan de mejor forma el espacio con más material filtrante, en otras ocasiones están conformados por más de una cámara con lo cual no solo detienen impurezas, sino que también se pueden encargar de eliminar ruidos o vibraciones producidas por el aire moverse hacia el motor.



Figura 12. Ejemplo de filtro especial. (millard, 2019)

## **2.2.2 Papel filtrante.**

### ***2.2.2.1 Papel o microfibra.***

Son los filtros más comunes están compuestos por capas de papel y otras fibras sintéticas, no necesitan de mantenimiento generalmente duran de 10.000 Km a 15.000 Km. Los intervalos de mantenimiento varían dependiendo de las condiciones ambientales en las cuales se maneje el vehículo, se encuentra que en caminos de grava, tierra o similares se genera hasta 200 % más impurezas que en un camino de ciudad con lo cual la vida útil de este se reduce drásticamente.

Los diferentes fabricantes desarrollan combinaciones de fibras naturales y sintéticas para aumentar la capacidad de almacenamiento, reducir las restricciones al paso de aire y aumentar la eficiencia en el filtrado, esto generalmente se encuentra en el orden de 0.2 micrones en la gran mayoría de filtros de aire.



*Figura 13.* Filtro de aire común de papel filtrante. (RODES, 2015)

#### **2.2.2.2 Espuma.**

Este tipo de filtros consisten en filtros de una espuma generalmente los encontramos en motos o motores fuera de borda de pequeña cilindrada, estos requieren de una estructura adicional para mantener su forma, el fabricante recomienda un manteniendo periódico y generalmente se lo humedece con un líquido una vez que se encuentra limpio para incrementar su capacidad de filtración. Estos se deben ser reemplazados al observar una degradación en el material ya que puede desprender fragmentos de estos que podrían afectar al motor además de disminuir su funcionalidad.



*Figura 14.* Elemento filtrante de espuma. (Muñoz, 2017)

### 2.2.2.3 Textiles.

Estos filtros son los considerados de alto rendimiento están formados de algodón tejido, generalmente permiten un mayor paso de aire y son lavables. Muchos de ellos elevan en un porcentaje pequeño la potencia suministrada por el motor al ofrecer una menor resistencia al aire, también se observa que permiten el paso de impurezas de menor tamaño reduciendo así el tiempo de vida útil del motor. Estos necesitan un mantenimiento en el cual es necesario productos especializados para su limpieza y posterior acondicionamiento para ser reusados.



Figura 15. Filtro textil de alto rendimiento (Muñoz, 2017)

### 2.2.3 Principio de funcionamiento.

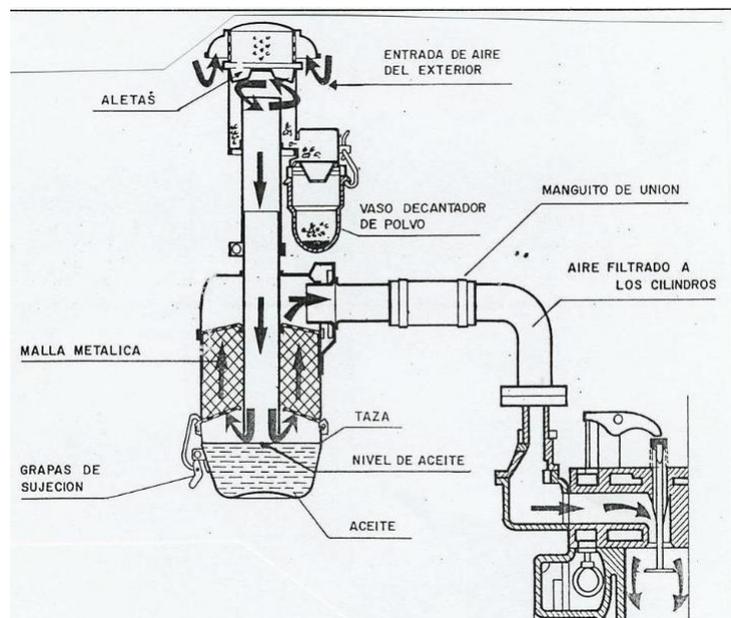
La principal función de un filtro es la impedir el paso de partículas contaminantes al motor, esto lo realiza al detenerlas y almacenarlas en el cuerpo de este. Los filtros convencionales realizan esta función emulando una malla por donde solo permite el paso del aire o partículas tan pequeñas que no causen un daño en el motor.

Esto lo puede realizar de distintas formas no la sola antes mencionada sino además mediante la utilización de fluidos donde las partículas quedan suspendidas al pasar el aire por dicho fluido, se detalla los diferentes tipos de filtración a continuación:

### 2.2.3.1 Filtro en baño de aceite.

En este tipo de filtros el aire pasa a través de una película de aceite generando burbujas donde las partículas de contaminantes tocan las paredes de la burbuja y quedan atrapadas en el aceite, generalmente observamos que posterior a esto el aire pasa por una malla metálica que se encuentra humedecida con aceite donde las partículas que no fueron atrapadas por el fluido se quedan pegadas.

Este tipo de filtros presenta una eficiencia inferior a la presentadas por filtros de papel seco, otra de las dificultades de esta es que el fluido tiende a crear puntos por los cuales el aire pasa libremente sin ser filtrado al tener inclinaciones demasiado pronunciadas, además de constantemente permitir que una pequeña cantidad de aceite pase hacia la cámara de combustión.



*Figura 16.* Diagrama de un filtro en baño de aceite. (SPSS, 2018)

Como ventaja tenemos que este tipo de sistemas no se reemplazan simplemente se realiza un mantenimiento donde se realiza un lavado de este y se cambia el fluido satura, esto genera un costo mucho menor en los mantenimientos de la maquinaria por eso aun podemos ver este tipo de sistemas en motores estacionarios que no sufren movimientos ni inclinaciones que comprometan la estanqueidad del fluido con los conductos.

### **2.2.3.2 Filtro seco.**

Es el tipo de filtro más utilizado en la actualidad y consiste en un medio filtrante en forma de papel que tiene porosidades por las cual se permite el paso del aire, pero no las impurezas. Este tipo de filtros es desechable, pero posee una gran capacidad de retención, gran paso de caudal y la eficiencia de este se determina en el tipo de medio filtrante utilizado.

Generalmente podemos observar dos tipos de materiales los cuales son celulosa que es un medio filtrante que utiliza las fibras de la madera este tipo de medio por lo general tiene un alto porcentaje de filtrado pero una considerable resistencia al paso del aire por el mismo, otro de los materiales más usados para este tipo de filtros es la fibra sintética a diferencia de la celulosa tenemos unas distancias más uniformes lo que brinda una alta eficiencia de filtrado y mínima resistencia al paso del aire, aunque presenta una baja capacidad de almacenamiento.

Para esto la industria ha desarrollado el uso de ambos materiales con lo cual busca rescatar las fortalezas de cada material disminuyendo las debilidades presentes por estos.

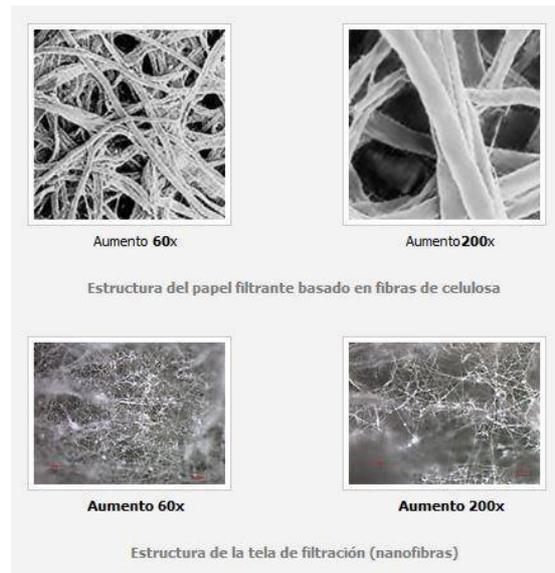


Figura 17. Diferencias visuales entre papel de celulosa y fibras sintéticas. (FEXILF, 2017)

### 2.2.3.3 Filtro de húmedo.

Este tipo de filtros funciona de forma similar a los filtros secos con la diferencia que se encuentran humedecidos con un tipo de aceite especialmente diseñado para estos. Esto se lo observa en los filtros de alto rendimiento que son un tipo de tela que no se encuentra bordada, estos requieren un mantenimiento periódico ya que poseen una baja capacidad de almacenamiento, pero una resistencia al paso del aire muy inferior en comparación con los filtros secos.

El mantenimiento de estos se realiza con un desengrasante, posteriormente se lo enjuaga y se deja secar para luego aplicar aceite sobre el mismo y así humedecerlo y aumentar su capacidad de retención de partículas. Generalmente se usan en vehículos o motos de alto rendimiento por su necesidad de mantenimiento y altos costos en comparación con un filtro original.



*Figura 18.* Ejemplo de humectación de un filtro de alto rendimiento. (Muñoz, 2017)

### **2.3 Factores de desgaste**

Un filtro está diseñado en base al tipo de partículas que va a retener esto generalmente se lo mide en micras, un cabello humano tiene un diámetro de alrededor de 60 micras en promedio. Tenemos filtros como los de aire acondicionado que se encargan de no solo retener partículas sino además ciertos gases para eliminar olores como son los filtros de cabina o también conocidos como filtros de polen, en este caso este tipo de filtros se encuentran hechos con componentes activos como el carbón.

Como podemos observar en la siguiente figura los contaminantes que pueden perjudicar el tiempo de vida útil de un motor tienen un tamaño mínimo de entre una y dos micras que es justamente la capacidad de filtraje de los mejores filtros. El daño de los motores se percibe generalmente por impurezas que oscilan entre 2 a 15 micras de diámetro, esto además se ve influenciado por tres factores de los cuales el primero ya lo conocemos y es el tamaño de estas, segundo es la dureza de las impurezas mientras mayor sea la dureza mayor es el daño que

causa y por último es la forma de estas mientras más aristas presentes causara un mayor daño en el metal.

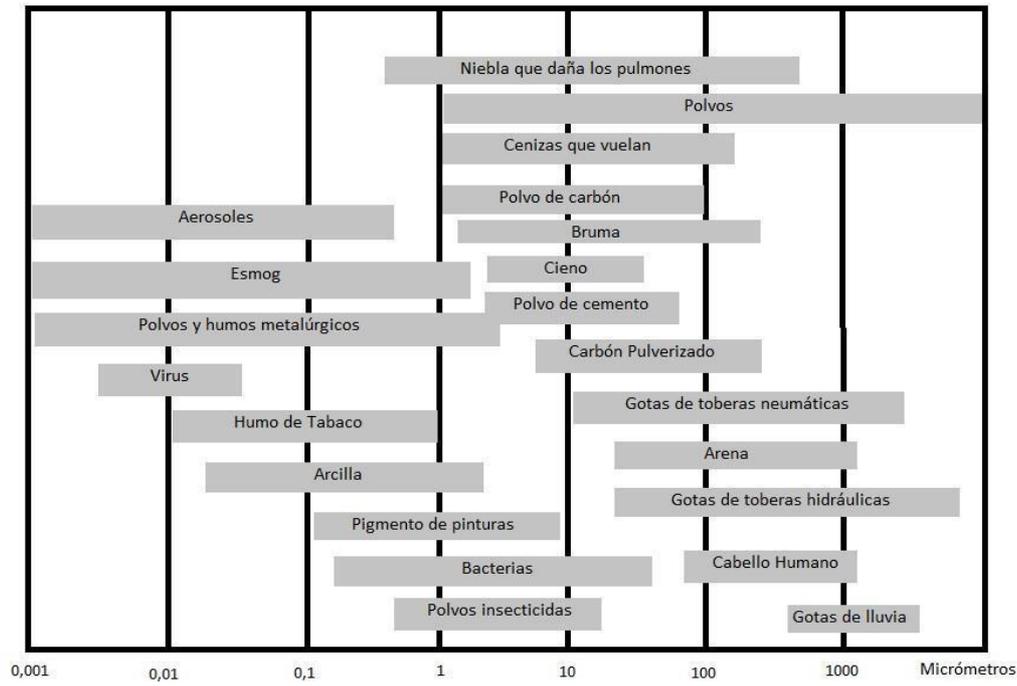


Figura 19. Impurezas presentes en el aire y su dimensión. (Wikipedia, 2000)

### 2.3.1 Duración y tamaño de filtro.

Uno de los factores más importantes es la cantidad de elemento filtrante que vamos a tener en este, generalmente este no es apreciado al encontrarse plegado para disminuir el espacio que ocupa este suele encontrarse en  $1.4 \text{ m}^2$  a  $3 \text{ m}^2$  en el caso de vehículos pequeños como son autos, SUV y todos terrenos, hay que tener en cuenta que en el caso de ser motores turbo alimentados la demanda de aire de este es mucho mayor y necesitara un filtro de mayor capacidad. Para el caso de autos de transporte y carga suelen llegar a  $5 \text{ m}^2$  por su mayor cilindrada.

Generalmente los fabricantes optan por filtros tipo panel los cuales tienen el panel filtrante plegado con forma de triángulos consecutivos, muchas veces observamos que para las diferentes opciones motores que ofrece un modelo comparten muchos componentes en algunos casos el depurador es el mismo y varía la altura del filtro cuando tenemos motores atmosféricos y motores con sobrealimentación, con lo cual incrementan la cantidad de papel.

### **2.3.2 Duración/ condiciones de uso.**

La cantidad de impurezas y el tamaño de las mismas va a determinar que el filtro se sature de manera más rápida, esto influenciará directamente en su duración es por esto que un automotor que circule en ciudad puede alcanzar un intervalo de cambio del mismo de hasta 20.000 km mientras que un auto que circule por zonas urbanas y rurales debe ser cambiado cada 10.000 km, en el caso de vehículos de competencia de rally o similares su intervalo de cambio puede ser menor a 1.000 km o en algunos casos de una carrera esto por el tipo de condiciones ambientales, demanda del motor y eficiencia requerida para ofrecer su mayor potencia durante toda la carrera.

Generalmente en condiciones de baja humedad se puede generar una mayor presencia de polvo en el ambiente se estima que esto es hasta 20 veces mayor a la cantidad encontrada en una ciudad, aunque visiblemente un filtro de aire de ciudad presenta una coloración más oscura al contener partículas de carbón procedentes de los demás vehículos la cantidad de impurezas es mucho menor a las de un vehículo que circula por una zona rural con vías de tierra o grava.

### **2.3.3 Duración/ modificaciones de alto rendimiento**

En muchos casos tenemos que los vehículos disponen de componentes de recambio que modifican el desempeño de los motores de manera leve o significativamente. Es por esto por lo que se debe tomar en cuenta esto ya que puede modificar los intervalos de mantenimiento de ciertos componentes, en este caso el filtro de aire puede verse afecto con cualquier modificación que aumente la demanda de aire que ingresa al motor.

Generalmente esto se da en dos formas al aumentar el rendimiento volumétrico del mismo ya sea con modificaciones en los múltiples de admisión, escape o modificaciones internas del motor como son en la culata con las válvulas o en pistones en el block.

Otra de las modificaciones que podemos observar es en la culata con un cambio de árbol de levas con lo cual se puede observar una modificación en el régimen de funcionamiento de hasta 3000 rpm con lo cual el motor incrementa su demanda de aire en un 50% ( (Widman International, 2018), con lo cual el filtro tendría una reducción del 25% en su tiempo de vida útil.

## **2.4 Mecánica de fluidos**

### **2.4.1 Definición de fluido.**

“Un fluido es un conjunto de moléculas que se ordenan aleatoriamente y se mantienen juntas a partir de fuerzas cohesivas débiles y fuerzas que ejercen las paredes de un contenedor. Tanto líquidos como gases son fluidos.” (Serway & Jewett, 2008).

El aspecto que diferencia a un fluido de un sólido son las fuerzas que se presentan entre sus moléculas, estas moléculas se mantienen vibrando, en un sólido y a bajas temperaturas estas

vibran prácticamente en el mismo sitio, haciendo que se encuentren ordenadas, esta es la razón por la que algunos fluidos pueden volverse sólidos al disminuir la temperatura. En estados líquidos estas fuerzas son menores haciendo que exista una mayor movilidad, pero en los gases el movimiento de sus moléculas es aleatorio y sus fuerzas muy débiles, razón por la cual estos pueden comprimirse más fácilmente que un líquido o sólido. Es por esto por lo que en el caso de los gases el volumen es determinado por el recipiente que lo almacena.

### **2.4.2 Propiedades de los fluidos.**

Los fluidos presentan algunas características que son muy importantes para entender su comportamiento y las diferencias que existen entre ellos.

#### **2.4.2.1 Masa.**

Es la cantidad de materia que existe dentro de un cuerpo.

#### **2.4.2.2 Peso.**

Es la fuerza gravitatoria con la que un cuerpo es atraído hacia el centro del planeta, esta es generada por el campo gravitatorio de la Tierra. Su fórmula es:

$$P = m \cdot g$$
[Ec.1]

En donde:

: Peso

: Masa

#### **2.4.2.3 Densidad.**

Es la cantidad de masa que existe en un determinado volumen de un cuerpo, para los gases este aspecto se ven influenciado por la presión a la que son sometidos, mientras en los

líquidos este aspecto es despreciable, por lo que se los toma como si fueran incompresibles.

Su fórmula es:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

[Ec.2]

En donde:  
 : Densidad  
 : Masa  
 : Volumen

#### **2.4.2.4 Peso específico**

Es la cantidad de peso que existe en una unidad de volumen de un cuerpo o sustancia, para esta propiedad existen dos fórmulas que son las siguientes:

$$\gamma = \rho \cdot g$$

[Ec.3]

y

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

[Ec.4]

En donde:  
 : Peso específico  
 : Densidad  
 : Volumen  
 : Peso  
 : Gravedad

Esta es una cualidad de varias sustancias y objetos, en el campo automotriz por ejemplo tenemos el peso específico de la gasolina que es: 6.66 N/m<sup>3</sup> lo que indica que 1 m<sup>3</sup> de gasolina pesará 6.66 N.

#### **2.4.2.5 Gravedad específica.**

Es la relación de la densidad de una sustancia con la densidad del agua, el dato tomado como densidad del agua es tomado a 4°C, ya que es cuando este fluido presenta su mayor densidad. Su fórmula es la siguiente

$$\frac{\tau}{\mu} = \frac{dv}{dy} \tag{6'}$$

O también en función del peso específico

$$\frac{\tau}{\rho g} = \frac{\rho_s}{\rho} \frac{dv}{dy} \tag{6''}$$

- En donde:
- : Gravedad específica
  - : Densidad de la sustancia
  - : Densidad del agua
  - : Peso específico de la sustancia
  - : Peso específico del agua

**2.4.2.6 Viscosidad absoluta.**

Es la resistencia que tiene un fluido a desplazarse sobre una superficie, es decir a fluir. Esto en términos físicos es la rapidez con la que el fluido se deforma cuando se aplica un esfuerzo cortante. La ecuación del esfuerzo cortante es:

$$\tau = \mu \frac{dv}{dy} \tag{7}$$

- En donde:
- : Esfuerzo
  - $\Delta$  : Variación de velocidad
  - $\Delta$  : Variación desplazamiento
  - : Viscosidad dinámica

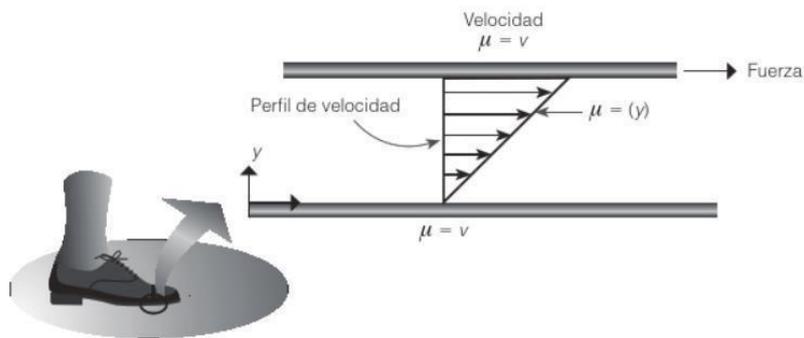


Figura 20. Comportamiento fluido entre dos placas. (Zacarías Santiago, González López, & Granados Manzo, 2017)

Este es un parámetro manejado principalmente en aceites de motor, por ejemplo, un aceite SAE 75W90 tiene dos viscosidades diferentes que varían en base a la temperatura, siendo 99.14 cSt @ 40°C y 14.58 cSt @ 100°C respectivamente. (Conauto, 2019)

#### **2.4.2.7 Viscosidad cinemática.**

Es la relación entre la viscosidad absoluta de una sustancia y su densidad, su fórmula es la siguiente:

$$\equiv$$

[Ec.8]

La representación de la Figura 1 indica el comportamiento de un fluido cuando este se encuentra entre dos superficies, en donde la superior se encuentra en movimiento representado por la suela del zapato, la superficie inferior el piso y un fluido entre los dos, la gráfica del fluido indica como este se ve sometido al esfuerzo cortante dado por la fuerza de la placa superior.

#### **2.4.3 Fluido newtoniano.**

“Si  $\mu$  es una constante independiente del valor de  $\Delta \Delta$ , esta ecuación es la de un líquido newtoniano.” (Méndez Montevalvo, 2010)

En base a la ecuación del esfuerzo cortante de un fluido tenemos que la viscosidad es constante e independiente de la variación de deformación que este tenga con respecto a su desplazamiento estamos hablando de un fluido newtoniano, por lo que se concluye que un fluido newtoniano es aquel en el cual su viscosidad va a permanecer constante a lo largo del tiempo.

En base a la proporcionalidad vista en la fórmula, se puede también conocer el comportamiento que este tendrá respecto a esas variables.

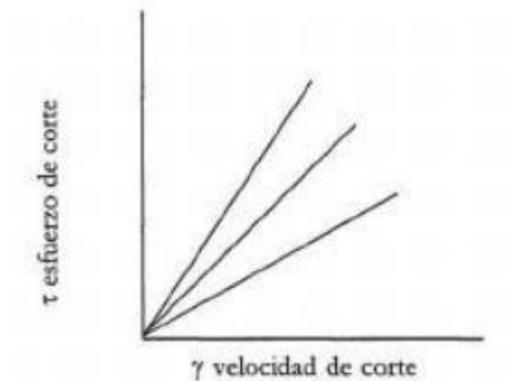


Figura 21. Gráfica Esfuerzo cortante vs. Velocidad de corte. (Méndez Montealvo, 2010)

Se observa como la pendiente varía únicamente en función del coeficiente de viscosidad dinámica, más esta se mantiene constante a lo largo del comportamiento del fluido, si alguno de los dos parámetros varía el otro lo hará proporcionalmente lo que indica que es un fluido newtoniano.

#### 2.4.4 Fluido no newtoniano.

“Un fluido no newtoniano es aquel que no se comporta de acuerdo con la ecuación. La viscosidad del fluido no newtoniano depende del gradiente de velocidad, además de la condición del fluido” (Mott, Mecánica de Fluidos Aplicada, 1996)

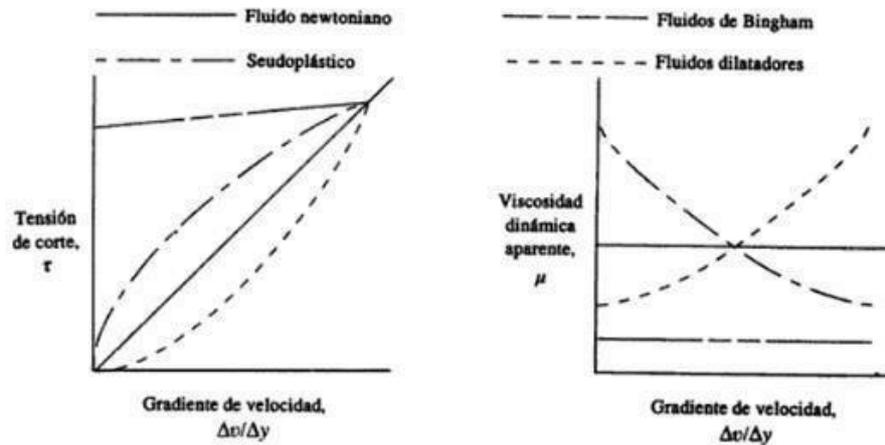


Figura 22. Comportamiento de fluidos newtonianos y no newtonianos. (Mott, Mecánica de Fluidos Aplicada, 1996)

El comportamiento entre los dos tipos de fluidos es muy evidente, mientras que el fluido newtoniano presenta un comportamiento constante tanto en la tensión de corte y la viscosidad dinámica, los fluidos no newtonianos tienen diferentes comportamientos, en la figura 3 se observa algunos de los principales fluidos no newtonianos y su comportamiento, en donde este presenta una curva, lo que indica que su comportamiento va a depender del gradiente de velocidad al que se vea sometido, esto quiere decir que su comportamiento va a variar en función del tiempo, por lo cual su viscosidad va a variar dependiendo del esfuerzo cortante al que se vea sometido la sustancia.

Existen varios tipos de fluidos no newtonianos como se observa en la figura 3. Los fluidos dilatadores, en los cuales crece su resistencia a deformarse a medida que aumenta la tensión de corte; seudoplásticos, el cual a medida que aumenta el esfuerzo cortante disminuye su resistencia a deformarse; Bingham, es el cual requiere de un esfuerzo inicial antes de comenzar a fluir.

### 2.4.5 Comportamiento Turbulento.

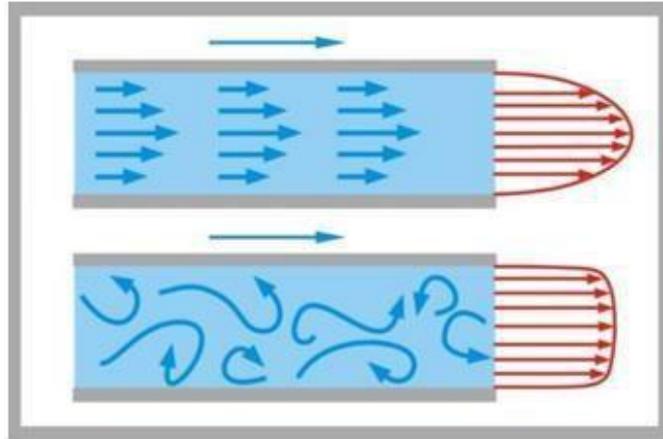


Figura 23. Representación flujo laminar y turbulento (Gunt Hamburg, 2020)

Un flujo turbulento no necesariamente indica un patrón desordenado en el que no se puede determinar ninguna variable, sino todo lo contrario, en lugar de presentar un frente de mayor velocidad respecto al resto como es el caso de un flujo laminar; en el flujo turbulento por el choque de moléculas se tiene un frente más estable y uniforme en el que se proyecta la velocidad del fluido, por lo que se vuelve más estable para una medición como es el caso del banco de pruebas.

### 2.4.6 Turbulencia en un motor.

“Helical manifold results in higher TR & turbulent kinetic energy compared to the Spiral and helical-spiral manifold.

Volumetric efficiency was higher for helical manifold and average volumetric efficiency was observed for helical-spiral combination and hence can be suggested for use in the engines.” (Rahiman, Razak, Samee, & Ramis, 2014)

El estudio realizado en un motor de combustión interna indica algunos preceptos que nos sirven para establecer que la existencia de flujo turbulento dentro de un motor no es mala. Si bien un flujo laminar está caracterizado por ser ordenado, en el que las moléculas siguen una línea recta predeterminada en su trayectoria, el flujo turbulento se caracteriza por el choque de sus moléculas dando a este su característico movimiento caótico. Estos choques por su naturaleza producen una mayor energía cinética por el movimiento de sus partículas, guardando una mayor energía interna.

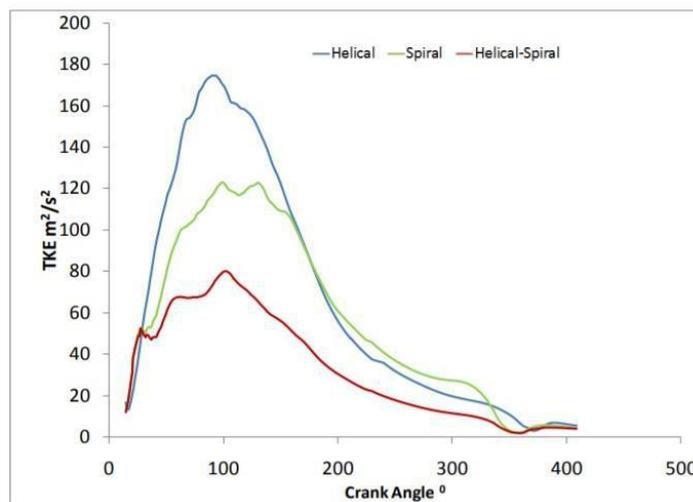


Figura 24. Energía cinética turbulenta. (Rahiman, Razak, Samee, & Ramis, 2014)

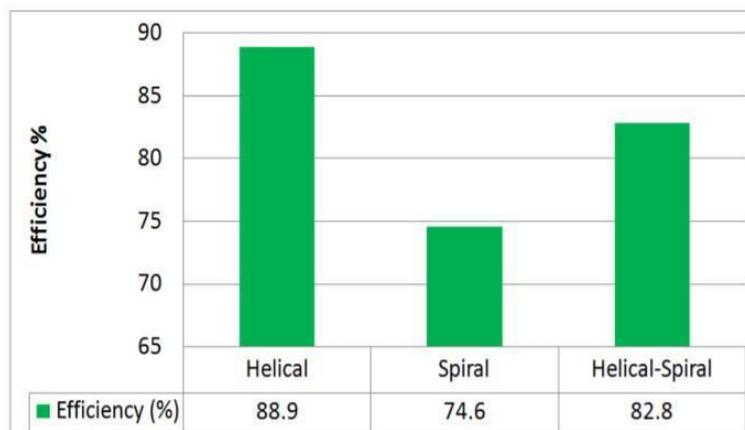


Figura 25. Eficiencia volumétrica. (Rahiman, Razak, Samee, & Ramis, 2014)

El estudio citado, se centra en las mejoras que pueden darse al cambiar la forma de la admisión, donde algunos parámetros medidos son la eficiencia volumétrica y la energía cinética turbulenta, en la Figura 5 se observa que en la admisión con una forma de hélice es mayor la energía cinética turbulenta, en donde va de la mano con lo mostrado en la Figura 6. También se observa una mayor eficiencia volumétrica del cilindro, razón por la cual se puede establecer que a mayor energía cinética turbulenta se tendrá una mayor eficiencia volumétrica y por ende una mayor eficiencia de funcionamiento del motor.

Otra razón adicional para buscar el aumento de la turbulencia dentro del cilindro nos brinda la Enciclopedia del Automóvil: “La turbulencia de la mezcla en el interior del cilindro en los motores de combustión interna posee una importancia fundamental para la velocidad de propagación del frente de llama. Es particularmente importante durante el funcionamiento con la mariposa parcialmente abierta o con carga a bajo régimen, que es cuando se producen las condiciones más duras para el proceso de combustión”. (SALVAT, 1974)

## 2.4.7 Ecuaciones.

### 2.4.7.1 Caudal.

Hay algunas fórmulas aparte de las anotadas previamente que sirven para medir u observar el comportamiento de un fluido, entre las principales fórmulas están las siguientes:

Es el volumen transportado a través de una tubería en una unidad de tiempo.

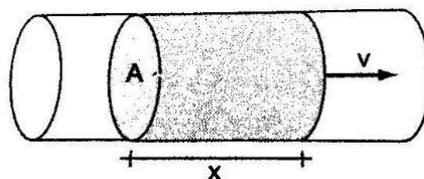


Figura 26. Tubería explicación caudal. (Zambrano Orejuela, 2012)

Siguiendo la definición tenemos la siguiente fórmula en base a la tubería de la Figura 7.

$$= \Delta$$

[Ec.9]

Reemplazando el volumen en función del área y la profundidad del fluido tenemos lo siguiente:

$$\frac{m}{\rho} = A \cdot \Delta x$$

[Ec.10]

Uniendo el parámetro de la distancia del fluido con un intervalo de tiempo tenemos la velocidad, quedando la fórmula final de a continuación.

$$= \frac{m}{\rho \cdot A \cdot \Delta t}$$

[Ec.11]

Una bomba de combustible por ejemplo dependiendo del tipo de sistema que tenga y la cilindrada del motor puede brindar un caudal aproximado entre 60-100 l/h. Es decir, puede suministrar de 60 a 100 litros de combustible por hora.

#### 2.4.7.2 Ecuación de continuidad.

En la figura se tiene una tubería la cuál cambia de diámetro de una dimensión grande a una menor, debido a la ley de la conservación de la materia conocemos que la masa va a ser la misma en cualquier parte del tubo, ya que esta ley sigue el mismo precepto que la de la conservación de la energía, es decir “la energía no se crea ni se destruye tan solo se transforma”.

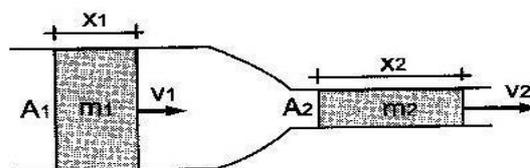


Figura 27. Tubería explicación ecuación de continuidad. (Zambrano Orejuela, 2012)

$$1 = 2$$

[Ec.12]

Como conocemos que la densidad es  $\rho$  al reemplazar en la fórmula tenemos:

$$\rho_1 = \rho_2$$

[Ec.13]

Nuevamente en base a la figura se tiene que el fluido se desplazará una distancia  $x$  en función de la variación de sección que se tiene entre un tubo y otro, razón por la cual al descomponer el volumen en función de la sección y la distancia  $x$  tenemos lo siguiente:

$$V_1 = V_2$$

[Ec.14]

Si aumentamos el parámetro del tiempo de forma que el caudal de entrada va a ser el mismo de salida tenemos lo siguiente

$$Q_1 = Q_2$$

Simplificando tenemos lo siguiente:

$$V_1 A_1 = V_2 A_2$$

[Ec.15]

Teniendo finalmente el enunciado descrito por (Zambrano Orejuela, 2012) “El producto de la velocidad del fluido por el área transversal del tubo de corriente, es constante a lo largo de cualquier parte del tubo de corriente”.

#### 2.4.7.3 Número de Reynolds.

Determina el comportamiento que puede tener un fluido, “el flujo en un tubo redondo depende de cuatro variables: la densidad, su viscosidad, el diámetro del tubo y la velocidad promedio del flujo” (Mott, Mecánica de Fluidos, 2006).

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu}$$

[Ec.16]

En donde:

- : Velocidad del fluido
- : Diámetro de la tubería
- : Densidad del fluido
- : Viscosidad dinámica
- : Viscosidad cinemática

Una vez obtenido este número de carácter adimensional, se lo compara con dos valores denominados críticos, si este es menor a 2000 el flujo es laminar, mientras que si es mayor a 4000 su flujo es turbulento y si se encuentra dentro de estos dos valores no se puede determinar su comportamiento.

## **2.5 Programación**

### **2.5.1 Algoritmo.**

“Un algoritmo constituye una lista bien definida, ordenada y finita de operaciones, que permite encontrar la solución a un problema determinado. Dado un estado inicial y una entrada, es a través de pasos sucesivos y bien definidos que se llega a un estado final, en el que se obtiene una solución o soluciones.” (Mathieu, 2014).

En base a la definición previamente expuesta tenemos varios elementos que componen un algoritmo, el orden que es primordial para que un programa se ejecute correctamente, ya que las órdenes dadas son secuenciales y de esta misma manera el programa se ejecuta, su proceso tiene un final que es una salida, provista por una entrada de datos que se incluyen al momento de ejecutar las operaciones programadas.

### **2.5.2 Lenguaje de programación.**

Es una técnica estándar de comunicación que indica las instrucciones que deben ser ejecutadas por un computador. Cada uno de estos lenguajes que existen tienen su propia sintaxis y gramática, así como la manera de ingresar y procesar los datos dentro de un programa.

La mayoría de los lenguajes son basados en C, el cuál es un lenguaje usado ampliamente por su facilidad al momento de programar y por sus estructuras tanto de alto nivel, como de bajo nivel

### **2.5.3 IDE (Entorno de Desarrollo Integrado).**

“Es un programa informático compuesto por un conjunto de herramientas de programación. Puede dedicarse en exclusiva a un solo lenguaje de programación o bien, poder utilizarse para varios.” (Alonzo Velázquez, 2010)

Esta clase de programas presentan varias herramientas en común que facilitan la programación de aplicaciones en el computador, parte de esta facilidad es la disposición de varios lenguajes de programación que pueden existir en un mismo IDE y el cuál es parte de su función.

Existen dos lenguajes principales en la programación, denominados lenguaje de alto y de bajo nivel, esto no quiere decir que uno sea más complejo que el otro y tenga otras directrices en su escritura, sino que se refiere a la diferencia entre el lenguaje que es escrito y dado por las personas y el lenguaje que obtiene la computadora como tal.

El lenguaje de bajo nivel es el recibido por la computadora, el cuál son instrucciones que son procesados directamente por el hardware del computador, en donde lo que procesa son 0 y 1 que le llegan como entrada, esto se observa cuando en algún programa se observa un archivo de texto en el cuál existen varios caracteres sin sentido, este lenguaje es el que da las ordenes al computador para realizar cierta acción.

El lenguaje de alto nivel es aquel en el cuál la persona escribe un programa, como es en nuestro caso, en este tipo de lenguaje las instrucciones son escritas en forma entendibles para las personas, en este lenguaje se utilizan bastante el uso de funciones aritméticas y mediante el uso de palabras en condicionales y variables.

Un IDE consta de herramientas básicas que son las siguientes:

- Editor: Es la herramienta que permite la escritura del programa, algunos incluyen ayudas adicionales para remarcar errores que se cometen y corregirlos antes de la compilación del programa.
- Compilador: Este es el encargado de unir todo el lenguaje y generar un ejecutable o en el caso de Arduino el subir el programa a la placa base para su ejecución posterior.
- Depurador: Es la herramienta que se encarga de evaluar el programa una vez finalizado y analizar si existen errores lógicos más allá de los que son comprobados por el editor, una vez que se finaliza la revisión de errores se procede a la compilación del programa.

### 2.5.4 Arduino IDE.

Es un software libre, el cuál es el entorno de desarrollo de Arduino, este IDE cuenta con un editor, un compilador, un depurador y también un monitor de serie para poder observar los datos de las salidas al Arduino en caso de que se necesiten.



Figura 28. Ventana principal Arduino. Autores



Figura 29. Herramientas Arduino. Autores

En la Figura 10 se observan las principales herramientas usadas en Arduino, el botón de verificar, el cual hace uso del depurador para encontrar los errores dentro del programa, en el caso de Arduino, el editor no detecta errores de tipo ortográfico, por lo que el depurador realiza el chequeo de este tipo de errores también, en el caso de encontrar algún error, la línea

en la que se encuentra este se pinta de naranja e indica el tipo de error que se encontró para realizar su posterior corrección.

El botón de subir hace uso del compilador, si se realiza un clic sobre este sin haber realizado la verificación del código, igualmente se realiza una antes de subir el código a la placa, con el fin de evitar errores de ejecución en la placa. Este proceso demora unos cuantos segundos dependiendo de la cantidad de líneas que tenga el programa.

El botón de monitor de serie permite observar las variables que queremos analizar mientras se da su procesamiento o también el observar los datos de entrada y salida mientras se ejecuta el programa. Este monitor se abrirá únicamente si se ha establecido una comunicación serial con el computador, para esto se hace uso de una función que veremos más adelante.



*Figura 30.* Monitor de serie. Autores

En esta pantalla se escribirán los datos que queremos observar mientras se ejecuta el programa, para esto se determina una velocidad de comunicación y un número de puerto que debe concordar con el del Arduino para que se de este proceso. En este caso este tipo de comunicación no solo se usó para la evaluación de las variables, también se necesitaba para la comunicación con la plantilla de Excel que se encarga del procesamiento y el cálculo de la eficiencia de filtrado en las distintas pruebas realizadas.

### 2.5.5 Arduino Uno.

“Es una placa microcontroladora basado en el chip ATmega328P.” (Arduino, 2019)

La placa Arduino sirve por medio de su chip como un procesador para ejecutar ciertas premisas que son ingresadas por medio de la programación. Este cuenta con varios pines de entrada y salida, pudiendo ser las señales que entran tanto digitales como analógicas. Su procesamiento de señales y salidas se da en base a la programación que ha sido cargada al chip, estas premisas son ingresadas por medio de un puerto USB tipo B a la placa, y su lenguaje de programación aceptado puedes ser C o C++.

### 2.5.6 Programación.

La programación se realiza en el IDE (Integrated Development Environment) provisto por Arduino mismo, su lenguaje de programación es C o C++, siendo la única diferencia las librerías diferentes librerías que son propias de Arduino.

```
void setup() {
  pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);
}

void loop() {
  digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH);
  delay(1000);
  digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW);
  delay(1000);
}
```

El programa es un ejemplo pequeño de cómo es el tipo de programación en Arduino, es uno de los ejemplos que viene en el IDE el cual hace que un LED integrado mismo en la placa alterne entre encendido y apagado cada segundo una vez que se ejecuta el programa.

### **2.5.6.1 Funciones y estructuras usadas.**

`#include`

Se utiliza para importar una librería del IDE Arduino y cargarla al chip, en este caso es utilizada para llamar a las funciones y comandos que se usarán para el control del LCD.

`Void()`

Es un comando usado para crear funciones en donde no necesitamos que tras su ejecución nos devuelva algo, sino que ejecutan sus instrucciones cuando son llamadas y nada más.

`Void setup ()`

Es el lugar donde se inicializan algunas variables y se determinan los pines a trabajar y como su nombre la indica van las preparaciones antes de que se ejecuten los procesos como tal. `pinMode()`

Es usado para indicar de qué manera se va a comportar el pin del Arduino, pudiendo ser en algunos casos como salida de señal o como entrada de otra.

`Void loop ()`

Es la función en la cual se dan las instrucciones que se van a ir produciéndose constantemente, en este caso realiza la lectura constante de los sensores y las operaciones de transformación de la señal a caudal, al igual que la regularización de los valores que se van a mostrar en la pantalla `analogRead()`

Se encarga de la lectura de la señal análoga que ingresa al Arduino, es cuando se realiza la medición por parte del sensor y el procesamiento del Arduino

`Delay ()`

Pausa el programa por el tiempo indicado por el usuario, el tiempo va entre los paréntesis en milisegundos.

For ()

Es una estructura de bucle en la cual se ingresan en el paréntesis una variable que controle las repeticiones, una condición hasta la que debe darse el bucle y por último una operación que debe realizarse al acabar una repetición. Estas son usadas usualmente para el registro de valores en un vector, en el cual se irán grabando los datos hasta que se llenen sus posiciones completamente.

Lcd.setCursor()

Sirve para indicar en que parte de la pantalla LCD se va a escribir lo que se desea, en este caso la pantalla tiene únicamente dos filas, por lo que se debe indicar en donde se inicia la escritura a mostrar. Estas van expresadas dentro del paréntesis primero la coordenada de la columna separada con una coma con la coordenada de la fila.

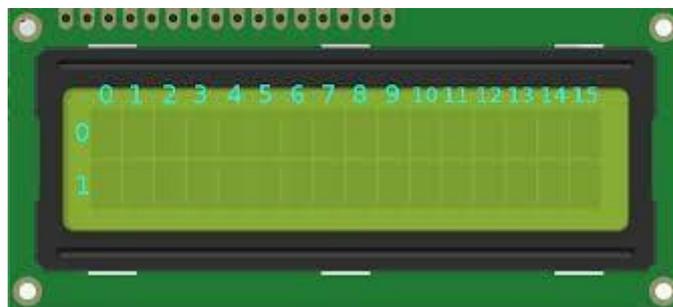


Figura 31. Coordenadas pantalla LCD. (Arduino, 2019)

Lcd.print()

Es el comando utilizado para imprimir datos o texto en la pantalla, este se lo coloca dentro del paréntesis, en caso de que sea un dato se lo coloca como está escrito dentro del paréntesis,

mientras que si es un texto para mostrar se lo debe escribir entre comillas igualmente dentro de los paréntesis.

`Serial.print()`

Es la función usada para establecer una comunicación con la computadora, normalmente se lo utiliza para analizar las variables al ejecutar el programa, pero en este caso se lo utiliza para que se puedan procesar los datos en Excel por parte de la computadora.

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA

Para el diseño del banco de pruebas se buscó un problema del entorno, como es la calidad de los productos que ingresan al mercado ecuatoriano. En base a esto se seleccionó un componente de mantenimiento periódico que afecta el desempeño del vehículo, así como la vida útil del mismo como es el filtro de aire.

Para la fabricación de un dispositivo que nos permita verificar si estos productos cumplen con las normativas que exigen los fabricantes se buscó las diferentes normativas que regulan dichos filtros. En el caso de este como la gran mayoría de partes automotrices cumple con ciertas normativas que delimitan su funcionamiento, calidad y eficiencia. Las normativas son nacionales, internacionales o también son propias de la industria en este caso la Sociedad de ingenieros automotrices SAE es la encargada de regular todo tipo de repuestos y accesorios automotrices en los diferentes países.

Generalmente las normativas propias de cada país toman como base las normativas internacionales y realizan pequeñas modificaciones que toman en cuenta los factores climáticos, económicos y sociales del país.

El siguiente paso fue buscar los vehículos con mayor presencia en el mercado ecuatoriano tomando en cuenta dos factores el tipo de vehículo y la marca de este para encontrar 5 modelos de prueba, con esto además se comprobó la efectividad de los filtros de distintas marcas en condiciones similares.

En el diseño del banco de pruebas se toma en cuenta estas normativas, tanto en los requerimientos del banco de pruebas como en las condiciones en las cuales se realizará las pruebas, para esto se seleccionó materiales para su construcción que simularan las condiciones que se tendría en su funcionamiento normal.

### 3.1. Materiales

#### 3.1.1 Vehículos.

La selección de los vehículos a los cuales pertenecen los filtros de aire que se probaron en el banco de pruebas determinan no solo las dimensiones de este sino también la capacidad operativa y las características necesarias de cada elemento necesario para su construcción.

Para seleccionar los modelos se toma en cuenta las ventas del mercado en el año 2018 mediante datos obtenidos por la AEADE, esto se realiza en dos etapas en la primera se determina cuál de los diferentes segmentos fue el más vendido en el Ecuador, como podemos observar en la siguiente tabla #3.1 el más vendido son los automóviles con un 42.77% del mercado.

Tabla 1.  
*Ventas en el año 2018 por segmentos*

Año	Automóviles	SUV	Camionetas	Camiones	Van	Buses	Total
2018	58854	45139	19464	7844	4407	1907	137615
Porcentaje	42,77	32,80	14,14	5,70	3,20	1,39	100

*Nota. Recuperado de (AEADE, 2019)*

Como se observó los automóviles son el segmento de vehículos más comercializados en el país y esta constante se observó en un periodo de 5 años atrás, una vez decidido esto se realizó una segunda toma de datos.

En la segunda etapa se determinó las marcas más vendidas (ver Tabla 2). Las cuales como en el caso anterior se observó una constante de permanecer en los primeros puestos en ventas en el país, una vez que se seleccionaron la marcas se emparejó ambos factores para determinar los vehículos con los cuales se realizaron las pruebas.

Tabla 2  
*Marcas con mayor cantidad de ventas en el Ecuador por marca*

Marca	Año	Unidades	Porcentaje
Chevrolet	2018	45605	33,14%
Kia	2018	23141	16,82%
Hyundai	2018	13568	9,86%
Toyota	2018	7947	5,77%
Nissan	2018	4969	3,61%

*Fuente:* (AEADE, 2019)

En base a esto se seleccionó una lista de vehículos de diferentes marcas comprendidas dentro de estos parámetros, otra de las características con las cuales se determinó los modelos es la cilindrada para esto se utilizó vehículos de 1600cc los cuales son:

## a. Chevrolet Aveo

Tabla 3  
 Ficha técnica Chevrolet Aveo

<b>Dato</b>	<b>Cantidad</b>
Combustible	Gasolina
Potencia máxima	116 CV /85 kW
Revoluciones potencia máxima	6,000 rpm
Par máximo	155 Nm
Revoluciones par máximo	4,000 rpm
Disposición	Delantera transversal
Numero de cilindros	4
Disposición de cilindros	En línea
Diámetro cilindro	79 mm
Carrera	81,5 mm
Cilindrada	1,598 cm <sup>3</sup>
Relación de compresión	10,8 a 1
Válvulas por cilindro	4
Tipo de distribución	Dos árboles de levas
Alimentación	Inyección indirecta

*Nota. Recuperado de (KM 77, 2020)*

## b. Kia Cerato

Tabla 4  
 Ficha técnica Kia Cerato

<b>Dato</b>	<b>Cantidad</b>
Combustible	Gasolina
Potencia máxima	105 CV / 77 kW
Revoluciones potencia máxima	5,800 rpm
Par máximo	143 Nm
Revoluciones par máximo	4,500 rpm
Disposición	Delantera transversal
Numero de cilindros	4
Disposición de cilindros	En línea
Diámetro cilindro	76,5 mm
Carrera	87 mm
Cilindrada	1,600 cm <sup>3</sup>
Relación de compresión	10 a 1
Válvulas por cilindro	4
Tipo de distribución	Dos árboles de levas
Alimentación	Inyección indirecta

*Nota. Recuperado de (KM 77, 2020)*

## c. Hyundai Accent

Tabla 5  
 Ficha técnica Hyundai Accent

<b>Dato</b>	<b>Cantidad</b>
Combustible	Gasolina
Potencia máxima	112 CV / 82,4 kW
Revoluciones potencia máxima	6,000 rpm
Par máximo	146 Nm
Revoluciones par máximo	4,500 rpm
Disposición	Delantera transversal
Numero de cilindros	4
Disposición de cilindros	En línea
Diámetro cilindro	76,5 mm
Carrera	87 mm
Cilindrada	1,600 cm <sup>3</sup>
Relación de compresión	10 a 1
Válvulas por cilindro	4
Tipo de distribución	Dos árboles de levas
Alimentación	Inyección indirecta

*Nota. Recuperado de (KM 77, 2020)*

## d. Toyota Corolla

Tabla 6  
 Ficha técnica Toyota Corolla

<b>Dato</b>	<b>Cantidad</b>
Combustible	Gasolina
Potencia máxima	110 CV / 81 Kw
Revoluciones potencia máxima	6,000 rpm
Par máximo	150 Nm
Revoluciones par máximo	4,800 rpm
Disposición	Delantera transversal
Numero de cilindros	4
Disposición de cilindros	En línea
Diámetro cilindro	79 mm
Carrera	81,5 mm
Cilindrada	1,598 cm <sup>3</sup>
Relación de compresión	10,5 a 1
Válvulas por cilindro	4
Tipo de distribución	Dos árboles de levas
Alimentación	Inyección indirecta

*Nota. Recuperado de (77, 2020)*

## e. Nissan Tiida

Tabla 7  
Ficha técnica Nissan Tiida

<b>Dato</b>	<b>Cantidad</b>
Combustible	Gasolina
Potencia máxima	110 CV / 81 Kw
Revoluciones potencia máxima	6,000 rpm
Par máximo	153 Nm
Revoluciones par máximo	4,400 rpm
Disposición	Delantera transversal
Numero de cilindros	4
Disposición de cilindros	En línea
Diámetro cilindro	78 mm
Carrera	83,6 mm
Cilindrada	1,598 cm <sup>3</sup>
Relación de compresión	10,7 a 1
Válvulas por cilindro	4
Tipo de distribución	Dos árboles de levas
Alimentación	Inyección indirecta

*Nota. Recuperado de (77, 2020)*

### 3.1.2 Normativas

Las normativas usadas para el diseño y construcción del banco de pruebas fueron locales e internacionales, esto se realizó ya que los filtros que se venden en nuestro país son en su mayoría de otros países, aunque también tenemos unas pocas marcas nacionales. La normativa nacional usada RTE 129 (ver anexo) nos hace referencia a normativas internacionales para control de calidad y funcionalidad de los filtros para permitir su ingreso

al país, por esto se buscó las normativas internacionales que regulan las pruebas a filtros de aire que son la SAE J726 por parte de la SAE y su equivalente internacional que es la ISO 5011 (ver anexos) una vez se comparó ambas normativas internacionales se evidencio que eran las misma.

#### ***3.1.2.1 Normativa local.***

Las normativas locales se encargan de permitir o denegar el ingreso de un producto al país tomando en cuenta diferentes factores como son la calidad, toxicidad y procedencia. En el país del Ecuador el encargado de esto es el Servicio Ecuatoriano de Normalización o INEN, este se encarga de todos los sectores y sus distintos productos en el caso de repuestos automotrices y más en concreto filtros de aire tenemos que la normativa vigente es la RTE 129 que determina:

“Los filtros de Aire para motores de combustión interna deben venir con una etiqueta firmemente adherida a su respectivo empaque primario o secundario con la siguiente información:

- a) Marca comercial o razón social del fabricante.
- b) Número del lote y fecha de producción.
- c) Nombre o denominación del producto.
- d) Código o modelo del filtro.
- e) País de origen.

Los filtros de aire para motores de combustión interna deben venir marcados en el producto como mínimo los literales a) b) y d)

En caso de ser un producto importado. Adicionalmente, para la comercialización, los productos contemplados en este reglamento técnico deben llevar en una etiqueta firmemente

adherida al envase primario o al envase secundario, destinado al consumidor o usuario final, la siguiente información:

- a) Razón social e identificación fiscal (RUC) del importador.
- b) Dirección comercial del importador.

La información del mercado del producto y etiquetado del envase primario o secundario debe expresarse en idioma inglés o español, sin perjuicio de que adicionalmente se pueda incluir esta información en otros idiomas.” (INEN, 2017) Esta normativa muestra el correcto etiquetamiento y los requisitos de información que este contiene, las cuales se encuentran numeradas y explicadas en esta normativa, se observa en el Anexo.

En el caso de sus características tanto de calidad y funcionamiento dice que la empresa encargada de su importación presentara un certificado por un organismo acreditado por la Society of Automotive Engineers (SAE), el cual realizará todas las pruebas necesarias para asegurar su calidad y funcionamiento, dichas pruebas se realizaran en el país de origen del filtro o en el país de comercialización en este caso Ecuador con el único requisito que esto sea hecho por una empresa certificada por la SAE para realizar estas pruebas.

### ***3.1.2.2 Normativa internacional.***

Al igual que en el caso del país el INEN tenemos organismos de normativas en los distintos países así como internaciones y de cada sector de la industria en el caso de los vehículos está regida por la Sociedad de Ingenieros Automotrices o SAE, en el caso de filtros de aire tenemos que la normativa de pruebas de calidad es la SAE J726 es la encargada de regularizar las pruebas de calidad en el área automotriz y su equivalente como normativa internacional de calidad es la ISO 5011 que determina los procedimientos y condiciones en las cuales se

realizara la prueba, así como las magnitudes que se encuentran en la tabla #3.8 con los cuales se van a tabular los diferentes datos obtenidos en las pruebas.

Tabla 8  
*Magnitudes utilizadas*

Magnitud	Símbolo	Unidad
Flujo Volumétrico		m <sup>3</sup> /min
Velocidad		m/s
Densidad		kg/min
Flujo másico		kg/m <sup>3</sup>
Presión		Pa
Restricción	Δ	Pa
Diferencia de presión	Δ	Pa
Presión perdida	Δ	Pa
Masa		g
Tiempo		s

Recuperado de (ISO, 2001)

Los valores tabulados en las pruebas realizadas son válidos al cumplir las condiciones descritas las cuales son: una temperatura de 20 °C y una presión de 1013 mbar, estas son consideradas las condiciones estándares para realizar las pruebas a los filtros de aire (ISO, 2001), esta normativa también nos dice que la cantidad de aire con la cual se realizara la prueba no puede tener un valor menor al 2% del valor real.

### 3.2 Parámetros

Una vez determinados los vehículos de los cuales se van a realizar la pruebas se determinan los parámetros necesarios para realizar las pruebas, uno de ellos es el flujo necesario para emular el flujo de los vehículos para esto se utilizó valores obtenidos mediante la página

Widman Internacional tomando como referencia los valores ocupados por la ANT en cuanto a revoluciones por minuto ocupadas en las pruebas técnico vehiculares en el Ecuador con las cuales se realizan las pruebas de emisiones resultantes de la combustión con las que se determina si un vehículo no está sobrepasando los niveles de contaminación, esto en base a tablas que toman en cuenta el año de fabricación de los mimos.

Una vez que se introdujo los datos de cilindrada, el tipo de motores de los vehículos seleccionados y las revoluciones previamente seleccionadas se obtuvo los siguientes datos 640 l/min en 1000 rpm o ralentí y 1600 l/min a 2500rpm (SRL, 2018). Estas condiciones se repetirán al realizar las pruebas en las diferentes marcas presentes en el mercado, así como la marca original comercializada por cada representante de la marca. Una vez realizadas las pruebas se tabularán los datos obtenidos para conocer los porcentajes de eficiencia de cada filtro en comparación con el repuesto original, además de la disminución del rendimiento de dichos filtros en un periodo de 5.000 km y 10.000km que son los intervalos de cambios de aceite y sustitución de filtros de aceite, combustible y aire sugeridos por los distintos fabricantes.

### **3.2.1 Generador de flujo.**

Para determinar el generador de flujo para el banco de prueba tenemos algunos factores a tomar en cuenta como son la disponibilidad para su fácil obtención y poder reemplazarlo en caso de ser necesario, variabilidad de flujo para determinar el mismo dentro de los parámetros especificados en base de los modelos de vehículos y lo determinado por las normativas especificadas, por ultimo tenemos un flujo tanto de empuje como de succión con esto existe la posibilidad de observar el comportamiento de las mediciones del flujo tanto en sentido como en el otro.

Para esto se calificará en una escala del 1-5, donde 1 es más factible y 5 es menos factible, como podemos observar en la tabla 9

Tabla 9  
*Tabla de factibilidad de generador de flujo*

Clases de generadores de flujo	Disponibilidad	Flujo variable	Flujo de entrada y salida	Total
1.1 Turbina calefacción automotriz	2	3	5	10
1.2 Turbina industrial usos varios	1	1	1	3
1.3 Turbina refrigeración computador	1	5	5	11

Como se observó en el cuadro anterior la mejor opción es la turbina de uso industrial pues cumple una velocidad variable para simular las diferentes revoluciones del motor previamente descritas, así como una prueba que simule aceleración y desaceleración simulando un recorrido normal del vehículo, otro de los factores es su fácil reemplazo en el caso de deterioro de este luego de realizar varias pruebas. Además, nos permite tener tanto una succión como repulsión del fluido en caso de ser necesario comprobar su comportamiento en estas condiciones.

### **3.2.2 Medidor de flujo.**

Para el medidor de flujo se toma en cuenta tres factores que son la disponibilidad de este para su construcción y reemplazo en caso de ser necesario, además de esto se toma en cuenta la precisión de lectura del flujo para su precisión y por último tenemos la emisión de datos de este ya que esto permite el procesamiento de estos y la compatibilidad con la forma de procesarlos y mostrarlos.

Para esto tenemos la tabla #3.10 donde se encuentra calificado de la misma forma que en el caso anterior estos distintos factores.

Tabla 10  
*Factibilidad de medidor de flujo*

Clases de sensores	Disponibilidad	Precisión	Emisión de datos	Total
2.1 Sensor flujo de aire laser	5	1	1	7
2.2 Sensor turbina para flujo	2	4	3	9
2.3 Sensor de flujo de aire automotriz	2	1	3	6
2.4 Sensor de flujo volumétrico para Arduino	4	1	1	6

Como podemos observar uno de los factores más importantes para el sensor es la compatibilidad con el procesador de datos sin lo cual no se podrían determinar los resultados de las pruebas en este caso tanto el sensor laser como el sensor de Arduino poseen las mejores puntuaciones, otro de los factores importantes es la precisión de medidas obtenidas de los mismos una vez más ambos sensores destacan con su precisión por ultimo tenemos la disponibilidad de los mismos en este caso el sensor de Arduino tiene una relativa mayor facilidad al momento de conseguirlos. Al final se decidió utilizar el sensor de Arduino ya que este esta previamente calibrado con el procesador elegido lo que brinda mayor facilidad de instalación.

### 3.2.3 Base contenedora.

El tercer elemento es la base contenedora en la cual se va a alojar los diferentes filtros de aire elegidos por lo cual vamos a observar tres factores de evaluación el primero es la disponibilidad para su construcción o reemplazo en caso de ser necesario, segundo su compatibilidad con los elementos anteriores puesto que esto determina su correcto funcionamiento y lectura de datos, por último la adaptabilidad a los diferentes tipos de filtros de aire con los cuales se van a realizar las pruebas.

Como en los casos anteriores se va a calificar con el mismo sistema en la tabla 11 a continuación.

Tabla 11  
*Tabla de factibilidad de base contenedora*

Clases de bases	Disponibilidad	Compatibilidad	Adaptabilidad	Total
3.1 Base metálica fabricada	2	1	1	4
3.2 Base filtro de aire plástica	1	2	1	4
3.3 Base de policarbonato fabricada	3	1	1	5

En este caso las diferencias entre las distintas opciones son mínimas ya que en los tres casos su adaptabilidad para las pruebas con los diferentes tipos de filtros y su compatibilidad con los demás componentes previamente elegidos son muy similares se definió el uso de la base plástica por su facilidad de reemplazo tanto en armado como al momento de comprarla.

## CAPÍTULO IV

### DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

El proyecto se desarrolló mediante el uso de fases. Son 3 en total, en las que se buscó un desarrollo más rápido y preciso del banco de pruebas, en donde se evaluaron los parámetros de diseño desde el inicio del flujo de aire, hacia el final. En cada fase se ve enfocado cada uno de los elementos principales del banco de pruebas, al igual que con su criterio de diseño referente a las variables necesarias, como justificaciones referentes al cálculo de estas.

#### 4.1 Partes

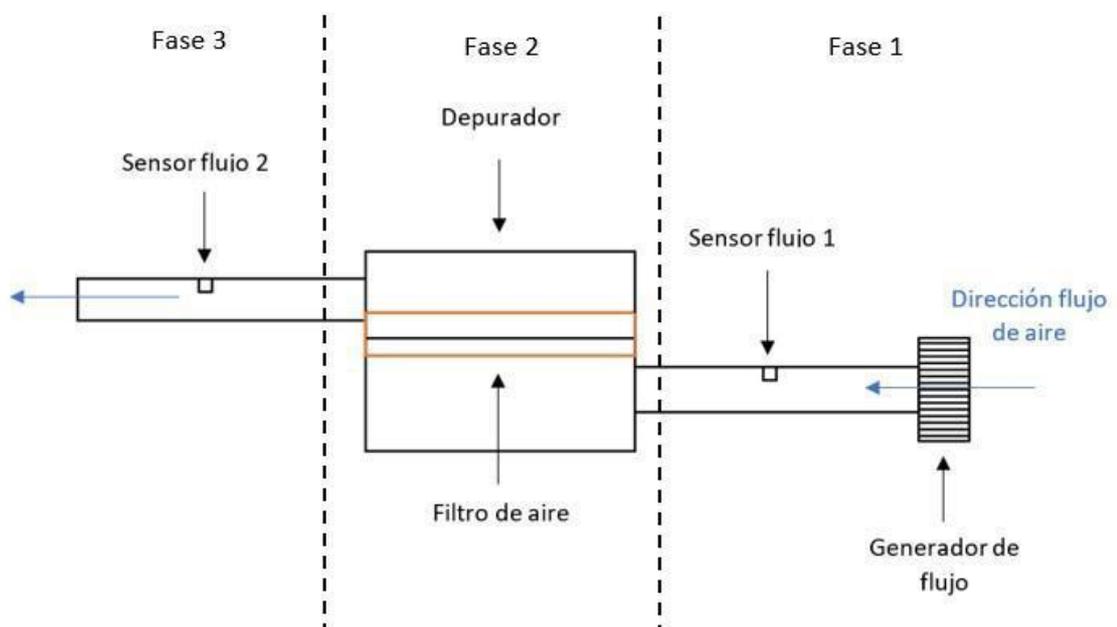


Figura 32. Esquema de Banco de Pruebas. Autores

### **4.1.1 Fases.**

#### ***4.1.1.1 Fase 1.***

Esta fase se concentra en el diseño y cálculo del flujo de aire necesario para el banco de pruebas mida la eficiencia del filtro cónico parámetros de flujo similares al de funcionamiento del vehículo, es decir determinar los valores de flujo preestablecidos por la normativa para obtener una medición correcta y precisa de acuerdo con el volumen ingresado al motor.

#### ***4.1.1.2 Fase 2.***

Esta fase habla del depurador de aire, en el cual se van a instalar los distintos filtros a evaluar su eficiencia, también se detalla el comportamiento del aire específicamente en su propiedad de viscosidad dinámica, al igual que se detalla el comportamiento que tendrá el fluido dentro del depurador.

#### ***4.1.1.3 Fase 3.***

En esta fase se encuentra el cálculo de las tuberías utilizadas en el banco de pruebas. Se realizó el cálculo en base a los volúmenes de medición previamente establecidos y con las medidas de las tuberías a utilizar para calcular las velocidades de aire necesarias para tener los mismos valores de flujo, siguiendo el principio de conservación de la masa.

## **4.2 Diseño Fase 1**

### **4.2.1 Diseño generador de flujo.**

Es el encargado de producir el efecto de succión que se da en el funcionamiento normal del motor, este va conectado a la salida del depurador después de haber pasado por el filtro.

Consiste en una turbina, la cual absorbe aire por el centro y lo expulsa a través de una boquilla al exterior, lo único que se debe mantener es el flujo correcto como en el que se da en el motor. Para el diseño del generador de flujo es necesario tomar en cuenta el sentido que tiene el aire, es decir que empiece antes del depurador y apunte hacia el filtro, una vez pasado esto llegue hacia la admisión donde se encontraría la mariposa. Es justamente en este tramo donde se encuentran comúnmente los sensores del motor ya sea de tipo MAP o MAF que miden ya sea la depresión o el flujo que atraviesa por esta parte.

Para dimensionar de manera correcta el flujo necesario aproximado que requiere un motor necesitamos conocer el caudal que aspira en los dos regímenes tanto en ralentí como en 2500 rpm siendo los dos los estados de pruebas determinados por la normativa.

Para el cálculo de flujo aproximado se usa la siguiente fórmula (Widman International, 2018):

$$\frac{\text{Flujo de aire} \times \text{Cilindrada total}}{\text{Revoluciones por minuto} \times \text{Eficiencia volumétrica}}$$

[Ec.17]

En donde:

- : Flujo de aire en ft<sup>3</sup>/min
- : Cilindrada total en in<sup>3</sup>
- : Revoluciones por minuto a las que se va a encontrar el motor
- : Eficiencia volumétrica

Por ejemplo, un motor atmosférico a 2000 RPM de 3000cc tendrá un CFM de 2400 lt/min a esas 2000 RPM.

El único parámetro aproximado de la fórmula previa es la eficiencia volumétrica, la cual por los filtros de los modelos de vehículos que se van a probar es aproximadamente de 0.8 para un motor a gasolina sin turbo. Con la aplicación de la fórmula tenemos los siguientes valores tanto para ralentí como para 2500 rpm.

$$\begin{aligned}
 i &= \frac{97.64^3 \times 750 \times 0.8}{\frac{3456}{3}} \\
 &= 480 \quad \frac{f = 16.95}{3} \\
 2500 &= \frac{97.64^3 \times 2500 \times 0.8}{\frac{3456}{3}} \\
 &= 1600
 \end{aligned}$$

Los valores de flujo de aire que nos debe brindar el generador tienen que ser tanto 480 lt/min y 1600 lt/min.

La elección para utilizar es una sopladora de aire eléctrica, la cual puede brindarnos ambos flujos de una manera constante mientras se realizan las mediciones en el banco de pruebas.

Tabla 12  
*Especificaciones sopladora Makita UB1101*

Especificación	Valor
Caudal de aire	0-2.8 m <sup>3</sup> /min
Potencia	600 W
Velocidad sin carga	0-16000 rpm
Peso	1.9 kg

Recuperado de (Makita, 2019)

## 4.3 Diseño Fase 2

### 4.3.1 Diseño depurador.

El depurador es el recipiente que tienen los motores de los automóviles en donde se inserta el filtro de aire, este tiene como función permitir que el paso de aire al filtro se dé solamente a través del conducto de entrada, estos están diseñados en diferentes formas, siendo principalmente para filtros de forma plana rectangular, en este caso va a ser el recipiente en donde mediante distintos adaptadores podremos insertar los filtros de diferentes marcas para su evaluación el banco de pruebas.

La selección del depurador fue en base a los modelos más comercializados en el país como se citó previamente, cabe señalar que las pruebas de los vehículos a realizar poseen una cilindrada de 1600 cc. los cuáles han sido más vendidos en proporción con los del resto de vehículos. La elección del depurador se debió principalmente con la facilidad para poder introducir los distintos filtros mediante el uso de adaptadores ya que sus dimensiones permiten filtros de varias marcas y vehículos comparados con otros.

### 4.3.2 Adaptadores de distintos modelos

Para la construcción de los distintos adaptadores fue necesario tomar en cuenta ciertos parámetros como son que la altura a la cual se encuentra sea la misma que tendríamos con el filtro original para no cambiar el comportamiento del flujo dentro del depurador, otra de las cosas a tomar en cuenta fue la rigidez de los materiales a utilizar para que este no se pandee y pierda estanqueidad en las distintas pruebas por último se tomó en cuenta que estos tengan las dimensiones y forma adecuada para para sellar tanto con el depurador como con el filtro.

Para esto se decidió crear dos placas para cada filtro con la forma y dimensiones del depurador en su parte exterior, esta es la misma que la del filtro de aire del vehículo Chevrolet Sail, una vez que se cortó 5 pares de adaptadores para los 5 filtros diferentes se realizó el diseño de cada uno de los filtros en la parte interior de cada uno de ellos. Una vez realizado esto se procedió a hacer los cortes con un cortador de plasma y se procedió a rectificar los bordes con un esmeril circular.

Por último, para realizar el sello entre los adaptadores y el depurador se eligió una esponja de alta densidad de 2 mm de espesor para que compensara cualquier irregularidad tanto en las bases del depurador como en los adaptadores que van en la parte superior e inferior. A continuación, se presentan los adaptadores de cada uno de los modelos con su respectivo filtro.

#### **4.3.2.1 Chevrolet Aveo.**

En el siguiente grafico podemos observar una vista superior del filtro sobre el adaptador y a su lado como el adaptador cubre la zona de sellamiento del filtro, este filtro posee un cuerpo plástico rígido con un caucho en su filo exterior encargado de crear el sellamiento. En este caso la forma interna del adaptador es similar a un rectángulo con la diferencia que una de sus esquinas tiene un corte semi circular lo mismo ocurre en uno de sus lados con dos cortes.



*Figura 33.* Adaptador para filtro de Chevrolet Aveo. Autores

#### **4.3.2.2 Kia Cerato.**

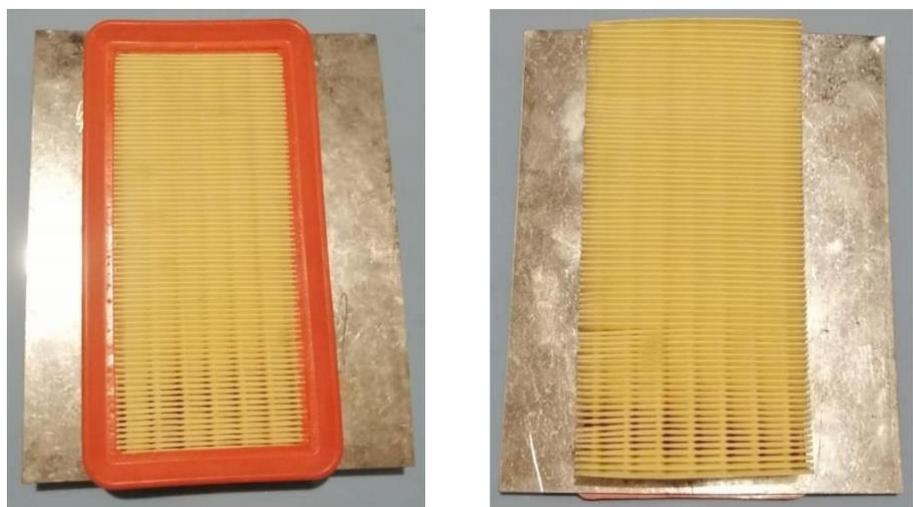
En el siguiente grafico podemos observar una vista superior del filtro sobre el adaptador y a su lado como el adaptador cubre la zona de sellamiento del filtro, este filtro posee un cuerpo plástico rígido con un caucho en su filo exterior encargado de crear el sellamiento. En este caso la forma interna del adaptador es similar a un rectángulo con sus vértices ligeramente redondeados.



*Figura 34.* Adaptador para filtro de Kia Cerato. Autores

#### **4.3.2.3 Hyundai Accent.**

En el siguiente grafico podemos observar una vista superior del filtro sobre el adaptador y a su lado como el adaptador cubre la zona de sellamiento del filtro, este filtro posee un cuerpo flexible que además se encarga de crear el sellamiento. En este caso la forma interna del adaptador es similar a un rectángulo con sus vértices ligeramente redondeados.



*Figura 35.* Adaptador para filtro de Hyundai Accent. Autores

#### **4.3.2.4 Toyota Corolla.**

En el siguiente grafico podemos observar una vista superior del filtro sobre el adaptador y a su lado como el adaptador cubre la zona de sellamiento del filtro, en este caso se observa que el cuerpo del filtro se encuentra constituido por el material filtrante mismo que es fibra sintética, la cual se encuentra más comprimida y compactada hasta volverse semirrígida. En este caso la forma interna del adaptador es similar a un rectángulo con sus vértices redondeados.



*Figura 36. Adaptador para filtro de Toyota Corolla. Autores*

#### **4.3.2.5 Nissan Tiida.**

En el siguiente grafico podemos observar una vista superior del filtro sobre el adaptador y a su lado como el adaptador cubre la zona de sellamiento del filtro, este filtro posee un cuerpo flexible, con un soporte metálico en su parte inferior, su parte flexible se encarga además del sellamiento. En este caso la forma interna del adaptador es similar a un rectangular.



*Figura 37.* Adaptador para filtro de Nissan Tiida. Autores

#### **4.3.3 Viscosidad despreciable.**

Utilizando la Ec.7:

El aire es un fluido newtoniano, y como tal presenta una proporcionalidad entre su esfuerzo de cizalla y deformación. Por lo cual el comportamiento que tenga basado en su viscosidad se dará dentro de las tuberías del banco de pruebas. Sin embargo, esta viscosidad es muy despreciable como se va a exponer a continuación.

Tabla 13  
 Viscosidad dinámica del aire con respecto a temperatura

Temperatura (°C)	Viscosidad dinámica (Pa*s)
0	$1.72 \times 10^{-5}$
10	$1.77 \times 10^{-5}$
20	$1.81 \times 10^{-5}$
30	$1.86 \times 10^{-5}$

Recuperado de: (Mott, Mecánica de Fluidos, 2006)

Con estos valores en perspectiva se observa que el esfuerzo al ser proporcional a la viscosidad dinámica este valor va a ser muy pequeño para el caso del aire, por lo que para el enfoque del diseño de tuberías e igualmente en el diseño del depurador no se toma en cuenta la viscosidad del aire como un parámetro que vaya a afectar en el funcionamiento.

#### 4.3.4 Forma depurador.

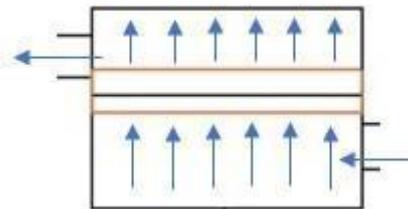


Figura 38. Esquema flujo de aire. Autores

En la Figura 38 se indica como se produce el movimiento del aire dentro del depurador de un vehículo y lo mismo sucede con el banco de pruebas, la razón del espacio entre el filtro y la parte superior e inferior de este es para que el aire debido a sus propiedades pueda expandirse y se distribuya a lo largo de todo el filtro. Esto también en el funcionamiento del depurador del motor sirve para decantar el agua y partículas grandes que ingresa por la toma

de aire, con el adiconado de tener un agujero para el drenaje del agua. Estas dimensiones no son fijas, dependen del tamaño del filtro del vehículo.

#### 4.3.5 Comportamiento fluido.

Para conocer el comportamiento del fluido aplicaremos el número de Reynolds, en este caso el depurador al no ser de forma circular se puede utilizar un diámetro equivalente usando el área de este y el perímetro mojado.

$$\begin{aligned}
 &= \cdot h = (0.247) \cdot (0.196)^2 \\
 &= 0.0481 \\
 &= + \quad +h+h \\
 &= 0.886 \\
 &4 \cdot \text{---} \quad - 0.2172
 \end{aligned}$$

[Ec.18]

Reemplazando este dato y utilizando valores de viscosidad dinámica y densidad del aire para diferentes temperaturas se tienen los siguientes resultados:

Tabla 14  
Comportamiento fluido ralenti 750 rpm

Temperatura (°C)	(Pa*s)	(kg/m <sup>3</sup> )	N <sub>R</sub>	Comportamiento
0	1.72 x10 <sup>-5</sup>	1.292	50903.59	Turbulento
10	1.77 x10 <sup>-5</sup>	1.247	47742.77	Turbulento
20	1.81 x10 <sup>-5</sup>	1.204	45077.76	Turbulento
30	1.86 x10 <sup>-5</sup>	1.164	42408.65	Turbulento

Tabla 15  
Comportamiento fluido 2500 rpm

Temperatura (°C)	(Pa*s)	(km/m <sup>3</sup> )	N <sub>R</sub>	Comportamiento
0	1.72 x10 <sup>-5</sup>	1.292	169841.81	Turbulento
10	1.77 x10 <sup>-5</sup>	1.247	159295.58	Turbulento
20	1.81 x10 <sup>-5</sup>	1.204	150403.68	Turbulento
30	1.86 x10 <sup>-5</sup>	1.164	141498.09	Turbulento

#### 4.4 Diseño Fase 3

##### 4.4.1 Diseño de tuberías.

Las tuberías utilizadas son de 2 ¼”, la selección se produjo principalmente por las dimensiones que son en promedio utilizadas en la conexión de las tuberías de admisión de los vehículos.

Una parte muy importante en la que forma parte las tuberías es en el cálculo del flujo que las atraviesa, esto debido a que debemos determinar correspondan con los calculados previamente a 750 rpm y 2500 rpm. Para esto usaremos la fórmula para el cálculo de caudal y

obtener la velocidad de aire que debemos tener en la tubería para esos regímenes, esto mediremos con la ayuda de un anemómetro.

$$750 = \frac{0.006}{4 \cdot (0.05716)^3} \cdot 3.12$$



Figura 39. Medición de velocidad de aire a ralentí. Autores

$$2500 = \frac{10.41 \times 3}{1000}$$



Figura 40. Medición de velocidad de aire a 2500 rpm. Autores

## 4.5 Diseño de Electrónica

### 4.5.1 Pines Arduino.

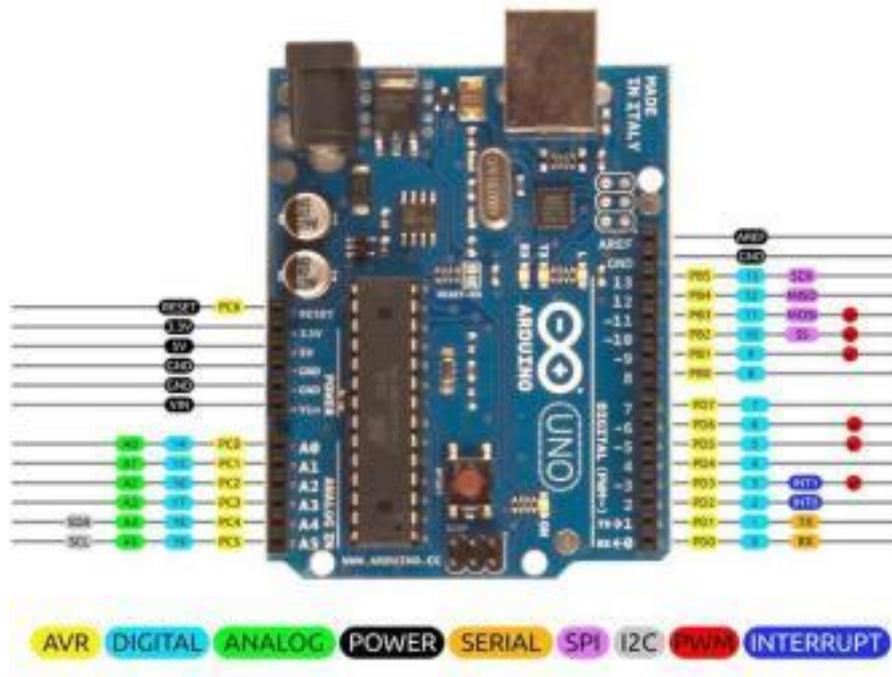


Figura 41. Pines Arduino y su función. (Arduino, 2014)

Si bien la placa cuenta con varias funciones y varios pines con diferentes características y funciones, los pines a utilizar en la aplicación del banco de pruebas son los siguientes:

Pines 2 y 3: Son pines de entrada de señales digitales, pero en el caso de la placa Uno también funcionan como pines de interrupción, esto servirá para el banco de pruebas ya que los sensores utilizados al ser de tipo Hall estos pines se encargarán de leer el cambio de la señal digital dado por la rotación del sensor.

Pines de 5V y GND: Estos dos pines son usados como alimentación de los sensores, al igual que la pantalla que mostrará la eficiencia de los filtros.

Pines 12,11,7,6,5,4: Son los pines utilizados para el correcto de funcionamiento de la pantalla LCD, al igual que el control de su brillo.

#### 4.5.2 Sensores.

##### *Sensor de flujo*

Se encargan de transformar el flujo de caudal de aire que circula a través de ellos en una variable eléctrica que es interpretada por un controlador electrónico, en este caso Arduino.

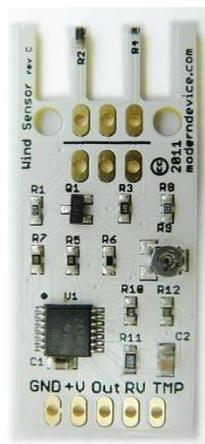


Figura 42. Figura del sensor. Modern Device, 2020

##### 4.5.2.1 Especificaciones del Sensor.

Tabla 16  
Especificaciones del sensor

Dimensiones	1.73 x 4.04 x 0.64 cm
Voltaje entrada	4-10V
Corriente suministrada	20 – 40 mA
Señal de Salida	Análoga
Rango de medida	0-60 mph

Recuperado de: (Modern Device, 2020)

#### **4.5.2.2 Pines del sensor.**

##### GND

Se conecta al GND de la placa Arduino o a la línea del Protoboard puesta a tierra. +V

Se conecta al suministro positivo de la placa Arduino, en este caso esta es de 5V, pudiendo aguantar el sensor hasta 10V. Ya que el sensor funciona con el principio de

“hilo caliente” se recomienda que la fuente sea regulada.

##### RV

Es usado como salida de la señal del sensor hacia la placa Arduino, este va conectado a uno de los pines que procesará la velocidad del viento y procederá al cálculo del caudal

##### TMP

Es un termistor, el cuál mide la temperatura ambiente, esta se usa para el correcto cálculo de la velocidad tomada como cero en la programación, este pin también va conectado a uno de entrada de la placa Arduino.

## **4.6 Diseño de Software**

### **4.6.1 Código del programa.**

El código inicia con la declaración de variables, en donde se dan nombres a los distintos datos para el cálculo dentro del programa. Posteriormente se establece el formato de la plantilla, con los parámetros de la velocidad de lectura y las columnas que se tendrá en esta, también se da la orden de encendido a la pantalla LCD; posterior a esto, se procede a la

lectura de señales y el procesamiento inmediato de cada una, a la vez que se da orden de su registro en Excel y la impresión del promedio de medidas en la pantalla LCD.

```

#include <LiquidCrystal.h>
int contador =0;
const int rs = 12, en = 11, d4 = 7, d5 = 6, d6 = 5, d7 = 4;
LiquidCrystal lcd(rs, en, d4, d5, d6, d7);
int pinVV1 = 1;
int pinTMP = 0;
int pinTMP2 = 3;
int pinVV2 = 2;
float average;
float average1;
int j=1;
const float Ajustecero1 = .04;
const float Ajustecero2 = .04;
int TMP;
int TMP2;
float RV1;
float RV2;
float RVVolt1;
float RVVolt2;
unsigned long tiempo;
int TempCtimes100;
int TempCtimes200;
float ceroViento;
float ceroViento2;
float ceroVientoVolt1;
float ceroVientoVolt2;
float Velocidad_MFH1;
float Velocidad_MFH2;
float Caudal_MS1;
float Caudal_MS2;
float Q1;
float Q2;
float efic;
float perd;

void setup() {
  Serial.begin(57600);
  Serial.println("start");
  Serial.println("CLEARDATA");
  Serial.println("LABEL,Time,Sensor 1,Sensor 2,Eficiencia (%),Perdida (%)");
  Serial.println("RESETTIMER");
  lcd.begin(16, 2);
  pinMode(pinVV1, INPUT);
  pinMode(pinVV2, INPUT);
  pinMode(pinTMP, INPUT);
  pinMode(pinTMP2, INPUT);
  delay(10000);
}

void loop() {
  if(contador<30){
    if (millis() - tiempo > 1000 ){
      TMP = analogRead(pinTMP);
      TMP2 = analogRead(pinTMP2);
      RV1 = analogRead(pinVV1);
      RV2 = analogRead(pinVV2);
      RVVolt1 = (RV1 * 0.0048828125);
      RVVolt2 = (RV2 * 0.0048828125);
      TempCtimes100 = (0.005 * ((float)TMP * (float)TMP) - (16.862 * (float)TMP) + 9075.4);
      TempCtimes200 = (0.005 * ((float)TMP2 * (float)TMP2) - (16.862 * (float)TMP2) + 9075.4);
      ceroViento = -0.0006 * ((float)TMP * (float)TMP) + 1.0727 * (float)TMP + 47.172;
      ceroViento2 = -0.0006 * ((float)TMP2 * (float)TMP2) + 1.0727 * (float)TMP2 + 47.172;
      ceroVientoVolt1 = (ceroViento * 0.0048828125) - Ajustecero1;
      ceroVientoVolt2 = (ceroViento2 * 0.0048828125) - Ajustecero2;
      Velocidad_MFH1 = pow(((RVVolt1 - ceroVientoVolt1) /.2300) , 2.7265);
      Velocidad_MFH2 = pow(((RVVolt2 - ceroVientoVolt2) /.2300) , 2.7265);
      Caudal_MS1 = Velocidad_MFH1 * 0.44704*0.002565206*1000*60;
      Caudal_MS2 = Velocidad_MFH2 * 0.44704*0.002565206*1000*60;
      efic=Caudal_MS1*100/Caudal_MS2;
      perd= 100-efic;
      average = average + perd;
      average1=average/j;
      j=j+1;
      Serial.print("DATA,TIME,");
      Serial.print(Caudal_MS2), Serial.print(Caudal_MS1),Serial.print(efic),Serial.print(perd);
      Serial.println();
      contador=contador+1;
      tiempo = millis();
    }
  }
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Perdida Promedio");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print(average1);
  lcd.print(" % ");
}

```

Definición de variables y pines

Comunicación con Excel

Inicialización LCD y tiempo de inicio

Lectura de señales

Cálculo caudal (sensores)

Escritura en Excel

Escritura en pantalla

Figura 43. Código de Programa. Autores

#### 4.7 Diseño en la recopilación de datos cuantitativos

La interfaz utilizada para comunicar la placa Arduino con Excel fue creada por el usuario Net^Devil, esta plantilla es utilizada por su interfaz sencilla y una que no destina muchos recursos del computador sin sacrificar la precisión de los datos medidos, más adelante se especificará las partes de esta plantilla/interfaz. El banco de pruebas aparte de mostrar mediante la pantalla la eficiencia de los filtros, también analizará los datos gráficamente a través de una hoja Excel, esta hoja recibirá los datos del Arduino y realizará el cálculo de la eficiencia para posteriormente exhibirlos en una gráfica de dispersión, la cual también ya tendrá delimitado los rangos aceptables para que el filtro pase la prueba.

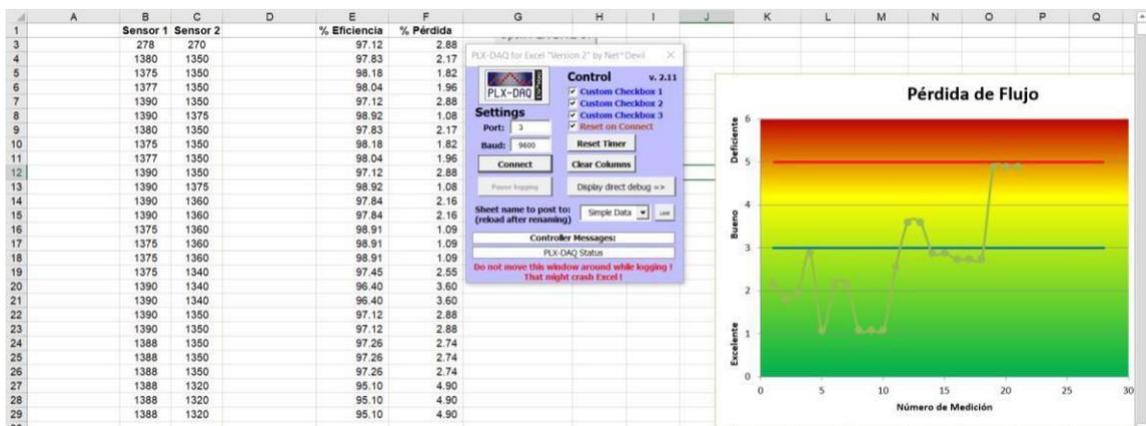


Figura 44. Plantilla Excel. Autores

La toma de datos se realiza en 30 segundos, en donde se tabulan las lecturas tanto del primer sensor, al igual que las del segundo; la eficiencia se calcula mediante la aplicación de la fórmula en ambas lecturas de datos, y también es calculada la pérdida de eficiencia; estos dos últimos parámetros son expresados en forma de porcentaje, pero únicamente es graficado el porcentaje de pérdida. Esto se debe a que la normativa nos indica que no debe superar el 5% de pérdida de flujo de aire producida por el filtro.

En la parte gráfica tenemos tres rangos: excelente, bueno y deficiente establecidos en base a la normativa, esta solamente indica el parámetro mínimo que debe tener el filtro para considerarse adecuado, mientras que un rango excelente es el que tendría máximo un 3% de pérdida de flujo, dejando finalmente el rango de bueno entre 3% y 5%.

#### **4.1.2 Funcionamiento.**

Se inserta el filtro a medir con su respectivo adaptador para que encaje dentro del depurador, una vez cerrado se inicia la medición. Se encenderá el generador de flujo y se lo mantendrá accionado manualmente hasta que se terminen de realizar las 30 mediciones, el generador comenzará a empujar el aire del ambiente simulando las condiciones de funcionamiento del motor, el generador dispone de dos modos de prueba, el uno simulando condiciones de flujo del motor en ralentí, y el otro modo simulando condiciones de flujo a 2500 rpm.

Sin importar el modo utilizado el procedimiento del funcionamiento es el mismo, una vez que inicia el funcionamiento se da un tiempo de 5 segundos para estabilizar las señales de los sensores de flujo, luego de esto por un tiempo de 30 segundos se toman los valores del sensor tanto del que se encuentra antes del filtro de aire y del que se encuentra después. Debido a que el filtro de aire sin importar su calidad siempre va a ser una restricción al paso de aire va a existir una diferencia entre la medición del sensor antes del filtro y después del filtro, esta diferencia va a ser los datos que se van a recopilar en esos 30 segundos, tiempo después del cual la placa calculará la diferencia entre los sensores y por medio de una pantalla LCD se indicará la pérdida de eficiencia promedio del filtro de aire en forma de porcentaje, mientras que en el caso del Excel este irá tabulando y graficando los datos cada segundo que se tiene de lectura.

## CAPÍTULO V

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 5.1 Procedimiento de Uso

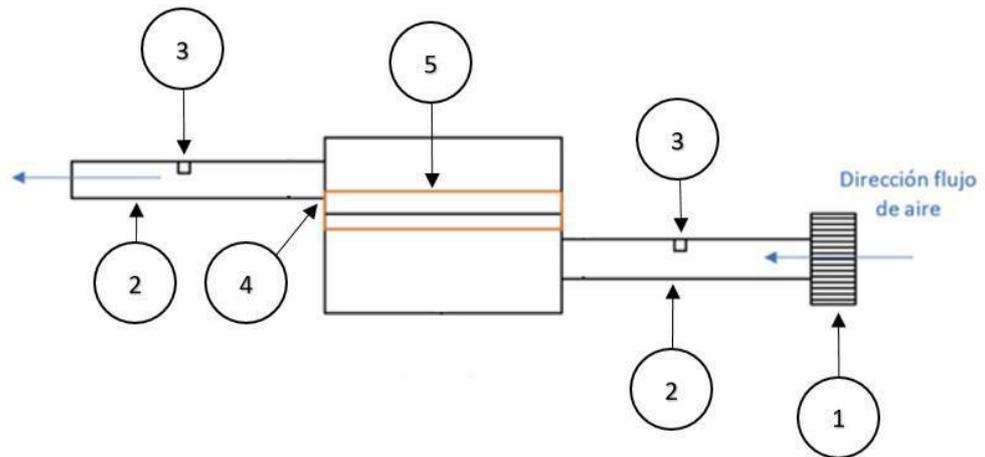


Figura 45. Parte Banco de pruebas. Autores

#### Componentes.

1. Generador de flujo
2. Tuberías
3. Sensores
4. Depurador
5. Adaptadores de filtros

#### Componentes electrónicos.

Pantalla

Controlador Arduino

Cable USB tipo A/B

Plantilla Excel

*Especificaciones*

Alimentación

Generador de flujo: 110 V

Controlador Arduino: 5V mediante USB tipo A/B

**Capacidad.**

Generador de flujo

Potencia: 600W

Caudal de aire: 0-2.8 m<sup>3</sup>/min

**5.2 Procedimientos específicos**

1.

Conectar a una fuente de 110V.

Seleccionar la velocidad de medición del generador.

Accionar el generador durante el tiempo que dura la medición sin alterar la velocidad.

2.

Revisar ajuste de abrazaderas.

Evitar obstrucciones del flujo.

3.

Revisar limpieza de sensor.

En caso de suciedad limpiar con aire comprimido.

4.

Revisar limpieza.

Determinar el filtro a medir.

Insertar filtro y asentarlos bien en la base.

Cerrar el depurador y ajustar vinchas.

Verificar el sellado correcto antes de realizar la medición.

5.

Seleccionar el adaptador correcto del filtro.

Colocar adaptador en el depurador.

Colocar filtro sobre el adaptador firmemente.

Cerrar el depurador y ajustar vinchas.

Verificar el sellado correcto antes de realizar la medición.

### **5.3 Procedimiento general**

1. Conectar el generador de flujo al toma corriente.
2. Conectar la placa Arduino a la computadora.
3. Abrir la plantilla Excel.
4. Insertar el filtro a medir (Colocar junto al adaptador de la marca en caso de necesitar).
5. Seleccionar velocidad de flujo.
6. Dar clic en “Connect” en la plantilla Excel.
7. Accionar el generador de flujo mediante el pulsador.
8. Mantener presionado hasta que se completen las 30 mediciones en el Excel. (1 medición por segundo).
9. Observar la gráfica indicando el desempeño del filtro.
10. En caso de necesitar realizar otra medida repetir proceso desde el 4° paso.

#### 5.4 Diagrama de flujo

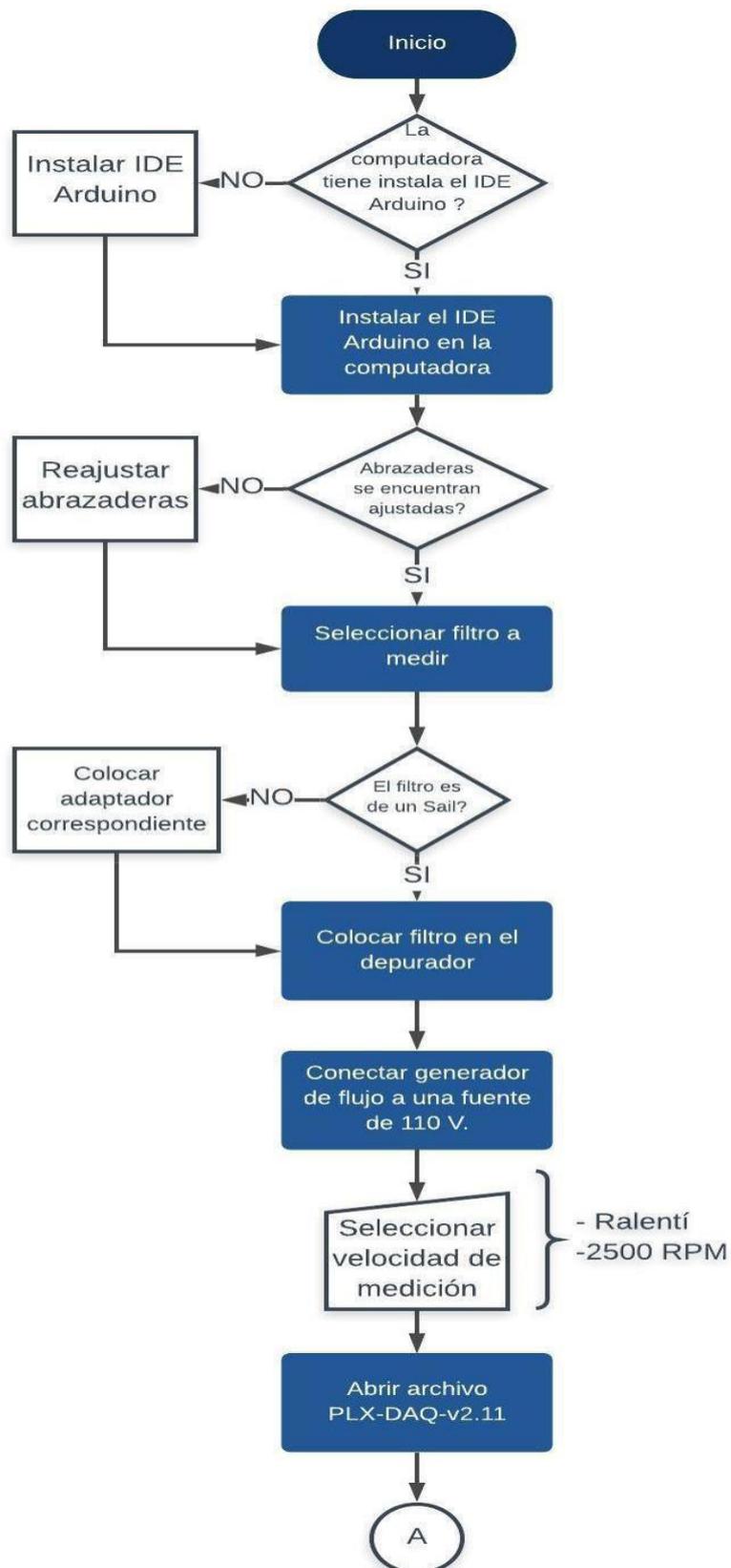






Figura 46. Diagrama de flujo de operación. Autores

## 5.5 Calibración Sensor

### 5.5.1 Calibración Sensor

“Simply put a glass over the sensor to block any breeze and adjust the pot for the desired zero level. We calibrate the sensors roughly for .6V of output at zero wind with a six volt supply, but you are free to calibrate as desired.” (Modern Device, 2020)

Parte de la selección de este sensor se dio por la facilidad de calibración al momento de adaptarlo al banco de pruebas. Para iniciar este proceso se conectan los pines de lectura de temperatura y viento al Arduino, una vez realizado esto se ejecuta la programación establecida por el fabricante en el IDE Arduino.

```

#define analogPinForRV 1
#define analogPinForTMP 0
const float zeroWindAdjustment = .2;
int TMP_Therm_ADunits;
float RV_Wind_ADunits;
float RV_Wind_Volts;
unsigned long lastMillis;
int TempCtimes100;
float zeroWind_ADunits;
float zeroWind_volts;
float WindSpeed_MPH;
void setup() {
  Serial.begin(57600);
  Serial.println("start");
  pinMode(A2, INPUT);
  pinMode(A3, INPUT);
  digitalWrite(A3, LOW);
}
void loop() {
  if (millis() - lastMillis > 200){
    TMP_Therm_ADunits = analogRead(analogPinForTMP);
    RV_Wind_ADunits = analogRead(analogPinForRV);
    RV_Wind_Volts = (RV_Wind_ADunits * 0.0048828125);
    TempCtimes100 = (0.005 * ((float)TMP_Therm_ADunits * (float)TMP_Therm_ADunits)) - (16.862 * (float)TMP_Therm_ADunits) + 9075.4;
    zeroWind_ADunits = -0.0006 * ((float)TMP_Therm_ADunits * (float)TMP_Therm_ADunits) + 1.0727 * (float)TMP_Therm_ADunits + 47.172;
    zeroWind_volts = (zeroWind_ADunits * 0.0048828125) - zeroWindAdjustment;
    WindSpeed_MPH = pow(((RV_Wind_Volts - zeroWind_volts) /.2300) , 2.7265);
    Serial.print("  WindSpeed MPH ");
    Serial.println((float)WindSpeed_MPH);
    lastMillis = millis();
  }
}

```

Figura 47. Código calibración. Modern Device, 2020

Previamente a ejecutar el programa se requiere que el sensor sea tapado por algún recipiente, con el fin de evitar que el viento le llegue y produzca una calibración a cero errónea.



Figura 48. Calibración cero del sensor. Autores

Una vez realizado este proceso se ejecuta el programa y se abre el monitor de serie, el cuál en caso de estar descalibrado nos mostrará unos datos de lectura como los de la Figura 48.

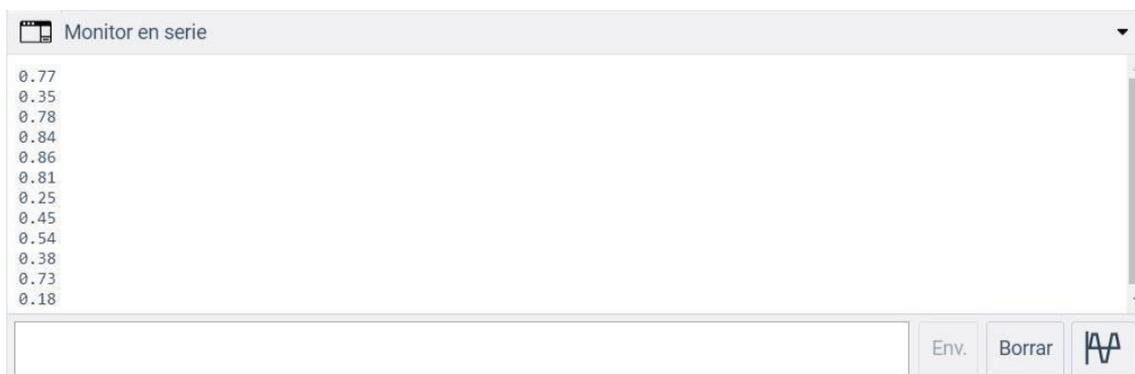


Figura 49. Monitor de serie sensor descalibrado. Autores

Si esto sucede, se procede a ajustar el potenciómetro de ajuste a cero con la ayuda de un destornillador pequeño tipo estrella, se ejecuta nuevamente el programa y mediante el giro se

observa si es que se acerca más los valores a cero lo más posible. Una vez que los valores sean lo más pequeños dejamos de variarlos y ya quedará calibrado el sensor.

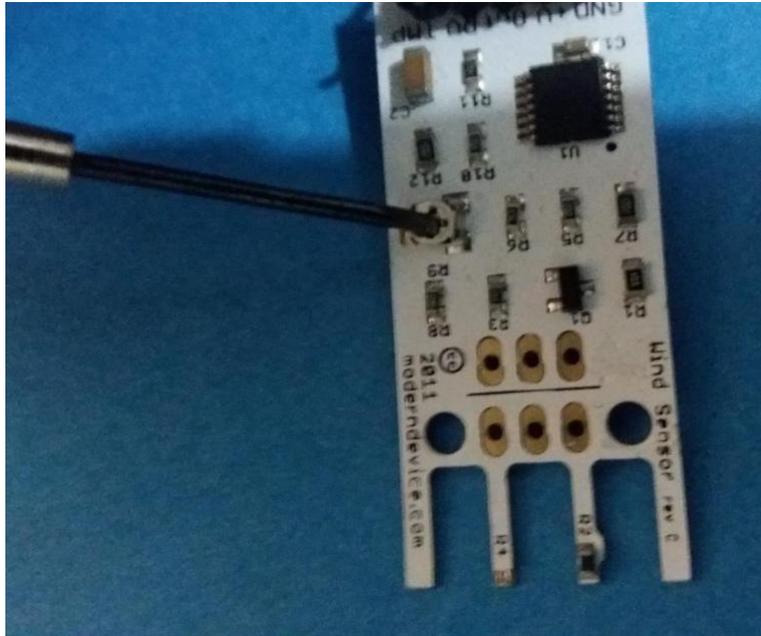


Figura 50. Ajuste a cero del sensor. Autores

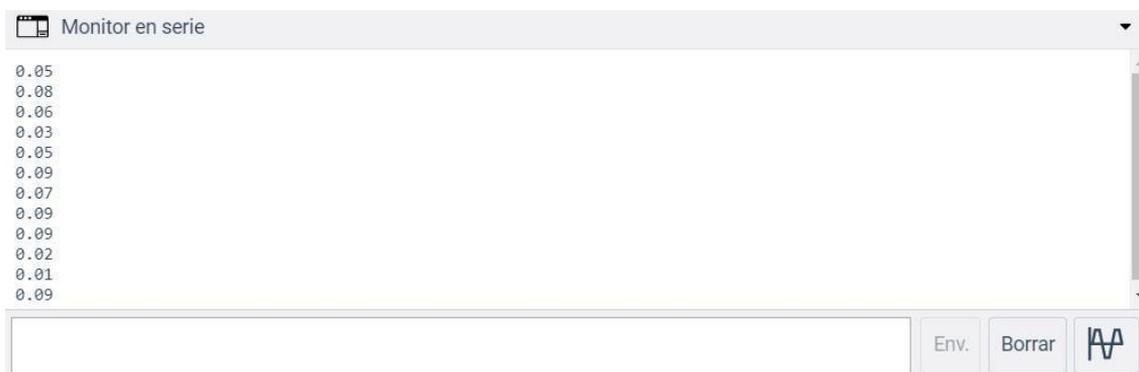


Figura 51. Monitor de serie sensor calibrado. Autores

## 5.6 Software

La siguiente plantilla consta de los siguientes elementos.

- 1) Se registra el tiempo de la medición realizada, una medición completa tiene 30 mediciones, en los cuales se realiza 1 por segundo.
- 2) Se registran los datos en lt/min del sensor que se encuentra después del filtro de aire.
- 3) Se registran los datos en lt/min del sensor que se encuentra antes del filtro de aire.
- 4) En esta columna se escribe el cálculo hecho por la placa Arduino de la eficiencia de filtrado en forma de porcentaje.
- 5) Se registra la pérdida de eficiencia del filtro medido en forma de porcentaje
- 6) Se ingresa el puerto de comunicación que tiene la placa Arduino, este número se lo puede ver igualmente en el IDE Arduino.
- 7) Se ingresa la velocidad de comunicación de la placa Arduino, este parámetro va en la programación, que en este caso se debe mantener en 57600.
- 8) Al dar clic en Connect se inicia el proceso de medición, e igualmente si se tenía una medición previa reinicia los datos y comienza una nueva.
- 9) Gráfica del desempeño del filtro, se registran los datos de la pérdida de eficiencia, se tienen las líneas límites de 2% y 5% para evaluar el desempeño.

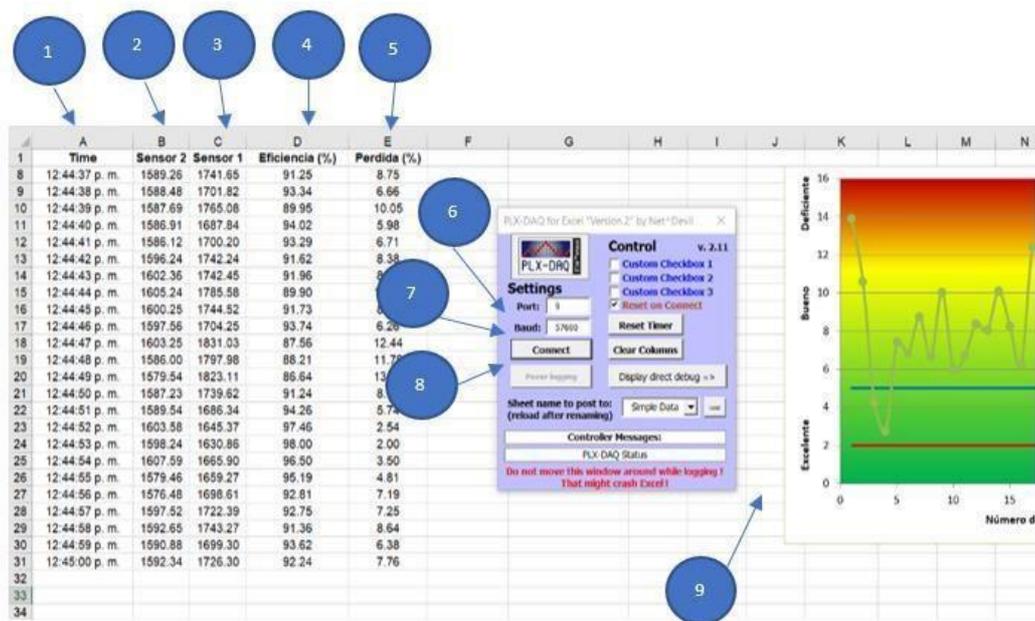
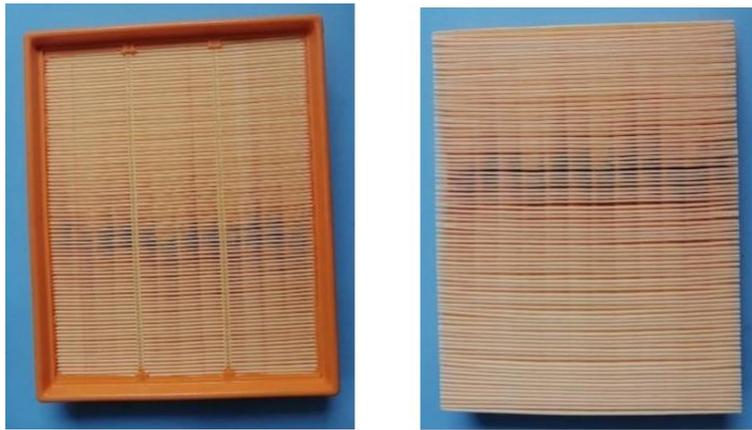


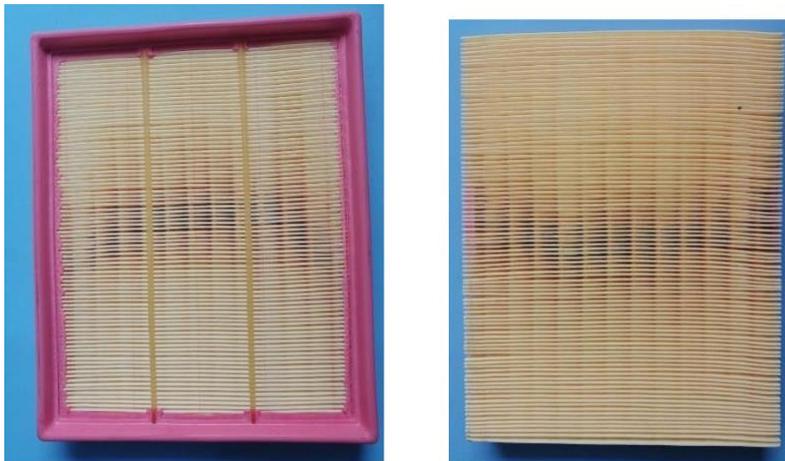
Figura 52. Interfaz Excel. Autores

## 5.7 Pruebas Individuales

Se realizaron distintas pruebas en filtros pertenecientes al vehículo Chevrolet Sail, estas se realizaron con el fin de evaluar la correcta medición por parte del banco de pruebas y sobre todo para garantizar mediciones estables mientras se realizaban las pruebas en el banco. Se tomaron filtros originales y de marca alterna, se tomaron un filtro nuevo, un filtro cambiado a los 5000 km y un filtro cambiado a los 10000 km.



*Figura 53.* Filtro de medición nuevo original. Autores



*Figura 54.* Filtro de medición nuevo alterno. Autores



*Figura 55.* Filtro de medición 5000 km original. Autores



*Figura 56. Filtro de medición 5000 km alterno. Autores*



*Figura 57. Filtro de medición 10000 km original. Autores*



*Figura 58. Filtro de medición 10000 km alterno. Autores*

Una vez realizado el proceso completo de medición en los 6 filtros, se procedió a comparar las dos gráficas tanto del filtro alterno como del filtro original en parejas por el kilometraje de uso del filtro que fueron a 0 km, a 5000 km y a 10000 km. Los datos que nos provee el banco de pruebas se presentan tanto en una tabla por cada segundo, así como en un gráfico donde se aprecia si estos valores se encuentran dentro del rango óptimo de funcionamiento estipulado por la normativa SAE J726.

### 5.8 Comparativa de Resultados

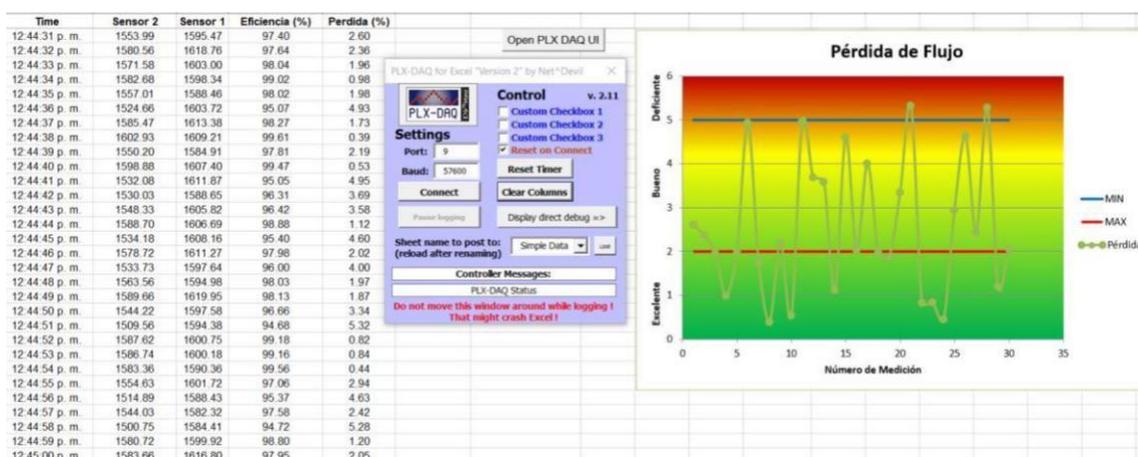


Figura 59. Prueba filtro nuevo original 2500 RPM. Autores

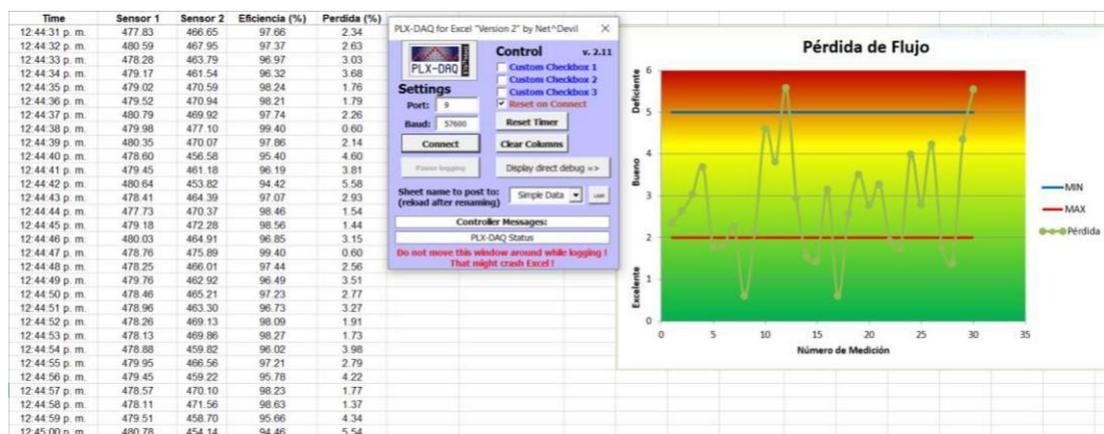


Figura 60. Prueba filtro nuevo original ralentí. Autores

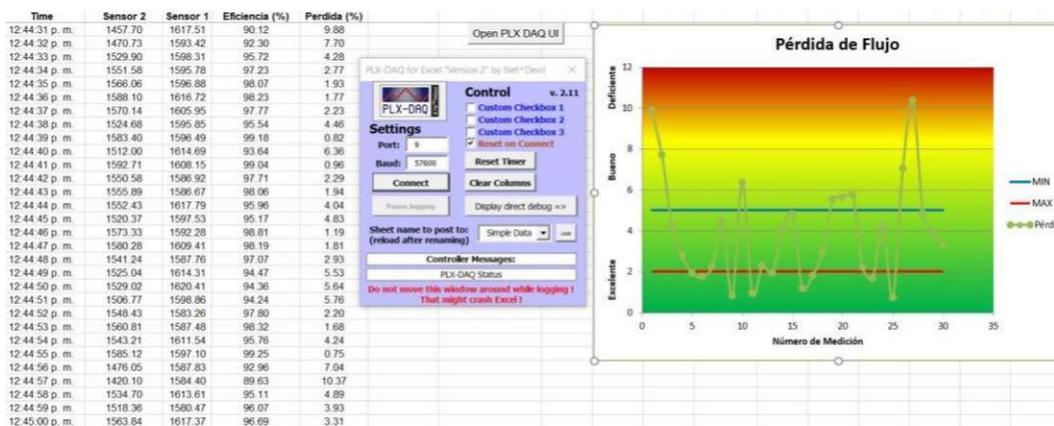


Figura 61. Prueba filtro nuevo alterno 2500 RPM. Autores

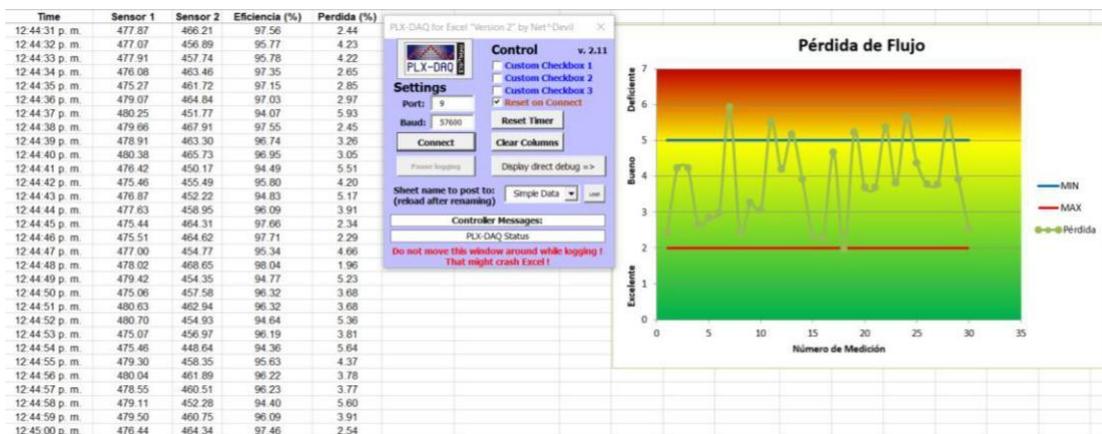


Figura 62. Prueba filtro nuevo alterno ralentí. Autores

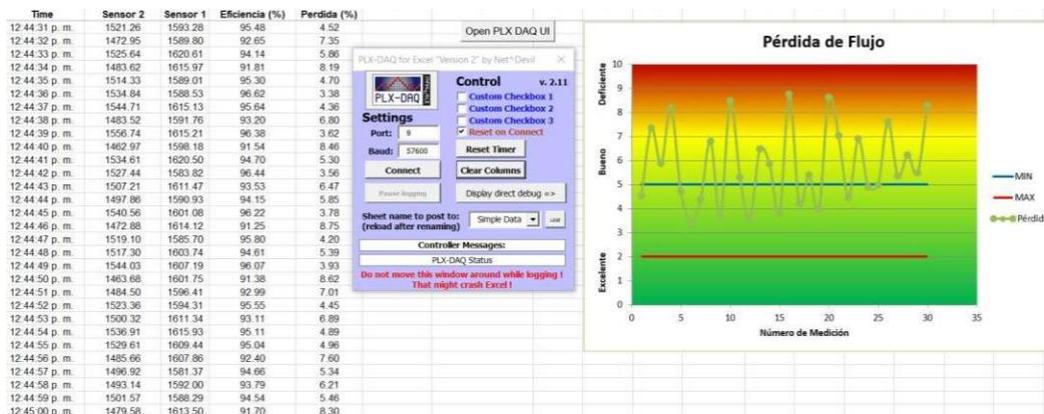


Figura 63. Prueba filtro 5000 km original 2500 RPM. Autores

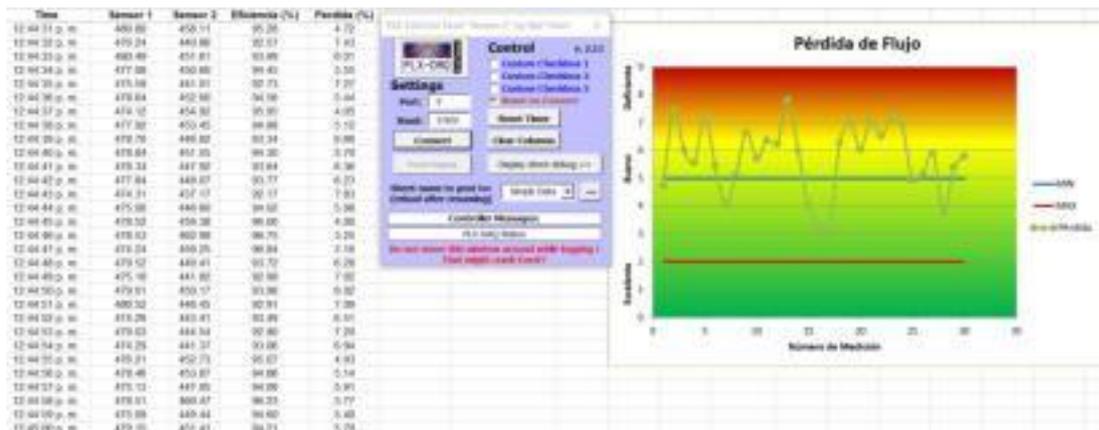


Figura 64. Prueba filtro 5000 km original ralentí. Autores

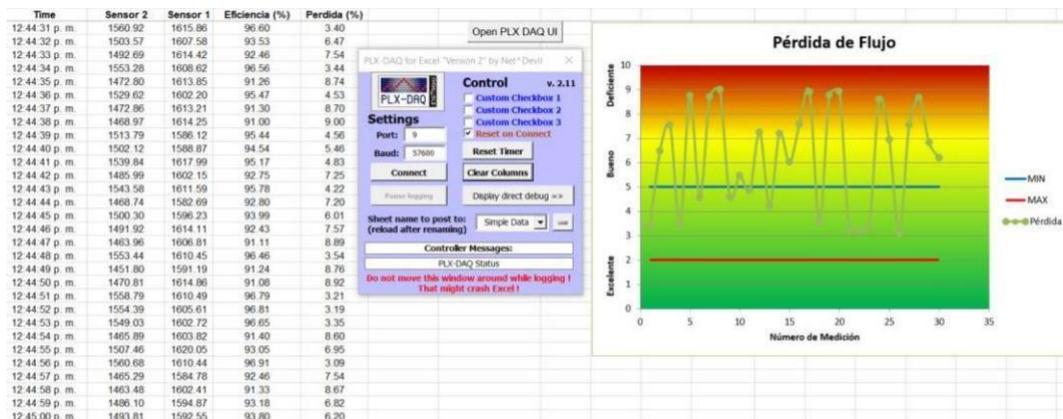


Figura 65. Prueba filtro 5000 km alterno 2500 RPM. Autores

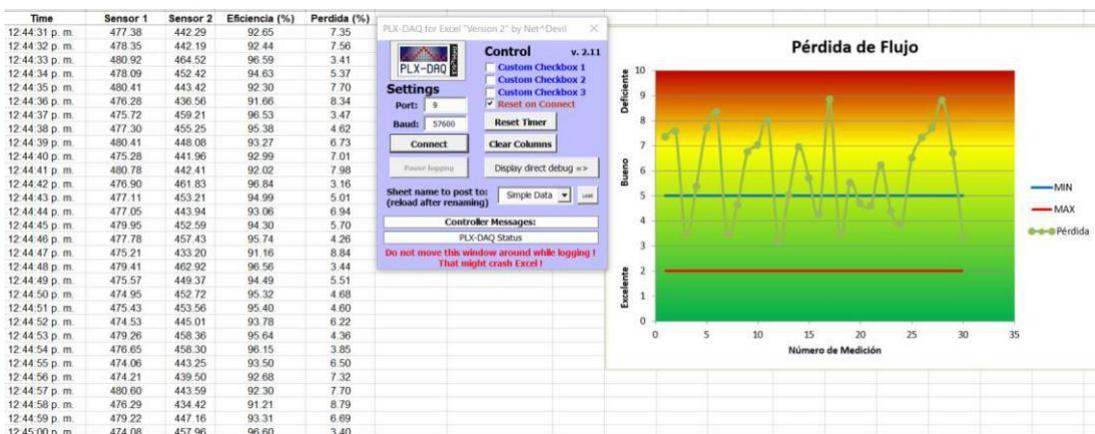


Figura 66. Prueba filtro 5000 km alterno ralentí. Autores

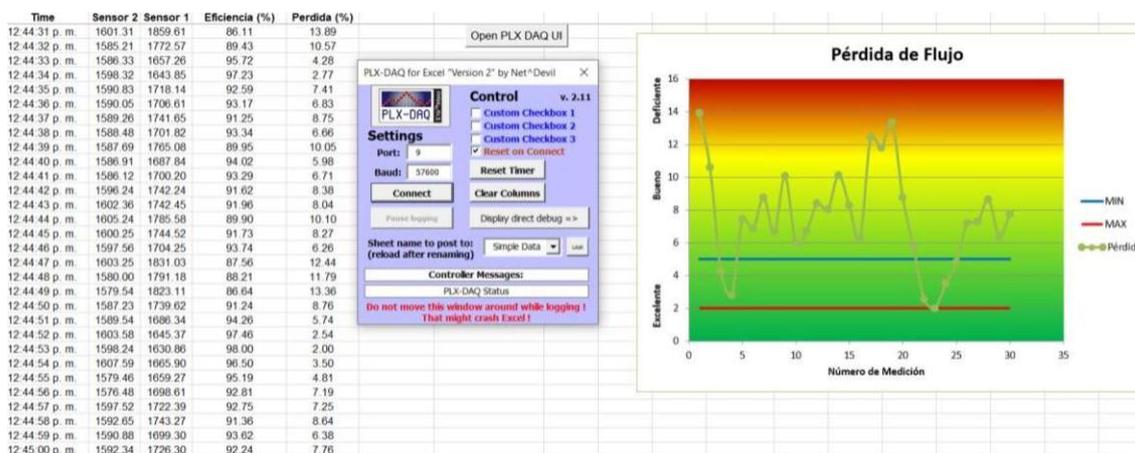


Figura 67. Prueba filtro 10000 km original 2500 RPM. Autores

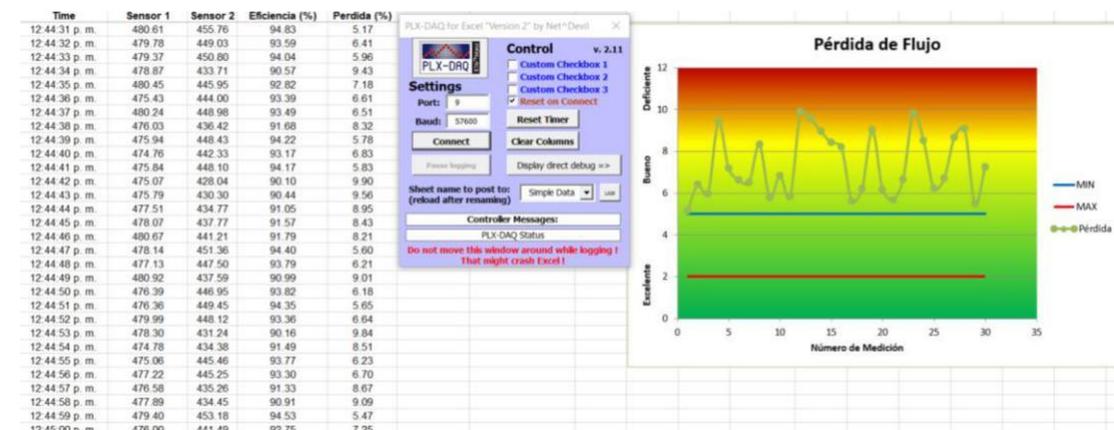


Figura 68. Prueba filtro 10000 km original ralentí. Autores

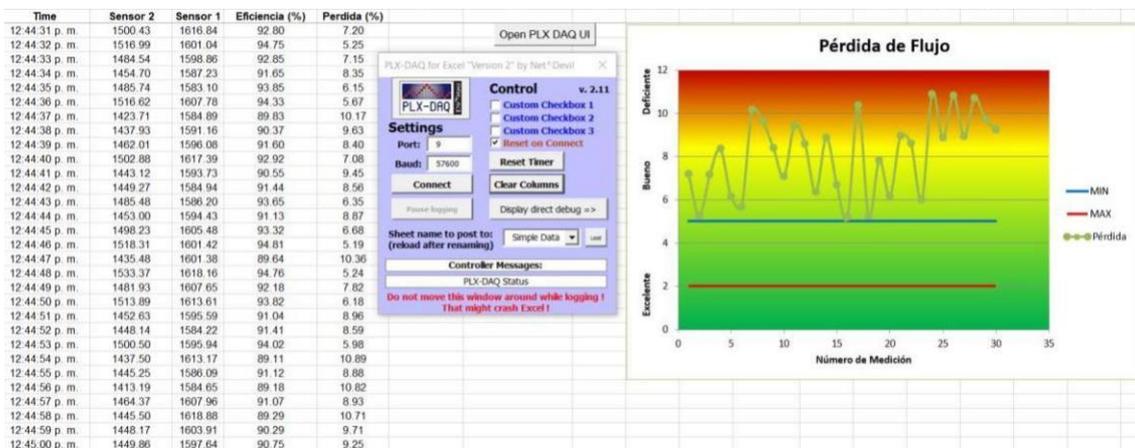


Figura 69. Prueba filtro 10000 km alterno 2500 RPM. Autores

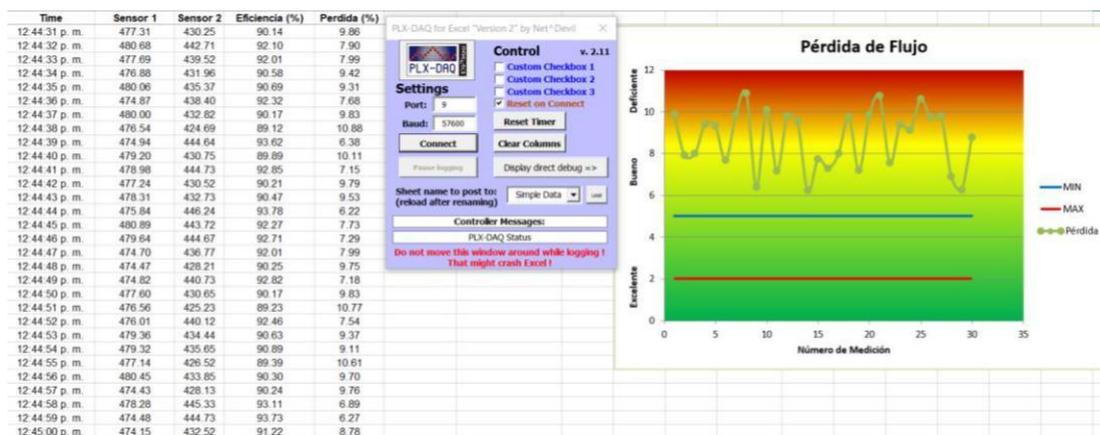


Figura 70. Prueba filtro 10000 km alterno ralentí. Autores

Tabla 17  
Comparativa pérdida eficiencia 2500 RPM (%)

	Filtro Nuevo	Filtro 5000 km	Filtro 10000 km
Original	2.88	5.81	7.57
Alterno	3.92	6.22	8.08

Tabla 18  
Comparativa pérdida eficiencia ralentí (%)

	Filtro Nuevo	Filtro 5000 km	Filtro 10000 km
Original	2.79	5.76	7.79
Alterno	3.85	6.20	8.69

## **5.9 Discusión de pruebas según variables**

Las variables medidas por el banco es la velocidad de aire, estas pueden brindar el caudal que pasa en un sensor como en otro, es por esto por lo que la variable medida y comparada es el caudal que atraviesa cada sensor; otra variable medida es la eficiencia de filtrado.

Si bien el término eficiencia es un parámetro de máquinas, en este caso se tomó desde el punto físico, en el cual se indica “la relación entre el trabajo que sale y el que entra” (Zambrano Orejuela, 2012).

Por lo cual el programa del banco de pruebas realiza un cálculo de la eficiencia entre las medidas obtenidas en los sensores, e igualmente realiza un cálculo de la pérdida de esta que es producida por el único elemento intermediario que puede quitar rendimiento al sistema, el cuál es el filtro.

## **5.10 Resultados**

La normativa nos establece un límite máximo de 5% como pérdida de eficiencia que sea producida por el filtro, y se evaluarán los resultados con respecto a estos conceptos.

Las mediciones confirman que más allá de la diferencia de marca, existe en cuestión un desempeño distinto entre un filtro nuevo, uno cambiado a los 5000 km y otro a los 10000 km, en función del parámetro de eficiencia medido por el banco, se observa que a partir de los 5000 km el filtro ya no se encuentra en un rango aceptable para su funcionamiento. Por esto la comparativa se realizará entre el filtro original y el alterno en los tres tipos de estado del filtro.

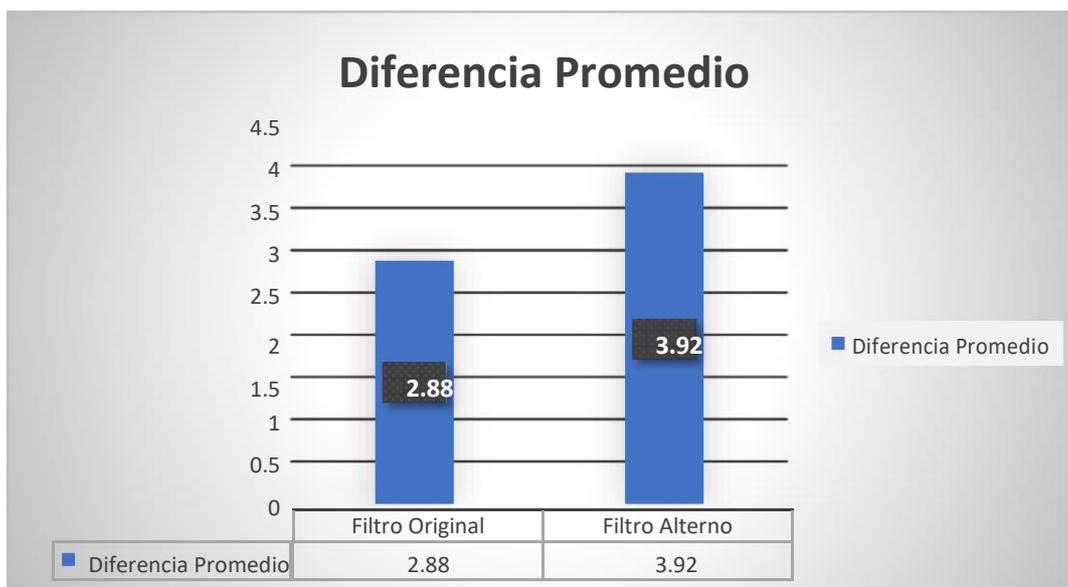


Figura 65. Comparativa desempeño filtro nuevo 2500 RPM. Autores

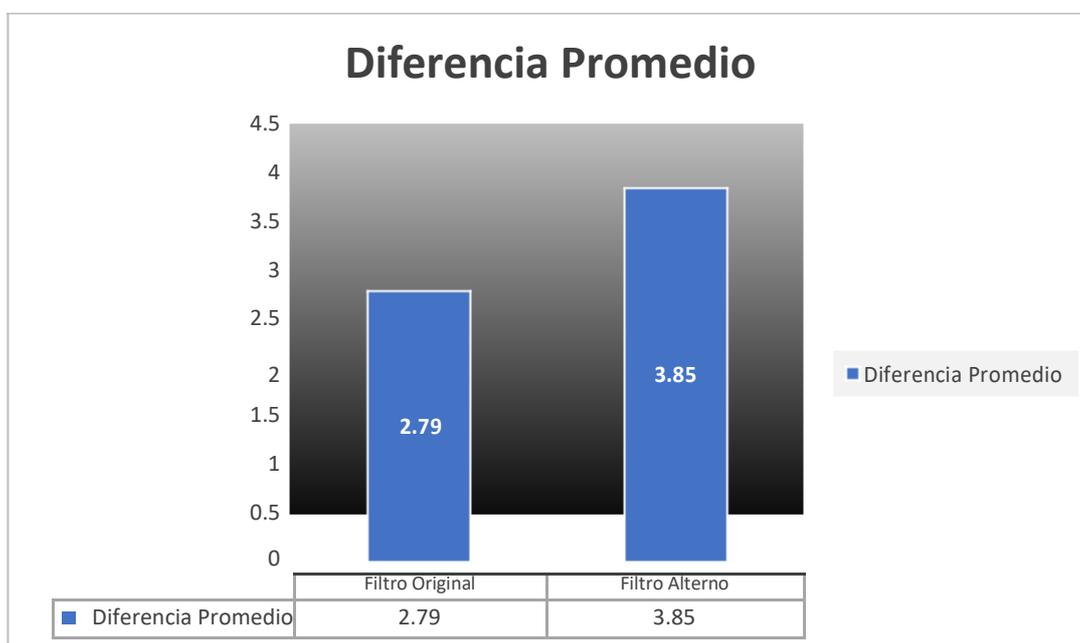


Figura 66. Comparativa desempeño filtro nuevo ralentí. Autores

El filtro alternativo presenta una pérdida de eficiencia de filtrado de 0.36 veces mayor con respecto al filtro de marca original, es decir que existe un 36% de mayor pérdida de filtrado en

el de marca alterna, sin embargo, ambos se encuentran dentro del rango bueno de desempeño que es entre 2% y el mínimo aceptable de 5%.

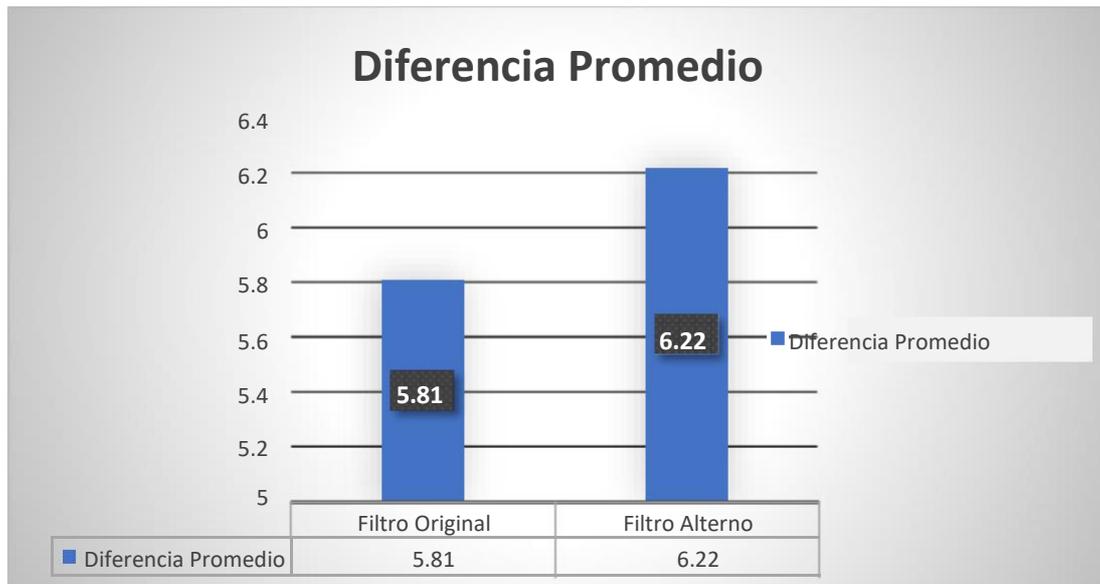


Figura 67. Comparativa desempeño filtro 5000 km 2500 RPM. Autores

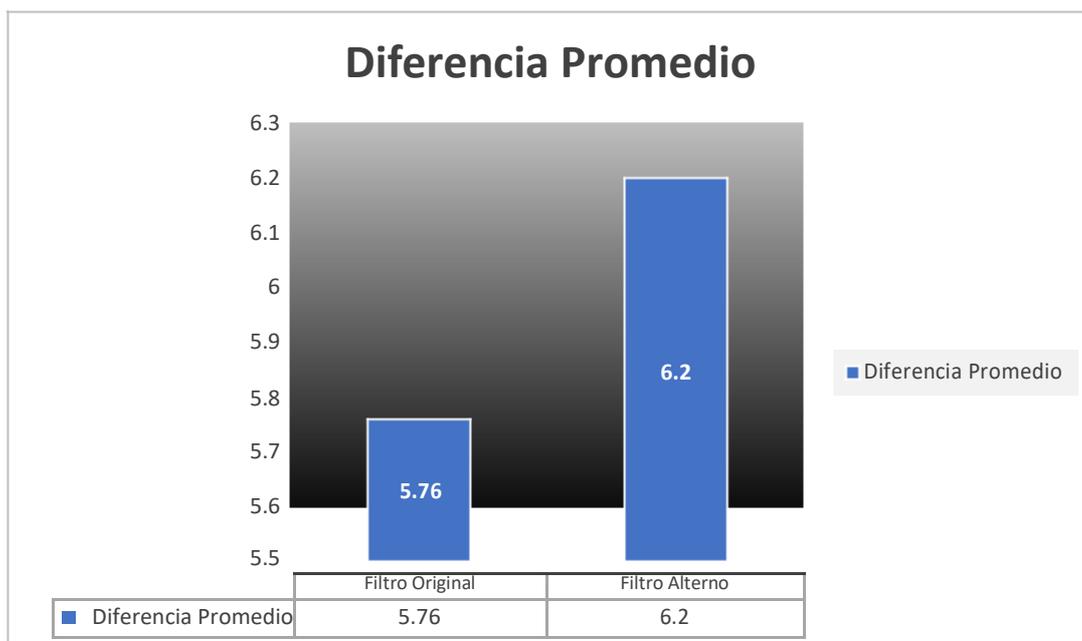


Figura 68. Comparativa desempeño filtro 5000 km ralentí. Autores

Se observa una diferencia nuevamente a favor del filtro original, pero en este caso esta se ha hecho más pequeña, siendo de 0.07 veces mayor la pérdida del filtro alternativo con respecto al original, e igual que en caso anterior el comportamiento general es el mismo, quedándose ambos fuera del rango aceptable de funcionamiento por un 16-24% respectivamente.

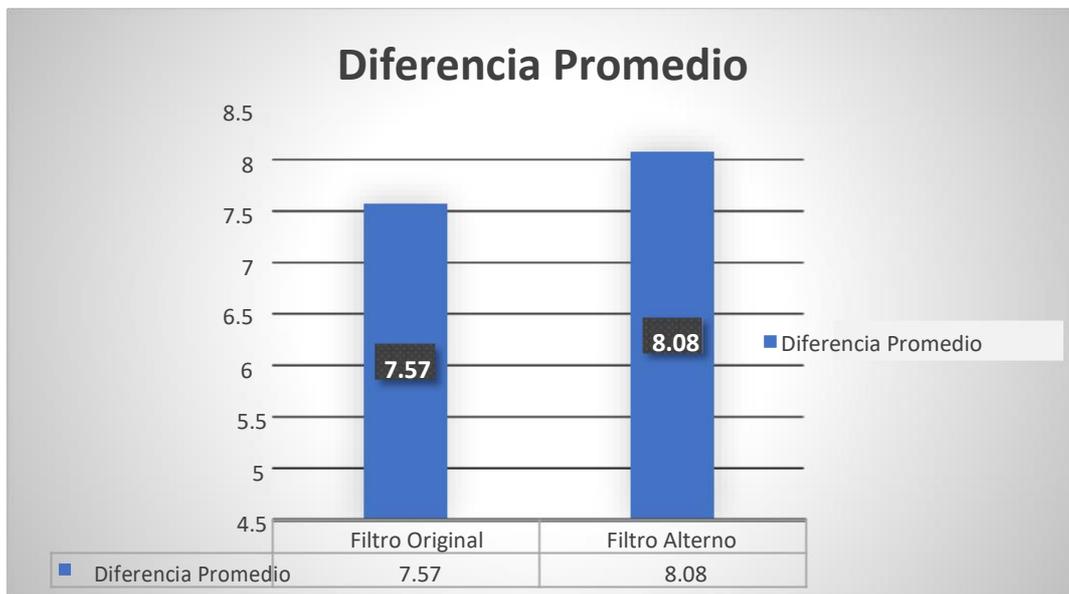


Figura 69. Comparativa desempeño filtro 10000 km. Autores

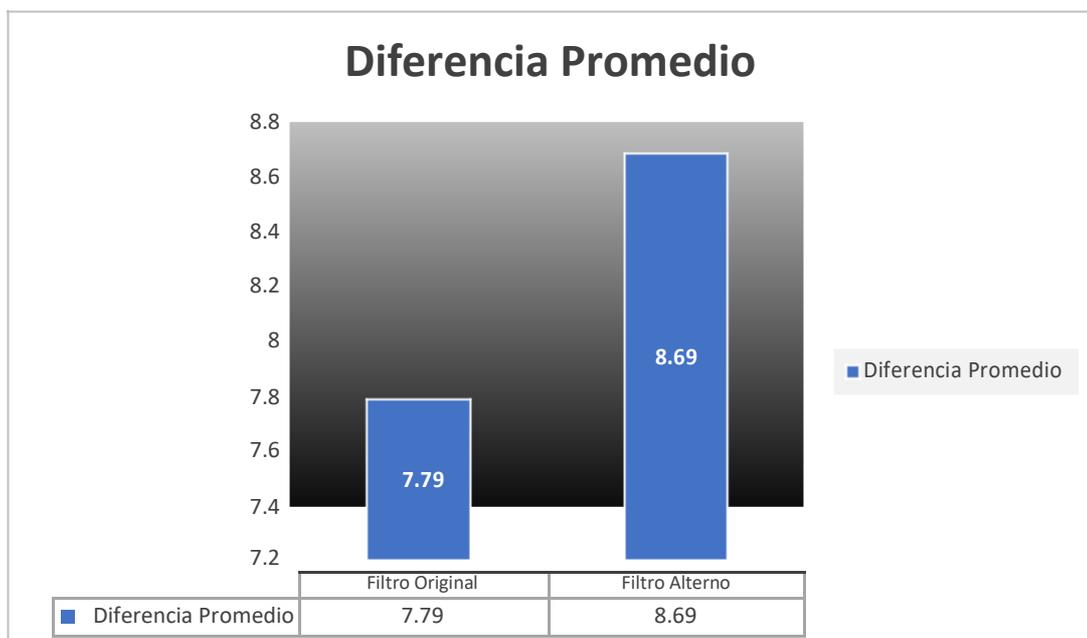


Figura 70. Comparativa desempeño filtro 10000 km. Autores

Para la última medición de ambos se tiene un comportamiento estable con respecto a la anterior medición de 5000 km, en donde igualmente el filtro alterno presenta 1.06 veces mayor pérdida en comparación con el original y al igual que antes, ambos filtros se alejan aún más de la zona de desempeño óptimo, lo cual es acorde al kilometraje registrado del cambio de filtros.

Igualmente, el comportamiento fue muy similar al descrito para 2500 RPM cuando estos fueron medidos a ralentí, salvo por el último caso donde se evidencio una diferencia más significativa en los de 10000 km del original con respecto al alterno.

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 Conclusiones

- El banco de pruebas construido simula de una manera muy cercana el funcionamiento del motor de un vehículo, por lo cual sirve como una manera efectiva de poder conocer el estado de un filtro y si este cumple con las normativas requeridas para su operación, esto se comprueba también gracias a la interfaz del banco en el que se puede conocer tanto vía LCD como con una gráfica en Excel los valores medidos a cada segundo del proceso de medición.
- Se conoció que las variables más importantes para conocer el estado del filtro de aire es la diferencia de caudal medida por los sensores, los cuales suministran los datos de la pérdida de eficiencia que es dada por la intervención del filtro del aire entre ambos sensores de medición, indicando mediante forma de porcentaje la pérdida de rendimiento.
- Entre los filtros originales y alternos se observó una diferencia de pérdida de eficiencia en su funcionamiento siendo muy parecida en ralentí y 2500 RPM , esta diferencia es mayor cuando ambos filtros son nuevos, siendo el original el que registra una menor pérdida en un 1.04 % en relación al filtro alternativo lo que se traduce en un 36% menor eficiencia por parte del alternativo; sin embargo una vez que se llegan a kilometrajes de 5000 km la diferencia es menor de un 0.41% lo que representa un 7% de eficiencia entre el alternativo y el original, a los 10000 km 0.51% lo que traduce en un 6.7% eficiencia entre ellos , estando ambos fuera del rango óptimo de funcionamiento, por lo que se necesitaría cambiarlos sin importar su fuente de fabricación.

## 6.2 Recomendaciones

- El uso de un generador de flujo que puede variar la cantidad de aire suministrada para la prueba nos brinda la posibilidad de realizar pruebas simulando distintos rangos de revoluciones, así como un régimen fijo, gracias a esto se puede realizar una prueba con los valores establecidos de rpm para la aprobación técnico vehicular en el país. Así como nos permite simular de mejor manera los cambios que se presentan en un motor de combustión interna en su funcionamiento real donde tenemos aceleraciones y desaceleraciones constantemente.
- Se recomienda usar un sensor de flujo que brinde una lectura rápida y precisa ya que el flujo de aire no es siempre estable, esto permite el cambio del flujo para simular aceleraciones o desaceleraciones que se presentan en el funcionamiento de un motor de combustión interna, además el sensor debe tener una compatibilidad muy alta con el procesador de información que se utiliza para recopilar los datos ya que esto facilitara el análisis de estos.
- Al momento de elegir los distintos componentes con los cuales se va a fabricar el banco de pruebas uno de los puntos a tomar en cuenta es que estos se puedan conseguir de manera rápida en caso de ser necesario por si uno de estos se rompe o descompone, esto puede hacer la diferencia entre que una prueba se realice en el tiempo estipulado o no, ya que muchas veces esto es motivo de la pérdida de un negocio o compromete los resultados obtenidos creando nuevas variables y aumento de costos.
- Como se evidencio en las distintas pruebas un filtro de aire muestra en muchos casos desde los 5.000 km de uso ya muestra un aumento en la restricción al paso de aire que ya supera los niveles permitidos por los fabricantes y normativas de filtros de aire, por esto se recomiendo tomar en cuenta tanto las condiciones ambientales así como las diferentes circunstancias de trabajo en las cuales circula el vehículo puesto que en ciudad podemos

observar una gran diferencia de cantidad de partículas contaminantes en el ambiente con referencia a una zona rural donde los filtros se saturan de manera mucho más acelerada por lo cual se recomienda cambiar antes del intervalo normal de 10.000 Km.

## Referencias

- 77, K. (15 de 02 de 2020). *KM 77*. Obtenido de <https://www.km77.com/>
- AEADE. (15 de 01 de 2019). *Asociacion de empresas automotrices del Ecuador*. Obtenido de <http://www.aeade.net/wp-content/uploads/2019/01/boletin%2028%20espanol%20resumido.pdf>
- Alonzo Velázquez, J. L. (Agosto de 2010). *Lenguaje de Programación: Introducción a C/C++(IDE)*. Guanajuato.
- Arduino. (2014). *Arduino.cc*. Obtenido de [https://www.google.com/url?sa=i&source=images&cd=&ved=2ahUKEwiyn\\_-R9vnjAhVGq1kKHVfBD-8QjRx6BAgBEAQ&url=https%3A%2F%2Fcomponents101.com%2Fmicrocontrollers%2Farduino-uno&sig=AOvVaw2rDCsZC2X6GOTtngk7iBO8&ust=1565582134274725](https://www.google.com/url?sa=i&source=images&cd=&ved=2ahUKEwiyn_-R9vnjAhVGq1kKHVfBD-8QjRx6BAgBEAQ&url=https%3A%2F%2Fcomponents101.com%2Fmicrocontrollers%2Farduino-uno&sig=AOvVaw2rDCsZC2X6GOTtngk7iBO8&ust=1565582134274725)
- Arduino. (10 de 08 de 2019). *Arduino Uno*. Obtenido de Arduino: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>
- Clasicos, F. (15 de 8 de 2015). *Fierros Clasicos*. Obtenido de <https://fierrosclasicos.com/el-filtro-de-aire-para-que-sirve/>
- compresor, m. (17 de 06 de 2019). *mundo compresor*. Obtenido de <https://www.mundocompresor.com/articulos-tecnicos/filtracion-lineas-aire-comprimido>
- Conauto. (Noviembre de 2019). Obtenido de Gear Synthetic EP SAW 75w90: <http://www.conauto.com.ec/wp-content/uploads/2019/11/GEAR-SYNTHETIC-EP-75W90.pdf>
- FEXILF. (04 de 06 de 2017). *Uniflux* . Obtenido de <http://www.uniflux-filters.ro/filtros-de-aire/materiales-filtrantes-1/?lang=es>
- Fran-Benz. (05 de 02 de 2005). *TÉCNICA Y MANTENIMIENTO*. Obtenido de MBFAQ.COM
- Gunt Hamburg. (29 de Enero de 2020). *HM 150.01 Fricción de tubo en un flujo laminar / turbulento*. Obtenido de Gunt Hamburg: <https://www.gunt.de/es/productos/mecanica-de-fluidos/flujos->

estacionarios/fundamentos-de-flujos-estacionarios/friccion-de-tubo-en-un-flujo-laminar-turbulento/070.15001/hm150-01/glct-1:pa-150:ca-151:pr-548

- Hernandez, L. (21 de 10 de 2016). *Autocosmos*. Obtenido de <http://especiales.espanol.autocosmos.com/tipsyconsejos/noticias/2016/10/21/por-que-es-importante-cambiar-los-filtros-de-aire-del-automovil>
- HUMMEL, M. (15 de 10 de 2019). *MANN HUMMEL*. Obtenido de <https://airfiltration.mann-hummel.com/es/conocimiento-sobre-el-aire/el-filtro-de-busqueda/teoria/>
- INEN. (09 de 02 de 2017). “FILTROS DE ACEITE, FILTROS DE COMBUSTIBLE: DIESEL Y GASOLINA, Y. *RTE INEN 129*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- ISO. (15 de 07 de 2001). inlet air cleaning equipment for internal combustion engines and compressors-performance testing. *ISO 5011*. Switzerland: ISO 2000.
- KM 77. (15 de 02 de 2020). *KM 77*. Obtenido de <https://www.km77.com/>
- Makita. (2019). *UB1101-Blower*. Obtenido de Makita: [http://www.makita.ae/tools/dust\\_extraction\\_tools/blower/UB1101.html](http://www.makita.ae/tools/dust_extraction_tools/blower/UB1101.html)
- Mathieu, M. J. (2014). *Introducción a la Programación*. México: Grupo Editorial Patria.
- Méndez Montealvo, M. G. (2010). *Introducción a la Reología*. México D.F.: Instituto Politécnico Nacional.
- millard. (2019). *millard*. Obtenido de <https://www.millardcatalog.com/en/millard/Europe/air-filter/MK-7756>
- Modern Device. (14 de Enero de 2020). *Wind Sensor Rev. C*. Obtenido de Modern Device: <https://moderndevice.com/product/wind-sensor/>
- Mott, R. L. (1996). *Mecánica de Fluidos Aplicada*. México D.F.: Pearson.
- Mott, R. L. (2006). *Mecánica de Fluidos*. México D.F: PEARSON EDUCACIÓN.
- Muñoz, J. (23 de 03 de 2017). *Moto1Pro*. Obtenido de <https://www.moto1pro.com/reportajes-motos/el-filtro-del-aire-de-la-moto-consejos-de-mantenimiento-y-revision>
- Potoy, S. (2 de 3 de 2016). *Fenicootaxi*. Obtenido de <http://www.fenicootaxi.org/index.php/component/virtuemart/filtros>
- Rahiman, A., Razak, A. R., Samee, M. A., & Ramis, M. (2014). CFD Analysis of Flow Field Development in a Direct. *American Journal of Fluid Dynamics*, 102-113.

- RODES. (20 de 01 de 2015). *RODES*. Obtenido de <https://www.rodes.com/mecanica/filtro-de-aire-que-es-y-para-que-sirve/>
- SALVAT. (1974). *Enciclopedia del Automóvil Tomo 10*. Pamplona: Salvat Ediciones.
- Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2008). *Física para Ciencias e Ingeniería Volumen 1*. Santa Fe: Cengage.
- SPSS. (04 de 02 de 2018). *Agroacademicos* . Obtenido de <http://agroacademicosmy.blogspot.com/2018/02/el-aire-en-la-admision.html>
- Srougo, A. (12 de 09 de 2016). *HD Motor Sport* . Obtenido de <http://hpdmotorsport.com/principales-problemas-la-bomba-gasolina/>
- Widman International. (18 de 11 de 2018). *El Cálculo de Aire*. Obtenido de Widman International: <https://www.widman.biz/Seleccion/cfm.html>
- Wikipedia. (6 de 5 de 2000). *Wikipedia*. Obtenido de [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e5/Tama%C3%B1o\\_de\\_las\\_particulas\\_um.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e5/Tama%C3%B1o_de_las_particulas_um.png)
- Zacarías Santiago, A., González López, J., & Granados Manzo, A. (2017). *Mecánica de fluidos: Teoría con aplicaciones y modelado*. Ciudad de México: Grupo Editorial Patria.
- Zambrano Orejuela, J. (2012). *Física Vectorial Básica 2*. Quito: dinalibros.

**Anexos**

**Anexo 1 Normativa internacional**

Provläsningsexemplar / Preview

**INTERNATIONAL**

**ISO**

**STANDARD**

**5011**

Second

edition

2000-12-01

Corrected

and

reprinted

2001-07-15

## Inlet air cleaning equipment for internal combustion engines and compressors — Performance testing

Séparateurs aérauliques placés à l'entrée des moteurs à combustion interne et des compresseurs — Détermination des performances



Reference number ISO 5011:2000(E)

© ISO 2000

Provläsningsexemplar / Preview

ISO 5011:2000(E)

#### PDF disclaimer

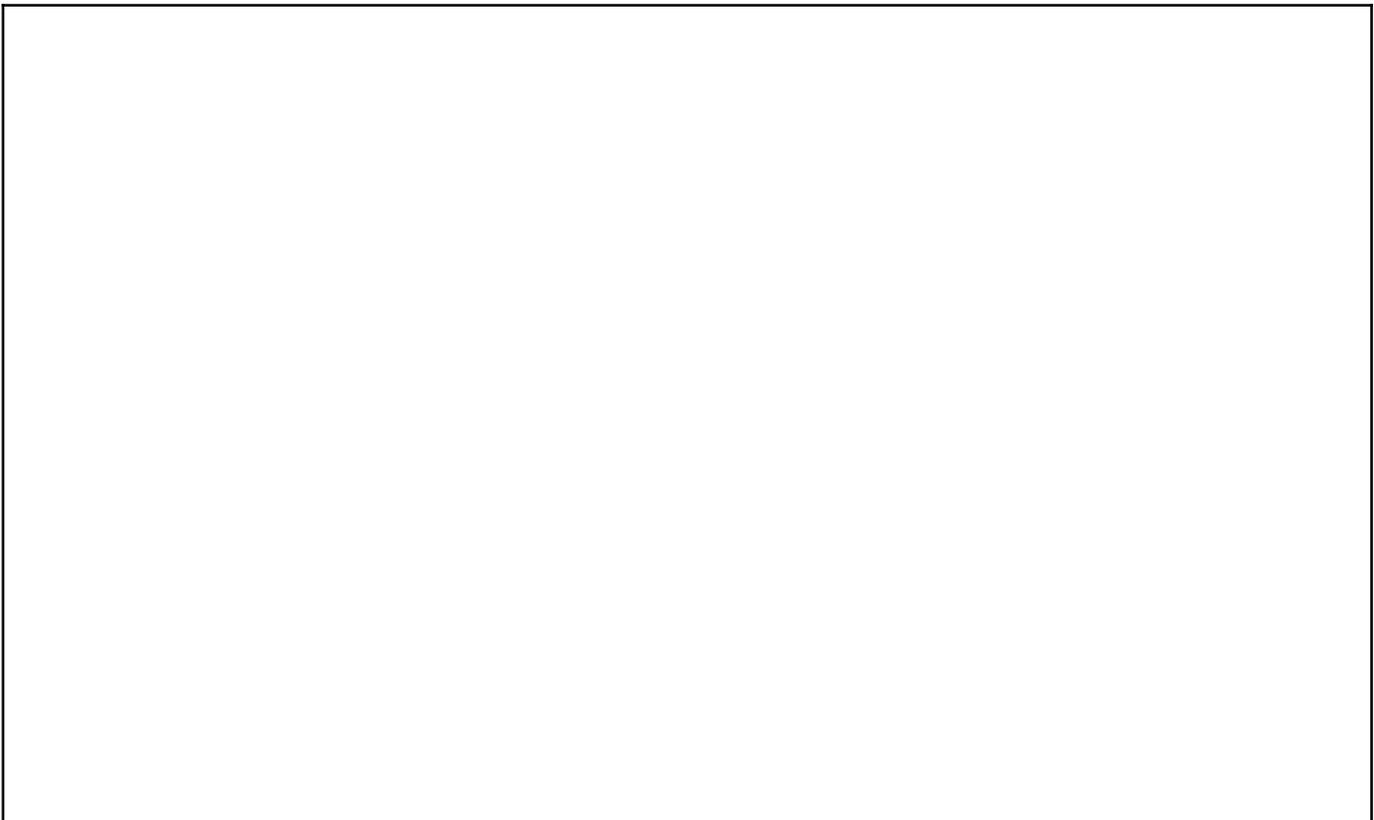
This PDF file may contain embedded typefaces. In accordance with Adobe's licensing policy, this file may be printed or viewed but shall not be edited unless the typefaces which are embedded are licensed to and installed on the computer performing the editing.

In downloading this

file, parties accept therein the responsibility of not infringing Adobe's licensing policy. The ISO Central Secretariat accepts no liability in this area.

Adobe is a trademark of Adobe Systems Incorporated.

Details of the software products used to create this PDF file can be found in the General Info relative to the file; the PDF-creation parameters were optimized for printing. Every care has been taken to ensure that the file is suitable for use by ISO member bodies. In the unlikely event that a problem relating to it is found, please inform the Central Secretariat at the address given below.



© ISO 2000

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either ISO at the address below or ISO's member body in the country of the requester.

ISO copyright office

Case postale 56 CH-1211 Geneva 20

Tel. + 41 22 749 01 11

Fax + 41 22 749

09 4  
copyright@iso.ch

E-mail

Web www.iso.ch

Printed in Switzerland

ii

© ISO 2000 - All rights reserved

Provläsningsexemplar / Preview

ISO 5011:2000(E)

## Contents

Page

Foreword

—

1

Scope

v

	1	
2	Normative references	
	1	
3	Terms, definitions, symbols and units	
	1	
3.1	Terms and definitions	
	1	
3.2	Symbols and units	
	3	
4	Measurement accuracy and standard conditions	
	4	
4.1	Measurement accuracy	
	4	
4.2	Standard conditions	
	4	
5	Test materials and test conditions	
	4	
5.1	Test dust	4
5.2	Test oil for oil bath air cleaners	
	5	
5.3	Absolute filter materials	
	5	
5.4	Absolute filter mass	
	6	
5.5	Temperature and humidity	
	6	
6	Test procedure for dry-type air cleaners for automotive applications	

	6					
6.1	General					
	6					
6.2	Test equipment					
	6					
6.3	Restriction and differential pressure test					
	8					
6.4	Efficiency test					
	8					
6.5	Capacity test	10				
6.6	Filter element	pressure	collapse	test		
	10					
6.7	Variable air flow test					
	11					
6.8	Presentation of data					
	11					
7	Test procedure for dry-type air cleaners for industrial applications					
	12					
7.1	General					
	12					
7.2	Test equipment	12				
7.3	Restriction and differential pressure test					
	13					
7.4	Initial efficiency test procedure — Absolute filter method					
	13					
7.5	Full-life efficiency and capacity test					
	14					

7.6	Presentation of data	15
7.7	Scavenged air cleaner performance test	16
7.8	Precleaner performance test	17
7.9	Secondary element test procedure	18
8	Test procedure for industrial applications of oil bath air cleaners	19
8.1	General	19
8.2	Test equipment and conditions	19
8.3	Restriction and differential pressure test	20
8.4	Oil carry-over test	20
8.5	Full life efficiency and capacity test	21
8.6	Recovery test	21
8.7	Presentation of data	21

Annex A (normative) Explanation of restriction, differential pressure and pressure loss of an  
air  
cleaner

---

22

Annex B (normative) Test equipment

---

24 Annex C (informative) Report sheet on performance testing of air cleaner equipment according to

ISO 5011 — Automotive application

---

33

© ISO 2000 - All rights reserved

iii

[Provläsningsexemplar / Preview](#)

ISO 5011:2000(E)

Annex D (informative) Report sheet on performance testing of air cleaner equipment according to

ISO 5011 — Industrial application

---

34

Annex E (informative) Presentation of results — Air cleaner restriction/differential pressure versus flow

---

35

Annex F (informative) Presentation of results — Air cleaner capacity

---

36

Annex G (normative) Airflow and resistance corrections to standard conditions

---

37

Bibliography

---

39



iv

© ISO 2000 - All rights reserved

Provläsningsexemplar / Preview

ISO 5011:2000(E)

Foreword

ISO (the International Organization for Standardization) is a worldwide federation of national standards bodies (ISO member bodies). The work of preparing International Standards is normally carried out through ISO technical committees. Each member body interested in a subject for which a technical committee has been established has the right to be represented on that committee. International organizations, governmental and non-governmental, in liaison with ISO, also take part in the work. ISO collaborates closely with the International Electrotechnical Commission (IEC) on all matters of electrotechnical standardization.

International Standards are drafted in accordance with the rules given in the ISO/IEC Directives, Part 3.

Draft International Standards adopted by the technical committees are circulated to the member bodies for voting.

Publication as an International Standard requires approval by at least 75 % of the member bodies casting a vote.

Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. ISO shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard ISO 5011 was prepared by Technical Committee ISO/TC 22, Road vehicles, Subcommittee SC 7, Injection equipment and filters for use on road vehicles. This second edition cancels and replaces the first edition (ISO 5011:1988), which has been technically revised.

Annexes A, B and G form a normative part of this International Standard. Annexes C to F are for information only.



© ISO 2000 - All rights reserved

v

[Provläsningsexemplar / Preview](#)

[Provläsningsexemplar / Preview](#)

INTERNATIONAL

STANDARD

ISO 5011:2000(E)

Inlet air cleaning equipment for internal combustion  
engines and compressors — Performance testing

## 1 Scope

This International Standard establishes and specifies uniform test procedures, conditions, equipment, and a performance report to permit the direct laboratory performance comparison of air cleaners.

The basic performance characteristics of greatest interest are air flow restriction or differential pressure, dust collection efficiency, dust capacity, and oil carry-over on oil bath air cleaners. This test code therefore deals with the measurement of these parameters.

This International Standard is applicable to air cleaners used on internal combustion engines and compressors generally used in automotive and industrial applications.

## 2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this International Standard. For dated references, subsequent amendments to, or revisions of, any of these publications do not apply. However, parties to agreements based on this International Standard are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. For undated references, the latest edition of the normative document referred to applies. Members of ISO and IEC maintain registers of currently valid International Standards.

ISO 5167-1, Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices — Part 1: Orifice plates, nozzles and Venturi tubes inserted in circular cross-section conduits running full. ISO 12103-1, Road vehicles — Test dust for filter evaluation — Part 1: Arizona test dust.3

### Terms, definitions, symbols and units

#### 3.1 Terms and definitions

For the purposes of this International Standard, the following terms and definitions apply.

##### 3.1.1

air filter

air cleaner device which removes particles suspended in the fresh charge as it is drawn into the engine

3.1.2 filter element replaceable part of the air filter, consisting of the filter material and carrying frame



© ISO 2000 - All rights reserved

1

[Provläsningsexemplar / Preview](#)

ISO 5011:2000(E)

3.1.3 secondary element

air cleaner element fitted downstream of the primary element for the purpose of providing the engine with protection against dust in the event of

- a) certain types of primary element failure, or
- b) dust being present during the removal of the primary element for servicing

3.1.4 unit under test either a single air cleaner element or a complete air cleaner assembly

3.1.5

single-stage air cleaner air cleaner which does not incorporate a separate precleaner

3.1.6

multistage air cleaner

air cleaner consisting of two or more stages, the first usually being a precleaner, followed by one or more filter elements

NOTE If two elements are used, the first is called the primary element and the second one is called the secondary element.

3.1.7 precleaner

device usually using inertial or centrifugal means to remove a portion of the test dust prior to reaching the filter

element

3.1.8 test air flow measure of the quantity of air drawn through the air cleaner outlet per unit time

NOTE The flow rate is expressed in cubic metres per minute corrected to standard conditions.

3.1.9 rated air flow flow rate specified by the user or manufacturer

NOTE It may be used as the test air flow.

3.1.10 scavenge air flow measure of the quantity of air used to remove the collected dust from a precleaner

NOTE It is expressed as a percentage of the test air flow.

#### 3.1.11 static pressure

pressure in a duct, at the observed air flow rate, measured by connecting a pressure gauge to a hole or holes drilled in the wall of the duct

NOTE In the tests specified in this International Standard, a static pressure is measured by a manometer (usually a liquid

manometer) as a negative pressure difference against the atmospheric pressure and in the formulae this is treated as a positive value.

#### 3.1.12 restriction

static pressure measured immediately downstream of the unit under test

2

© ISO 2000 - All rights reserved

Provläsningsexemplar / Preview

ISO 5011:2000(E)

#### 3.1.13 differential pressure

difference in static pressure measured immediately upstream and downstream of the unit under test

3.1.14 pressure loss measure of the loss of energy caused by an air cleaner at the observed air flow rate

NOTE 1 It is expressed as the differential pressure corrected for any difference in the dynamic head at the measuring points.

NOTE 2 For further information, see annex A.

3.1.15 absolute filter filter downstream of the unit under test to retain the contaminant passed by the unit under test

3.1.16 efficiency ability of the air cleaner or the unit to remove contaminant under specified test conditions

3.1.17 capacity quantity of contaminant removed by the unit under test in producing specified terminal

conditions

3.1.18 oil carry-over appearance of oil at the cleaner outlet

3.1.19

test terminal condition

condition, relating to an air cleaner, the occurrence of which signifies the end of the test

NOTE A test terminal condition may be, for example, any one of the following:

the restriction or the differential pressure reaches a specified or agreed value; the dust-removing efficiency or some other performance parameter falls to a specified or agreed value; oil carry-over occurs;

a dust pot becomes filled.

## 3.1.20

automotive application air cleaner generally used for internal combustion engines in passenger cars

## 3.1.21

industrial application

air cleaner generally used for internal combustion engines in heavy-duty trucks, construction

equipment

and agricultural tractors

## 3.2 Symbols and units

The following applied units, according to ISO 1000, are used.

## ISO 5011:2000(E)

Quantity	Symbol	Unit
Volume flow rate	q <sub>v</sub>	m <sup>3</sup> /min
Velocity	v	m/s
Density		kg/m <sup>3</sup>
Mass flow rate	q <sub>m</sub>	kg/min
Pressure	p	Pa
Restriction	p <sub>r</sub>	Pa
Differential pressure	p <sub>d</sub>	Pa
Pressure loss	p <sub>l</sub>	Pa
Mass	m	g
Time	t	s

## 4 Measurement accuracy and standard conditions

### 4.1 Measurement accuracy

Measure the air flow rate to within 2 % of the actual value, except for the variable air flow test when accuracy may be 2 % of the maximum value of the cyclic flow rate through the cleaner.

Measure the differential pressure and restriction to within 25 Pa of the actual value. Measure the temperature to within 0,5 °C of the actual value.

Measure the mass to within 1 % of the actual value except where noted. Measure the relative humidity (RH) with an accuracy of 2 % RH.

Measure the barometric pressure to within 3 hPa.

The measurement equipment shall be calibrated at regular intervals to ensure the required accuracy.

#### 4.2 Standard conditions

All airflow measurements shall be corrected to a standard condition of 20 °C at 1 013 hPa (1 013 mbar). See annex G.

### 5 Test materials and test conditions

#### 5.1 Test dust

##### 5.1.1 Grade

The test dust to be used shall be ISO 12103 - A2 (ISO Fine) or ISO 12103 - A4 (ISO Coarse), subject to agreement between the filter manufacturer and client. The chemical analysis and the particle size distribution shall conform to

ISO 12103-1.

## ISO 5011:2000(E)

In the absence of an agreement on the dust

for single-stage filters, use ISO Fine test dust, and for multistage filters, use ISO Coarse test dust.

### 5.1.2 Preparation

Before using the test dust, a quantity sufficient to cover the test requirements shall be mixed in a sealed container for a minimum of 15 min. The test dust shall then be allowed to become acclimatised to a constant mass under the prevailing test conditions.

NOTE To ensure a constant rate of dust feed with some dust feeders, it may be found necessary to heat the dust prior to being fed to the injector.

### 5.2 Test oil for oil bath air cleaners

The oil used for testing oil bath air cleaners shall be that specified by the filter manufacturer and agreed by the user for use at the appropriate ambient temperature. If an oil is not specified, the test oil shall be a heavy-duty oil and the viscosity at the temperature of the test shall be adjusted as follows:

85 mm<sup>2</sup>/s for oil carry-over and restriction/differential pressure tests;

330 mm<sup>2</sup>/s for efficiency and capacity tests, including an oil carry-over test after the capacity test.

### 5.3 Absolute filter materials

### 5.3.1 Filter media

The absolute filter may consist of fibreglass media with a minimum thickness of 12,7 mm and a minimum density of  $9,5 \text{ kg/m}^3$ .<sup>1)</sup> The fibre diameter shall be 0,76  $\mu\text{m}$  to 1,27  $\mu\text{m}$  and the moisture absorption shall be less than 1 % by mass after exposure to 50 °C and 95 % relative humidity for 96 h. The absolute filter media shall be installed with nap side facing upstream, in an airtight holder that adequately supports the media. The face velocity shall not exceed approx. 0,8 m/s to maintain media integrity. As an alternative, a non-woven filter media with the efficiency described in 5.3.2 may be used.

To reduce any subsequent errors in the measurements caused by losses of fibres or materials, the absolute filter shall be subject to a flow of at least 110 % of the rated flow of ambient air for 15 min before the first test weighing.

NOTE The use of an absolute filter with a backing will minimize fibre loss.

### 5.3.2 Validation of absolute filter media efficiency, $E_a$

Arrange two absolute filters in tandem. Perform a filter efficiency test and determine the mass increase of each absolute filter according to the test procedure given in 6.4.3 or 7.5.2:

$E_a$

where

$m_A$

$m_A - m_B$

100 %  $(1)E_a$  is the absolute filter efficiency;

1) A suitable material is commercially available. Details may be obtained from the secretariat of ISO/TC 22 or from the ISO Central Secretariat.

© ISO 2000 - All rights reserved

5

1

---

---

## **Anexo 2 Normativa Nacional**

### **PROYECTO DE MODIFICATORIA 1 (2017-12-14)**

#### **RTE INEN 129 (1R) "FILTROS DE ACEITE, FILTROS DE COMBUSTIBLE: DIESEL Y GASOLINA, Y FILTROS DEL AIRE DE ENTRADA PARA MOTORES DE COMBUSTIÓN**

#### **INTERNA"**

En la página 2, numeral 2.1:

Dice:

2.1 Este reglamento técnico se aplica a los siguientes filtros y sus repuestos de elementos filtrantes que se comercialicen en el Ecuador, sean estos, importados o de fabricación nacional, destinados para motores de combustión interna

Debe decir:

2.1 Este reglamento técnico aplica a los filtros y elementos filtrantes que se comercialicen en el Ecuador, sean éstos, importados o de fabricación nacional, destinados para motores de combustión interna

En la página 3, numeral 2.2:

Dice:

2.2 Este reglamento técnico no aplica a:

- Filtros para compresores, usados en aplicaciones industriales. • Filtros hidráulicos.

- Filtros de aire para cabina y aire acondicionado de aceite. Filtros centrífugos

Filtros secador de aire para frenos.

- Filtros separadores agua-combustible.

- 

- Filtros de aceite magnéticos o electromagnéticos. • Carcasas de filtros

Debe decir:

2.2 Este reglamento técnico no aplica a:

- Filtros para compresores, usados en aplicaciones industriales. • Filtros hidráulicos.

- Filtros de aire para cabina y aire acondicionado de aceite. Filtros centrífugos

Filtros secador de aire para frenos.

- Filtros separadores agua-combustible.

- 

- Filtros de aceite magnéticos o electromagnéticos. • Carcasas o partes para la fabricación del filtro. • Material filtrante

- Accesorios que no vengan en conjunto con el filtro (empaques, mangueras, arandelas metálicas, plásticas o de caucho).

CLASIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES
84.21	Centrifugadoras, incluidas las secadoras centrífugas; aparatos para filtrar o depurar líquidos o gases.	
8421.23.00	- - Para filtrar lubricantes o carburantes en los motores de encendido por chispa o compresión:	

8421.23.00.10	- - - Filtros para gasolina en motores de inyección.	Aplica para filtros aceite lubricante, filtros de combustible diesel o gasolina, así como a sus repuestos de elementos filtrantes
8421.23.00.90	- - - Los demás	Aplica para filtros aceite lubricante, filtros de combustible diesel o gasolina, así como a sus repuestos de elementos filtrantes
8421.31	- - Filtros de entrada de aire para motores de encendido por chispa o compresión	
8421.31.00.00	- - Filtros de entrada de aire para motores de encendido por chispa compresión.	Aplica para filtros aire para motores de combustión interna, así como a sus repuestos de elementos filtrantes para motores de combustión interna.
	- Partes:	
8421.99	- - Los demás:	
8421.99.10.00	- - - Elementos filtrantes para filtros de motores	Aplica para filtros de aceite lubricante, filtros de combustible diesel o gasolina, filtros de aire, así como a sus repuestos de elementos
8421.99.90.00	- - - Los demás	Aplica para filtros de aceite lubricante, filtros de combustible diesel o gasolina, filtros de aire, así como a sus repuestos de elementos

CLASIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES
84.21	Centrifugadoras, incluídas las secadoras centrífugas; aparatos para filtrar o depurar líquidos o gases.	
8421.23.00	- - Para filtrar lubricantes o carburantes en los motores de encendido por chispa o compresión:	
	- Aparatos para filtrar o depurar líquidos:	
8421.23.00.10	- - - Filtros para gasolina en motores de inyección.	
8421.23.00.90	- - - Los demás	Aplica para filtros de aceite lubricante, filtros de combustible diesel para motores de combustión interna.
	- Aparatos para filtrar o depura	
8421.31.00.00	- - Filtros de entrada de aire para motores de encendido por chispa	
	- Partes:	
8421.99	- - Los demás:	

8421.99.10.00	- - - Elementos filtrantes, del tipo de los utilizados en filtros para motores	Aplica a elemento filtrante de reposición para filtros de aceite lubricante, filtros de combustible diesel o gasolina, filtros de aire para motores de combustión interna.
---------------	--	--

2017-031

:

3.1.7 Elemento Filtrante. Parte reemplazable del filtro, que consiste en el material filtrante y una estructura de soporte.

3.1.8 Material Filtrante. Superficie filtrante destinada como materia prima para la elaboración de filtros.

En la página 4, numeral 4 “REQUISITOS DE MARCADO, ETIQUETADO E INFORMACIÓN SUMINISTRADA POR EL FABRICANTE”

Dice:

#### 4. REQUISITOS DE MARCADO, ETIQUETADO E INFORMACIÓN SUMINISTRADA POR EL FABRICANTE

4.1 Los filtros contemplados en el presente reglamento técnico deben ir marcados y etiquetados con caracteres legibles e indelebles y en lugar visible al consumidor.

4.2 Filtros de aceite lubricante de flujo-constante para motores de combustión interna

4.2.1 Los filtros de aceite lubricante de flujo constante de combustión interna deben venir marcados en el producto (ver nota<sup>11</sup>) y, en su respectivo empaque primario o secundario mínimo con la siguiente información:

- a) Marca comercial o razón social del fabricante.
- b) Número del lote y fecha de producción.
- c) Nombre o denominación del producto.
- c) Código o modelo del filtro.
- d) País de origen.

4.2.2 Los filtros de aceite lubricante de flujo constante de combustión interna importados al granel, repuestos de elementos filtrantes o como parte de kits de reparación, deben presentar, al menos una

etiqueta firmemente adherida en su envase primario o secundario con la información solicitada en el numeral 4.2.1 del presente reglamento técnico.

#### 4.3 Filtros de combustible diesel y gasolina para motores de combustión interna

4.3.1 Los filtros de combustible diesel y gasolina para motores de combustión interna deben venir marcados en el producto (ver nota<sup>22</sup>) y en su respectivo empaque primario o secundario mínimo con la siguiente información:

- a) Marca comercial o razón social del fabricante.
- b) Número del lote y fecha de producción.
- c) Nombre o denominación del producto.
- d) Código o modelo del filtro.
- e) País de origen.

#### 4.3.2 Los filtros de combustible diesel y gasolina para motores de combustión interna

importados al granel, repuestos de elementos filtrantes o como parte de kits de reparación, deben presentar, al menos una etiqueta firmemente adherida en su envase primario o secundario con la información solicitada en el numeral 4.3.1 del presente reglamento técnico.

Nota<sup>1</sup>: No se aceptará la información del marcado en una etiqueta adherida al producto, si se utiliza una etiqueta, esta debe ir adherida al envase primario o secundario.

Nota<sup>2</sup>: Para filtros de combustible en línea, únicamente debe venir marcado los literales a) y d) en el producto.

#### 4.4 Filtros de aire para motores de combustión interna

4.4.1 Los filtros de aire para motores de combustión interna deben venir con una etiqueta

firmemente adherida a su respectivo empaque primario o secundario con la siguiente información:

- a) Marca comercial o razón social del fabricante.
- b) Número del lote y fecha de producción.
- ~~c) Nombre o denominación del producto.~~
- d) Código o modelo del filtro.
- e) País de origen.

4.4.2 Los filtros de aire para motores de combustión interna deben venir marcados en el producto como mínimo los literales a) b) y d) del numeral 4.4.1 del presente Reglamento Técnico.

4.5 En caso de ser un producto importado. Adicionalmente, para la comercialización, los productos contemplados en este reglamento técnico deben llevar en una etiqueta firmemente adherida al envase primario o al envase secundario, destinado al consumidor o usuario final, la siguiente información:

- a) Razón social e identificación fiscal (RUC) del importador (ver nota<sup>3</sup>).
- b) Dirección comercial del importador.

4.6 La información del marcado del producto y etiquetado del envase primario o secundario debe expresarse en idioma inglés o español, sin perjuicio de que adicionalmente se pueda incluir esta información en otros idiomas.

Debe decir:

#### 4. REQUISITOS DE ROTULADO O ETIQUETADO

4.1 Los filtros contemplados en el presente reglamento técnico deben estar marcados o etiquetados en el producto; o en su respectivo empaque primario o secundario con caracteres legibles e indelebles; y en un lugar visible al consumidor con la siguiente información:

- 4.1.1 Marca comercial o razón social del fabricante.
- 4.1.2 Número del lote o fecha de producción.
- 4.1.3 Nombre o denominación del producto.
- 4.1.4 Código o modelo del filtro.
- 4.1.5 País de origen.

4.2 Los filtros importados al granel, elementos filtrantes o como parte de kits de reparación,

La información de rotulado solicitada en el numeral 4.1 del presente reglamento técnico, debe presentarse en el producto o en una etiqueta firmemente adherida en su envase primario

o secundario.

4.3 Los productos importados para su comercialización, deben estar marcados o llevar en una etiqueta indeleble firmemente adherida al envase primario o secundario, destinado al consumidor o usuario final, la siguiente información:

- a) Razón social e identificación fiscal (RUC) del importador (ver nota<sup>4</sup>).
- b) Dirección comercial del importador.

4.4 La información del rotulado o etiquetado del producto debe expresarse en idioma español o inglés, sin perjuicio que adicionalmente se pueda incluir esta información en otros idiomas.

Nota<sup>3</sup>: La empresa que realiza la importación, se convierte en la responsable del producto dentro del Ecuador.

2017-031

En la página 5, numeral 5 "Muestreo"

Dice:

## 5. MUESTREO

5.1 Para la evaluación de la conformidad de los productos contemplados en el presente reglamento técnico, se debe seleccionar una muestra de producto según su tipo, marca, familia de modelos y código de identificación.

5.1 La inspección y el muestreo para verificar el cumplimiento de los requisitos señalados en el presente reglamento técnico, se deben realizar de acuerdo a lo establecido en la NTE INENISO 2859-1 con un plan de muestreo simple, inspección normal, nivel general de inspección II, con un

AQL de 1,5 %.

Debe decir:

## 5. MUESTREO

5.1 El muestreo para verificar el cumplimiento de los requisitos señalados en el presente reglamento técnico, se debe realizar de acuerdo a lo establecido en la NTE INEN-ISO 2859-

1 con un plan de muestreo simple normal, nivel de inspección especial S4, con un AQL de 1,5%.

En la página 5, numeral 6 “Documentos de referencia” Dice:

## 6. DOCUMENTOS DE REFERENCIA

6.1 Norma NTE INEN-ISO/IEC 17050-1, Evaluación de la Conformidad - Declaración de la conformidad del proveedor. Parte 1: Requisitos Generales.

6.2 Norma NTE INEN-ISO/IEC17020, Evaluación de la conformidad

- Requisitos para el funcionamiento de diferentes tipos de organismos que realizan la inspección.

6.3 Norma NTE INEN ISO 2859-1, Procedimientos de muestreo para inspección por atributos. Parte 1. Programas de muestreo clasificados por el nivel aceptable de calidad (AQL) para inspección lote a lote.

Debe decir:

## 6. DOCUMENTOS DE REFERENCIA

6.1 NTE INEN-ISO/IEC17020:2013, Evaluación de la conformidad - Requisitos para el funcionamiento de diferentes tipos de organismos que realizan la inspección. (Resolución No. 13062 de fecha 2013-04-15, publicada en el Registro Oficial No. 954 de fecha 2013-05-15). 6.2 NTE INEN ISO 2859-1:2001, Procedimientos de muestreo para inspección por atributos. Parte

1. Programas de muestreo clasificados por el nivel aceptable de calidad (AQL) para inspección lote a lote. (Resolución No. 056-2009 de fecha 2009-08-06, publicada en el Registro Oficial No. 21 de fecha 2009-09-08).

6.3 ISO 5011:2014, Inlet air cleaning equipment for internal combustion engines and compressors — Performance testing.

En la página 6, numeral 7 “Procedimiento para la Evaluación de la Conformidad”

Dice:

## 7. PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA CONFORMIDAD

7.1 De conformidad con lo que establece la Ley No. 2007-76 del Sistema Ecuatoriano de la Calidad, previamente a la comercialización de productos nacionales e importados sujetos a reglamentación técnica, los fabricante e importadores deberán demostrar su cumplimiento a través de un certificado de inspección, expedido por un organismo de inspección acreditado o designado en el país, o por aquellos que se hayan emitido en relación a los acuerdos vigentes de reconocimiento mutuo con el país, de acuerdo a lo siguiente:

a) Para productos importados. Emitido en origen o en destino por un organismo de inspección acreditado, cuya acreditación sea reconocida por el Servicio de Acreditación Ecuatoriano, SAE, o por un organismo de inspección designado conforme lo establece la Ley del Sistema Ecuatoriano de la Calidad.

b) Para productos fabricados a nivel nacional. Emitido por un organismo de inspección acreditado por el SAE o designado conforme lo establece la Ley del Sistema Ecuatoriano de la Calidad.

7.2 Para la demostración de la conformidad de los productos contemplados en este reglamento técnico, los fabricantes nacionales e importadores deberán demostrar su cumplimiento a través de la presentación del certificado de inspección del lote muestreado, en idioma español y, según las siguientes opciones:

7.2.1 Certificado de inspección que demuestre el cumplimiento de los requisitos establecidos en este reglamento, emitido por un organismo de inspección [ver numeral 7.1, literales a) y b) de este reglamento técnico], al que se debe adjuntar el Registro de Operadores, establecido mediante Acuerdos Ministeriales No. 14114 del 24 de enero de 2014 y No. 16161 de 07 de octubre de

2016.

### 7.2.2 Certificado de Conformidad de Primera Parte según la norma NTE INEN-ISO/IEC

17050- 1:2004, expedido por el proveedor, que puede ser el fabricante o el distribuidor oficial autorizado por el fabricante, debidamente legalizado por la Autoridad competente, que certifique que el producto cumple los requisitos de rotulado, establecidos en el presente reglamento técnico, lo cual debe estar sustentado con la presentación de informes de inspección.

El importador debe adjuntar el Registro de Operadores establecido mediante Acuerdos Ministeriales No. 14 114 del 24 de enero de 2014 y No. 16 161 de 07 de octubre de

2016.

En este caso, previo a la nacionalización de la mercancía las Autoridades de Vigilancia y Control competentes, se reservan el derecho de realizar el muestreo e inspección de marcado, etiquetado e información suministrada por el fabricante de conformidad con este reglamento técnico, en cualquier momento, a cuenta y a cargo del fabricante o importador del producto.

7.2.2.1 El certificado de conformidad de primera parte se aceptará hasta que existan organismos de inspección acreditados o designados en el país de destino, o acreditado en el país de origen, cuya acreditación sea reconocida por el SAE.

7.3 El certificado de inspección e informes de inspección deben estar en idioma español o inglés, o en los dos idiomas.

Debe decir:

## 7. PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA CONFORMIDAD

7.1 De conformidad con lo que establece la Ley No. 2007-76 del Sistema Ecuatoriano de la Calidad y la Resolución 001-2013-CIMC con sus reformas, previo a la importación,

nacionalización de bienes producidos fuera del país, o a la comercialización en el caso de producción nacional de los bienes sujetos a RTE, se debe demostrar el cumplimiento con el reglamento técnico ecuatoriano o la norma internacional de producto o la regulación técnica obligatoria equivalente, a través de un Certificado de Conformidad de Producto o Certificado de Inspección emitido por un organismo acreditado o reconocido por el SAE o designado por el MIPRO en el país, o mediante la demostración de la conformidad establecida en acuerdos, convenios, o acuerdos de

reconocimiento mutuo vigentes, suscritos y ratificados por Ecuador, en conformidad a lo siguiente:

a) Para productos importados. Emitido en origen o en destino por un organismo de

inspección acreditado, cuya acreditación sea reconocida por el Servicio de Acreditación Ecuatoriano, SAE, o por un organismo de inspección designado conforme lo establece la Ley del Sistema Ecuatoriano de la Calidad.

b) Para productos fabricados a nivel nacional. Emitido por un organismo de inspección acreditado por el SAE o designado conforme lo establece la Ley del Sistema Ecuatoriano de la Calidad.

7.2 Para la demostración de la conformidad de los productos contemplados en este reglamento técnico, los fabricantes nacionales e importadores deberán demostrar su cumplimiento a través de la presentación del certificado de conformidad según lo siguiente:

7.2.1 Certificado de inspección que demuestre el cumplimiento de los requisitos establecidos en este reglamento, emitido por un organismo de inspección [ver numeral 7.1, literales a) y b) de este reglamento técnico], al que se debe adjuntar el Registro de Operadores, establecido mediante Acuerdos Ministeriales No. 14114 del 24 de enero de 2014 y No. 16161 de 07 de octubre de 2016.

Previo a la nacionalización de la mercancía, las Autoridades de Vigilancia y Control competentes, se reservan el derecho de realizar el muestreo e inspección del rotulado, de conformidad con este reglamento técnico, en cualquier momento, a cuenta y a cargo del fabricante o importador

del producto.

7.3 El certificado de inspección e informes de inspección deben estar en idioma español o inglés, o en los dos idiomas.

#### DISPOSICIÓN TRANSITORIA ÚNICA

La presente modificatoria entrará en vigencia, transcurridos ciento ochenta (180) días, a partir de su publicación en el Registro Oficial.