

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ

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

PROYECTO TÉCNICO:

**“ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DE FLUJO VOLUMÉTRICO EN TAPAS DE
CILINDROS DE 8 Y 16 VÁLVULAS PARA UN BLOCK TOYOTA 4AGE”**

AUTORES:

CARLOS ADRIAN JARRO PINEDA

DARÍO JOSUÉ OVIEDO DURAN

TUTOR:

ING. JORGE ESTEBAN FAJARDO MERCHÁN, MSc.

CUENCA - ECUADOR

2020

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Carlos Adrian Jarro Pineda con documento de identificación N° 0105710933 y Darío Josué Oviedo Durán con documento de identificación N° 0104102769, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: **“ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DE FLUJO VOLUMÉTRICO EN TAPAS DE CILINDROS DE 8 Y 16 VÁLVULAS PARA UN BLOCK TOYOTA 4AGE”**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniero Mecánico Automotriz*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, mayo del 2020



Carlos Adrian Jarro Pineda

C.I. 0105710933



Darío Josué Oviedo Durán

C.I. 0104102769

CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DE FLUJO VOLUMÉTRICO EN TAPAS DE CILINDROS DE 8 Y 16 VÁLVULAS PARA UN BLOCK TOYOTA 4AGE”**, realizado por Carlos Adrian Jarro Pineda y Darío Josué Oviedo Durán, obteniendo el *Proyecto Técnico*, que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, mayo del 2020



Ing. Jorge Esteban Fajardo Merchán, MSc.

C.I. 0103496386

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Carlos Adrian Jarro Pineda con documento de identificación N° 0105710933 y Darío Josué Oviedo Durán con documento de identificación N° 0104102769, autores del trabajo de titulación: **“ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DE FLUJO VOLUMÉTRICO EN TAPAS DE CILINDROS DE 8 Y 16 VÁLVULAS PARA UN BLOCK TOYOTA 4AGE”**, certificamos que el total contenido del *Proyecto Técnico* es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, mayo del 2020



Carlos Adrian Jarro Pineda

C.I. 0105710933



Darío Josué Oviedo Durán

C.I. 0104102769

DEDICATORIA

De una manera especial quiero dedicar el esfuerzo puesto en este proyecto de grado a Dios puesto que Él ha puesto a personas importantes en mi vida y a lo largo de mi carrera universitaria,

De igual manera dedico todo este trabajo a mis padres Milton y Angélica y a mi hermano Miguel, pilares fundamentales en mi vida ya que me han apoyado incondicionalmente en todos mis aciertos y errores; y finalmente agradezco a mi abuelo en el cielo ya que él me enseñó desde pequeño a dar lo mejor y esforzarme siempre.

Darío Oviedo

DEDICATORIA

El presente proyecto de tesis, dedico primeramente a Dios, que me dio la fortaleza para sobrepasar todos los obstáculos que se presentaron en el transcurso de mis estudios.

De la misma forma de mucha importancia a mis padres Ángel y Miriam, que son el motor principal en mi vida, me han apoyado en todo momento desde mi infancia, gracias por sus sabios consejos que me permitieron ser una mejor persona.

A mis hermanos Paul, Riki e Isma que me han ayudado con sus palabras de aliento y buenos consejos, permitiéndome culminar mi vida universitaria.

A mi enamorada Cristina y a mis amigos, gracias por su apoyo, ya que fueron de mucha ayuda en el desarrollo de la tesis.

Carlos Jarro

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a la Universidad Politécnica Salesiana por la acogida y darnos la oportunidad de especializarnos y obtener nuestro título de Ingeniería Mecánica Automotriz.

Al Msc Jorge Fajardo por ayudarnos y guiarnos a plasmar nuestros conocimientos en este proyecto de tesis.

A todos los compañeros de estudio y profesores que con sus buenos consejos nos llevaron por el camino correcto, permitiéndonos culminar esta etapa universitaria.

Carlos Adrián Jarro Pineda

Darío Josué Oviedo Duran

RESUMEN

En este documento se presentará un estudio previo de los temas relacionados con el flujo volumétrico, mismos que serán descritos en un estado del arte el cual nos servirá para posteriormente realizar un análisis. El desarrollo del proyecto se realizará en tapas de cilindros de 8 y 16 válvulas, con el fin de comprobar analíticamente cual es la mejor de estas. Se realizarán mediciones de los conductos de admisión para posteriormente plasmar en un software de simulación dándonos así datos de flujo volumétrico.

Para comprobar que una tapa de cilindro es mejor que la otra, se realizara varias mediciones en distintos procesos y formas. Debido a las circunstancias que no existen pruebas que relacionen el trabajo empírico en tapas de cilindros mecanizadas que garanticen el aumento de flujo, se realizaran comprobaciones que nos permitan verificar este aumento de flujo volumétrico.

Utilizando el banco de pruebas Flujómetro se medirá el flujo volumétrico que hay en los conductos de admisión en las dos tapas de cilindro, en dos procesos distintos como son estándar y mecanizado. Esto servirá para corroborar el incremento de flujo al realizar cualquier aumento de volumen en los conductos. De igual forma se realizará simulaciones con las mediciones antes tomadas de los conductos de admisión de las tapas de cilindro, de forma que estos datos nos sirvan para corroborar los datos dados por el banco flujómetro.

Una vez con los datos de las simulaciones y los del banco flujómetro, procederemos aplicar un método analítico a los datos, utilizando un análisis de correlaciones, se comparará los datos de las simulaciones del software y del banco flujómetro, para llegar a la conclusión de que tapa de cilindros tiene mayor rendimiento volumétrico.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	PROBLEMA.....	2
2.1.	ANTECEDENTES.....	2
2.2.	IMPORTANCIA Y ALCANCE.....	3
3.	OBJETIVOS.....	3
CAPÍTULO 1.....		4
4.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	4
4.1.	TAPA DE CILINDROS.....	4
4.1.1.	Clasificación.....	4
4.1.2.	Materiales de fabricación.....	5
4.1.3.	Componentes de tapa de cilindros.....	6
4.2.	MECANIZADOS DE LA TAPA DE CILINDROS.....	7
4.3.	BLOCK 4AGE.....	8
4.4.	EFICIENCIA VOLUMETRICA.....	9
4.5.	MECANICA DE FLUIDOS.....	10
4.5.1.	Fluido.....	10
4.5.2.	Tipos de Flujo.....	10
4.5.3.	La turbulencia de los gases.....	11
4.6.	BANCO FLUJOMETRO.....	13
4.7.	ANSYS.....	14
5.	ESTADO DEL ARTE.....	15
5.1.	“Optimización del diseño del conducto de admisión del motor F1L2006.”.....	15
5.2.	“Estudio de la optimización de flujo en la culata del vehículo Chevrolet Aveo 1600 cm3 DOHC mediante pruebas de Flujo.”.....	15
5.3.	“Diseño y construcción de un flujómetro digital para la medición de elementos de circulación de gases en motores de combustión interna alternativos.”.....	15
5.4.	“Incremento de la eficiencia volumétrica en un motor de combustión interna con la implementación de un sistema de sobrealimentación gobernado por una ECM programable.”.....	16
5.5.	“Análisis de flujo de aire en el conducto de admisión y válvula de admisión de una motocicleta Suzuki de 125cc mediante dinámica de fluidos computacional.”.....	16
5.6.	“Análisis comparativo del flujo de aire en una culata estándar y una preparada de un motor Grand Vitara 1600 CC Sohc.”.....	17
5.7.	“Desarrollo de un sistema automatizado de cálculo para aumentar la eficiencia volumétrica y presión media del pistón en la repotenciación de motores ciclo Otto en autos de competencia.”.....	17

CAPÍTULO 2	18
6. PROTOCOLO DE MUESTREO	18
6.1. Obtención de parámetros para inicio de mediciones.	18
6.2. Obtención de parámetros en block 4AGE.	21
6.3. Muestreo de datos en tapas de cilindros Estándar.	24
6.3.1. Comprobación de Muestras	20
6.3.2. Proceso de mecanizado de tapas de cilindro	30
6.3.2.1. Mecanizado de la tapa de cilindros de 8 válvulas	33
6.3.2.2. Mecanizado de la tapa de cilindros de 8 válvulas	34
6.4. Muestreo de datos de Tapas de cilindro Mecanizadas.	35
6.4.1. Comprobación de muestras en tapas de cilindro mecanizadas	37
6.5. Prueba de potencia y torque del vehículo con tapa de cilindros estándar 8 válvulas utilizando un dinamómetro.	38
6.5.1. Curvas de potencia y torque.	39
CAPÍTULO 3	41
7. MODELADO Y SIMULACION DE ELEMENTOS	41
7.1. CAD de conductos de admisión.	41
7.2. Importación y simulación del modelo en Ansys.	41
7.3. Simulación del paso de flujo de aire en los conductos de la tapa de cilindros estándar de 8 válvulas, basado en la velocidad.	47
7.4. Simulación del paso de aire en los conductos de la tapa de cilindros estándar de 16 válvulas, basado en la velocidad.	48
7.5. Simulación del paso de flujo de aire en los conductos de la tapa de cilindros mecanizada de 8 válvulas, basado en la velocidad de ingreso.	49
7.6. Simulación del paso de aire en los conductos de la tapa de cilindros mecanizada de 16 válvulas, basado en la velocidad.	50
7.7. Cálculo del volumen de los conductos.	51
CAPÍTULO 4	53
8. ANALISIS DE RESULTADOS	53
8.1. Resultado de las simulaciones.	53
8.2. Resultados de banco flujómetro.	56
8.2.1. Resultados comparativos entre la tapa de cilindros de 8 y 16 válvulas estándar. 58	
8.2.2. Resultados comparativos entre la tapa de cilindros de 8 válvulas estándar y mecanizada.	59
8.2.3. Resultados comparativos entre la tapa de cilindros de 16 válvulas estándar y la tapa mecanizada	61

8.2.4.	Resultados comparativos entre la tapa de cilindros de 8 válvulas estándar (estado inicial) y la tapa de cilindros de 16 válvulas mecanizada (estado final).....	62
8.3.	Sustitución de tapa de cilindros.	64
8.4.	Conexión del sistema de encendido.....	68
8.5.	Resultados generales.....	69
8.6.	Curva de Potencia y torque.	70
9.	CONCLUSIONES.....	72
11.	BIBLIOGRAFÍA	74
12.	ANEXOS	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Tapa de cilindros Toyota 4AGE 16v.	4
Figura 2 Flujo laminar	11
Figura 3 Flujo turbulento.....	11
Figura 4 Dirección de la turbulencia en torbellino a la entrada de la mezcla.	12
Figura 5 Turbulencia de tipo horizontal.	12
Figura 6 Banco Flujómetro digital del CIMA.	13
Figura 7 Tapa de cilindros colocada en Banco flujómetro.	14
Figura 8 Software de Simulación ANSYS.	14
Figura 9 Conexiones del sensor MAF.....	18
Figura 10 Intake con dos sensores MAF en el vehículo Vitara.	1
Figura 11 Diagrama de procesos de la obtención de muestras en vehículo Grand Vitara.	20
Figura 12 Diagrama de procesos de la obtención de muestras en vehículo Toyota Levin.	22
Figura 13 Diagrama de flujo de la obtención de muestras en el banco Flujómetro.	25
Figura 14 Grafica de probabilidad en Culatas estándar.	29
Figura 15 Gráfica de intervalos de muestras	29
Figura 16 Conducto de admisión ideal	31
Figura 17 Verificación de los diámetros con palpadores de interiores.	32
Figura 18 Proceso de mecanizado de conductos.	33
Figura 19 Grafica de probabilidad en Culatas Mecanizadas.	37
Figura 20 Grafica de intervalos de confianza en Culatas Mecanizadas.	38
Figura 21 Toyota Levin sobre rodillos del dinamómetro.	39
Figura 22 Curvas de torque y potencia obtenidas en el dinamómetro.	39
Figura 23 Bocetos de conductos de admisión de culatas.	41
Figura 24 Interfaz de Fluid Flow CFX.....	42
Figura 25 Interfaz de Space Clim, Volume Extract.....	42
Figura 26 Interfaz de Mesh, Refinement.	43
Figura 27 Mallado de los conductos de admisión.	43
Figura 28 Interfaz de Setup, Default Domain.	44
Figura 29 Interfaz de Setup, parámetros de Entrada y Salida.	45
Figura 30 Interfaz de Setup, Solver Control.	46
Figura 31 Interfaz de Solution, Results.	46
Figura 32 Simulación de trayectoria de aire en el conducto de admisión de la culata 8 válvulas.	47
Figura 33 Simulación de trayectoria de aire en el conducto de admisión de la culata estándar de 16 válvulas.	48
Figura 34 Simulación de trayectoria de aire en el conducto de admisión de la culata mecanizada de 8 válvulas.	49
Figura 35 Simulación de trayectoria de aire en el conducto de admisión de la culata mecanizada de 16 válvulas.	50
Figura 36 Ventanas para calcular el volumen de los conductos, Ansys.....	52
Figura 37 Grafico de barras de resultados a distintas RPM.....	54
Figura 38 Grafico de barras de resultados de culatas de 16v a distintas RPM.	55
Figura 39 Representación de los valores de CFM a las distintas RPM a las que se realizaron las muestras.....	57
Figura 40 Representación de la diferencia del porcentaje de incremento del flujo volumétrico.	59
Figura 41 Representación de la diferencia del porcentaje de incremento del flujo volumétrico.	60

Figura 42	Representación de la diferencia del porcentaje de incremento del flujo volumétrico.	62
Figura 43	Representación de la diferencia del porcentaje de incremento del flujo volumétrico.	63
Figura 44	Motor con tapa de cilindros de 8 válvulas.	64
Figura 45	Pistones para tapa de cilindros de 8 y 16 válvulas.	65
Figura 46	Block motor con pistones para 16 válvulas.	65
Figura 47	Colocación de taques hidráulicos en tapa de cilindros.	66
Figura 48	Heder y carburadores Mikuni para motor 4age.	67
Figura 49	Motor de 16 válvulas montado en el vehículo.	68
Figura 50	Diagrama de conexiones de módulo de encendido.	69
Figura 51	Grafica de Potencia–Torque de banco dinamométrico.	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación según el número de Válvulas por cilindro	5
Tabla 2 Principales elementos de la tapa de cilindros.....	6
Tabla 3 Tipos de mecanizado en la tapa de cilindros.....	7
Tabla 4 Especificaciones del motor 4AGE	9
Tabla 5 Datos iniciales tomados en el vehículo Grand Vitara	21
Tabla 6 Valores obtenidos del sensor MAF montado tanto en el vehículo Grand Vitara como en el Toyota Levin.....	23
Tabla 7 Valores de Flujo Volumétrico aproximado en condiciones de funcionamiento.	23
Tabla 8 Muestras de Flujo Volumétrico en banco.....	26
Tabla 9 Resultados de Flujo Volumétrico en banco.	20
Tabla 10 Herramientas y Materiales.....	32
Tabla 11 Zonas mecanizadas y sus respectivos diámetros de la tapa de cilindros de 8 válvulas.....	33
Tabla 12 Zonas mecanizadas y sus respectivos diámetros de la tapa de cilindros de 16 válvulas.	34
Tabla 13 Muestras en Banco Flujómetro de Culatas mecanizadas.....	35
Tabla 14 Resultados de Flujo Volumétrico en banco de Culatas mecanizadas.	37
Tabla 15 Velocidades de ingreso del aire.....	45
Tabla 16 Flujo volumétrico de simulaciones de culata estándar de 8 válvulas.....	48
Tabla 17 Flujo volumétrico de simulaciones de culata estándar de 16 válvulas.....	49
Tabla 18 Flujo volumétrico de simulaciones de culata mecanizada de 8 válvulas.....	50
Tabla 19 Flujo volumétrico de simulaciones de culata mecanizada de 16 válvulas.....	51
Tabla 20 Resultados de CFM en simulaciones de las culatas.....	51
Tabla 21 Resultados de volumen en los dos procesos.....	52
Tabla 22 Resultados de simulaciones en Culatas de 8 válvulas.....	53
Tabla 23 Resultados de simulaciones en Culatas de 16 válvulas.....	54
Tabla 24 Resultados de la Sustitución de la tapa de cilindros.....	56
Tabla 25 Datos de CFM de los distintos estados de las culatas y a distintas RPM.....	56
Tabla 26 Porcentajes de incremento del flujo volumétrico entre la tapa de cilindros de 8V y la de 16V.....	58
Tabla 27 Diferencia de volúmenes y dimensiones entre las tapas de cilindros.....	59
Tabla 28 Porcentajes de incremento del flujo volumétrico entre la tapa de cilindros de 8V estándar y la de 8V modificada.....	60
Tabla 29 Diferencia de volúmenes y dimensiones entre las tapas de cilindros.....	61
Tabla 30 Porcentajes de incremento del flujo volumétrico entre la tapa de cilindros de 16V estándar y la de 16V modificada.....	61
Tabla 31 Diferencia de volúmenes y dimensiones entre las tapas de cilindros.....	62
Tabla 32 Porcentajes de incremento del flujo volumétrico entre la tapa de cilindros de 8V estándar y la de 16V modificada.....	63
Tabla 33 Resultados de aumento de Tapas de cilindros de 8 válvulas.....	69
Tabla 34 Resultados de aumento de Tapas de cilindros de 16 válvulas.....	70
Tabla 35 Resultados de Potencia-Torque en el banco dinamométrico.....	71

1. INTRODUCCIÓN.

Dentro del tema de eficiencia en los motores de combustión interna se desglosan varias ideas y métodos para lograrla o extraer el máximo potencial de los mismos, en este caso al hablar de una eficiencia volumétrica, tenemos en cuenta la variable a ser utilizada en nuestro proyecto como es el flujo volumétrico, dicha variable será obtenida y comparada mediante las pruebas en el banco flujómetro como en las simulaciones digitales.

La eficiencia volumétrica ha sido tomada en mucho de los casos solo para concepto de preparación, olvidando que esta, es de suma importancia en el funcionamiento normal y cotidiano de los vehículos; cuando se habla de una eficiencia volumétrica, se abarca un ámbito mucho más amplio que implica el estudio y el comportamiento de los componentes inmersos en este tema, es decir, no solo se trata del mecanizado de las piezas, sino de exhaustivas pruebas y un discernimiento con criterio.

Existen varios temas de estudio e investigación que hablan sobre cómo lograr un alto rendimiento de los motores basados en el estudio de la eficiencia volumétrica, es decir cómo lograr dicha eficiencia, que se debe hacer dentro de los motores, los trabajos de mecanizado en las distintas partes y los factores ideales y reales del funcionamiento del mismo.

En este caso de estudio se pretende identificar y seleccionar que tapa de cilindros es la más eficiente, dirigiendo nuestro estudio en específico a los conductos de admisión o entrada de aire, es por eso que el flujo volumétrico toma importancia y es en sí la variable más importante puesto que como es de conocimiento dentro de las cámaras de combustión ingresa una mezcla de aire combustible, en donde mientras mayor sea el flujo de aire al ingreso, mejores prestaciones brindara el motor del vehículo.

Se estudiará y se trabajara sobre las dos tapas de cilindros como se manifestó con anterioridad, es decir se recolectarán datos de flujo volumétrico, obtenidos de las tapas de cilindro estándar y mecanizadas mediante el banco flujómetro y una vez echo el muestreo comparar datos e identificar la de mayor eficiencia volumétrica.

El fin de este estudio es aportar y brindar resultados confiables en cuanto a eficiencia volumétrica, por ende, lograr un trabajo muy técnico a la hora de ganar u obtener eficiencia, puesto que el mecanizado de los conductos de las tapas de cilindros no será realizado sin antes todo este estudio mencionado.

2. PROBLEMA.

Entre las tapas de cilindro se pueden distinguir dos tipos mayoritarios, 8 y 16 válvulas, entre los dos tipos existe una gran diferencia en cuanto a las dimensiones de los conductos de admisión lo cual deriva en un problema. En la práctica, las tapas de cilindro de 16 válvulas tienen ventaja sobre las 8 válvulas, teniendo un mejor llenado y vaciado de la cámara de combustión, ya que las válvulas ocupan una superficie mayor permitiendo así llegar a altas revoluciones. Por el contrario, a regímenes medios, la tapa de cilindros de 16 válvulas es más lenta que las de 8 válvulas, las tapas de cilindros de 8 válvulas tienen un área menor de llenado y vaciado por lo que son más eficientes que las de 16 válvulas, permitiendo que el aire entre de una forma más rápida en la cámara de combustión. (Dagradi,2018).

Se puede decir también que, al momento de mecanizar los conductos de admisión de la tapa de cilindros, no se poseen estudios de flujo volumétrico, ya que es una práctica aislada del análisis de la eficiencia de los conductos; el problema se da al no contar con estudios científicos en el cual se estudie la eficiencia de los conductos de la tapa de cilindros con un análisis previo en un software de simulación y con una corroboración final en un banco de flujo volumétrico.

2.1. ANTECEDENTES.

La tapa de cilindros del motor es un elemento muy importante para el funcionamiento de este, ya que es el encargado de la entrada y salida de la mezcla para la combustión del motor. Conforme la tapa de cilindros tenga mayor cantidad de válvulas, se tiene la idea que debería permitir el ingreso de mayor flujo de aire, pero a su vez no se tiene el estudio científico que compruebe esta teoría.

A medida que se requiere mayor potencia, los conductos de la tapa de cilindros deberían ser más grandes conforme a la cilindrada, pero para incrementar en motores de cilindrada baja existen diferentes formas de aumentar la potencia, pero en este caso nos vamos a fijar solamente en la tapa de cilindros. La mecanización de los conductos de admisión consta de agrandar las toberas con una fresadora permitiendo así contener mayor cantidad de flujo volumétrico, para garantizar dicho aumento de flujo volumétrico se debería comprobar en un banco especializado para esto como es un banco flujómetro.

Todas estas mejoras para aumentar el flujo volumétrico en conductos de admisión y determinar la tapa de cilindros con mayor eficiencia está en incertidumbre, esta investigación está destinada a descubrir y responder con certeza estas teorías de forma experimental.

2.2. IMPORTANCIA Y ALCANCE

El presente documento, servirá para poder despejar la incertidumbre de que tapa de cilindros es más eficiente que la otra de forma técnica en motores con block de la misma serie pero que a su vez tengan la disponibilidad para dos tapas de cilindro con mayor número de válvulas; y a su vez comprobar cualquier aumento de flujo volumétrico en la mecanización de los conductos de la tapa de cilindros en trabajos de forma empírica.

De igual forma el proyecto puede servir para otras investigaciones sobre tapas de cilindros, proyectos que se dedican a la repotenciación de motores garantizando mayor eficiencia y trabajos que se realizan en los conductos de admisión.

3. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL.

- Analizar la eficiencia de flujo volumétrico de las tapas de cilindros de 8 y 16 válvulas para un block Toyota 4AGE.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un estudio del estado de arte del rendimiento volumétrico para la determinación de la metodología de estudio de las características de las tapas de cilindro.
- Diseñar el protocolo de muestreo de datos en las tapas de cilindros estándar y mecanizado de los conductos de admisión, para la obtención de datos del rendimiento volumétrico a través del Banco Flujómetro.
- Elaborar simulaciones con el software Ansys para la determinación del rendimiento volumétrico.
- Realizar la comparación de resultados del rendimiento volumétrico.

CAPÍTULO 1

4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

4.1. TAPA DE CILINDROS

Las tapas de cilindros, culatas o conocidos en nuestro medio como cabezote, es un elemento fundamental de los motores de combustión interna, son los encargados de llevar la mezcla aire-combustible hacia la cámara de combustión, y sellar las partes superiores de los cilindros con la finalidad de no perder compresión al momento de las explosiones; se encuentra unida al block por medio de pernos y juntas de forma que a elevadas temperaturas los fluidos de agua y aceite no se mezclen, la tapa de cilindros contiene piezas que trabajan conjuntamente como son válvulas, barras de levas, poleas, bujías, etc.



Figura 1 Tapa de cilindros Toyota 4AGE 16v.

Fuente: Autores.




4.1.1. Clasificación.

Dentro de la clasificación de la tapa de cilindros tenemos por el número de válvulas por cilindro y número de árboles de levas; estas clasificaciones se complementan y funcionan siendo una sola, es decir si tenemos ocho válvulas tendremos un solo árbol de levas en el caso de tener 16 o 20 válvulas tendremos dos árboles de levas. A continuación, nos centraremos en la clasificación dada por el número de válvulas puesto que se relaciona con el número de conductos a mecanizar o estudiar.

- Según el número de válvulas

Tabla 1 Clasificación según el número de Válvulas por cilindro

Fuente: Autores.

Numero de Válvulas por cilindro	Descripción	Ejemplo
<p>Dos válvulas</p>	<p>Se emplean el uso de dos válvulas por cilindro, una permite el paso de mezcla de admisión y otra controla el paso de los gases producto de la combustión.</p>	 <p>Fuente: Autores</p>
<p>Tres válvulas</p>	<p>Incorpora una tapa de cilindros con tres válvulas, dos de admisión y una de escape.</p>	 <p>Fuente: Autores</p>
<p>Cuatro válvulas</p>	<p>Constan de dos válvulas para admisión y otras dos para escape, trabajan de mejor manera en regímenes elevados de revoluciones.</p>	 <p>Fuente: Autores</p>
<p>Cinco válvulas</p>	<p>Sirven eficientemente solo en regímenes elevados entregando toda la potencia destinada por el fabricante.</p>	 <p>Fuente: Autores</p>

4.1.2. Materiales de fabricación.

Estos dependen del uso que se le dé a la tapa de cilindros, por lo general se fabrican de hierro y aluminio, estos serán usados según las exigencias y se añadirán compuestos especiales que harán de la tapa de cilindros más resistente.

- **Aleación de aluminio:** Este tipo de aleaciones son muy livianas, resisten mejor a elevadas temperaturas y son las más usadas estos tiempos, una de las propiedades que resalta es la de evacuar mejor el calor y ayudar a la refrigeración. Sus aleaciones son con silicio y magnesio.

- **Aleación de hierro:** Debido al material robusto que lo compone, son mejores resistentes mecánicos y térmicos, sus aleaciones son de cromo y níquel, dotándolo de mayor resistencia a la deformación.

4.1.3. Componentes de tapa de cilindros.

La tapa de cilindros al ser un elemento primordial en el funcionamiento de un motor, consta de elementos fijos y móviles los cuales permiten el ingreso y salida de los gases de escape y trabajan de manera sincronizada con el resto del motor, aumentando o reduciendo el desempeño del motor.

Tabla 2 Principales elementos de la tapa de cilindros

Fuente: Autores.

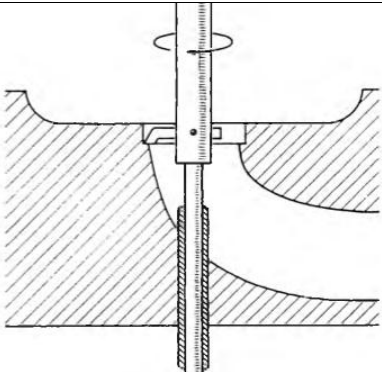

COMPONENTES DE TAPA DE CILINDROS		
<p>Conductos de admisión y escape.</p>	<p>Los conductos de admisión son los encargados de transportar la mezcla hacia la cámara de combustión; los conductos de escape se encargan de evacuar los gases ya combustionados.</p>	 <p>Fuente: https://www.actualidadmotor.com/el-rol-de-las-valvulas-de-l-motor/</p>
<p>Válvulas</p>	<p>Permiten la entrada y salida de los gases a la cámara de combustión en cada fase del motor, sellando herméticamente la cámara de combustión. (Alonzo, 2004).</p>	 <p>Fuente: Autores.</p>
<p>Árbol de levas.</p>	<p>En él están mecanizadas las levas, controlando así el tiempo de apertura y cierre de las válvulas.</p>	 <p>Fuente: Autores.</p>

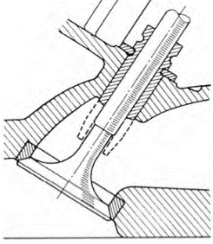

4.2. MECANIZADOS DE LA TAPA DE CILINDROS.

Dentro de este punto encontramos varios tipos de mecanizados los cuales aumentan la eficiencia de la misma en distintas formas, como por ejemplo el cepillado de la tapa de cilindros, recorte de la dimensión de la guía de válvulas y el sobredimensionado de los conductos de admisión y escape. Lo que se busca con el mecanizado es optimizar el llenado de las cámaras de combustión, es decir que, a la hora de la admisión de aire, el mismo logre ingresar de una manera más rápida y en gran cantidad, y a la hora del escape los gases fluyan sin ningún impedimento de una forma rápida.

Tabla 3 Tipos de mecanizado en la tapa de cilindros

Fuente: Autores.

Tipos de Mecanizados	Descripción	Ejemplo
<p>Recorte de los asientos de válvula</p>	<p>Se realiza este trabajo cuando se va a instalar válvulas más grandes, instalando asientos nuevos de un mayor diámetro. La herramienta de corte utilizada en este sobre dimensionado, dispone de una cuchilla que desarrolla un radio de corte, en su extremo, tiene una varilla o guía intercambiable, cuyo diámetro deberá ser el mismo que el de la válvula original.</p>	 <p>Fuente: STEFANO GILLERI, Preparación de Motores Serie para Competición, Pag 154</p>
<p>Fresado de los asientos de válvula</p>	<p>Tiene el fin de generar los ángulos correctos para el auto centrado de la válvula y que la zona de contacto entre ambas piezas sea la correcta.</p>	 <p>Fuente: STEFANO GILLERI, Preparación de Motores Serie para Competición, Pag 157</p>

<p>Recorte de la saliente de la guía de la válvula</p>	<p>Al recortar los extremos de las guías de válvulas, evitamos el frenado a la corriente de la mezcla que se crea debido a la oposición del material de este saliente en los conductos.</p>	 <p>Recorte del sobrante de la guía de válvulas Fuente: STEFANO GILLERI, Preparación de Motores Serie para Competición, Pag 162</p>
<p>Mecanizado en los conductos de admisión (sobredimensionado).</p>	<p>“Se realiza un desbaste de las toberas de admisión, para después seguir con el pulido mediante piedras abrasivas, gratas de distinta numeración y por último lijas para un óptimo acabado, donde se mejora la capacidad de llenado del cilindro” (Aristizabal & & Cisneros, 2010).</p>	 <p>Fuente: Autores</p>
<p>Mecanizado en los conductos de Escape (sobredimensionado).</p>	<p>“Se ejecuta un rediseño en el conducto de escape cavando una sección netamente cónica, a partir de la apertura de la válvula de escape hasta la unión entre el colector de escape y el múltiple. Una condición importante para mejorar la salida de los gases es contar con un ducto con curva que acelerará la expulsión” (Aristizabal & & Cisneros, 2010).</p>	 <p>Fuente: Autores</p>

4.3. BLOCK 4AGE.

La tapa de cilindros fue desarrollada por la empresa japonesa Yamaha Motor Corporation y fue construida junto con los motores 4A y 2A. La producción de los diversos modelos de motores duró tres generaciones, desde mayo de 1983 hasta 1991 para versiones de 16 válvulas.

Estos motores 4AGE fueron introducidos en 1984 como reemplazo del motor 2TG, este motor se destacó por su diseño compacto, de esta manera se generó mayor potencia. El material principal de fabricación del bloque fue de hierro. Este motor está hecho para generar potencia a altas revoluciones, y está pensado para aguantar un manejo agresivo. Este motor se equipó en vehículos como el Toyota Trueno y Levin AE86, Toyota MR2, Toyota Fx AE82, entre otros

modelos de Corolla. Los datos técnicos del motor de primera generación, en la cuales nos vamos a guiar son las siguientes:

Tabla 4 Especificaciones del motor 4AGE

Fuente: Autores

Motor 4AGE	
Fabricante	Toyota
Producción	1983-1991
Configuración	4 en línea
Desplazamiento	1587 cc
Diámetro del cilindro	81mm
Tren de Válvulas	DOHC
Potencia	115hp @6600 rpm
Par	98 lb-ft @ 4800 rpm

4.4. EFICIENCIA VOLUMETRICA.

La eficiencia volumétrica más conocida como EV, es la capacidad del motor de aspirar la mezcla aire-combustible en forma de volumen, la cual entra a los cilindros al momento de la carrera de admisión. Debido a las dimensiones de los conductos y el número de válvulas que posee el motor, se logra tener distintas eficiencias; la cantidad de volumen de aire que ingresa al motor en cualquier latitud es mucho menor comparada con la cantidad que ingresa a nivel del mar, siendo estas ideales, la relación de el volumen ideal (V_p) con el volumen real (V_a) se denomina eficiencia volumétrica. Entonces:

$$E_v = \frac{V_a}{V_p} * 100 \quad [1]$$

La eficiencia volumétrica en regímenes normales de funcionamiento del motor es mayor que a regímenes altos, debido a que los niveles de aspiración descienden notablemente, este decrecimiento de eficiencia volumétrica se produce al momento de que el motor gira más rápido, los tiempos de apertura y cierre de válvulas son mucho más cortos, por lo que la mezcla no logra entrar con facilidad, esto se compensa aumentando la eficiencia con la modificación de los conductos de admisión y escape, ya sea mecanizando de forma que tenga mayor capacidad de flujo volumétrico, o de igual forma aumentando los tiempos de apertura de válvulas; también se puede aumentar la eficiencia con una tapa de cilindros de mayor numero

de válvulas, permitiendo así aspirar y liberar más libremente, incluso a altas revoluciones. Con todas estas mejoras obtendríamos mayor presión de combustión y mayor torque del motor.

4.5. MECANICA DE FLUIDOS.

La Mecánica de Fluidos estudia las leyes del movimiento de los fluidos y sus procesos de interacción con los cuerpos sólidos. La Mecánica de Fluidos como hoy la conocemos es una mezcla de teoría y experimento que proviene por un lado de los trabajos iniciales de los ingenieros hidráulicos, de carácter fundamentalmente empírico, y por el otro del trabajo de básicamente matemáticos, que abordaban el problema desde un enfoque analítico (Domingo, 2011).

4.5.1. Fluido.

Un fluido es un gas o líquido que no posee forma definida, según Agustín Martín Domingo (1997-2011) La característica fundamental de los fluidos es la denominada fluidez. Un fluido cambia de forma de manera continua cuando está sometido a un esfuerzo cortante, por muy pequeño que sea éste.

Dentro de los fluidos, la principal diferencia entre líquidos y gases se basa en las distintas compresibilidades de los mismos.

- Gases. Los gases presentan una gran compresibilidad, que influye sobre las características del flujo, ya que tanto el volumen como la densidad varían con facilidad.
- Líquidos. En el caso de los líquidos, por el contrario, la compresibilidad es muy débil. Al contrario que los gases, que tendrían a ocupar todo el volumen que los contiene, los líquidos tienden a formar una superficie libre.

4.5.2. Tipos de Flujo.

El desplazamiento seguido por un elemento de un fluido móvil se denomina línea de flujo. Si los elementos que pasan por una misma sección o parte de un conducto siguen la misma línea de flujo que los elementos que les preceden se denomina flujo estacionario. Al iniciar el movimiento, el flujo no es estacionario, pudiendo en algunos casos transformarse en estacionario después de algún tiempo.

- **Flujo Laminar**

Se denomina flujo laminar cuando un fluido se mueve en capas paralelas sin llegar a mezclarse una con la otra. Este tipo de fluido se encuentra cercano a las paredes del

tubo por donde circula, en donde se produce fricción y disminuye la velocidad de flujo (Gavilánez & Gallardo, 2014).

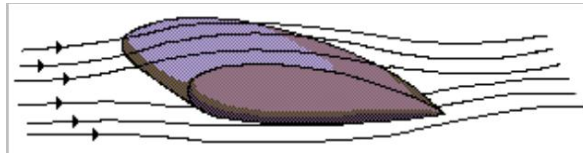


Figura 2 Flujo laminar

Fuente: (Saquicela, 2016)

- **Flujo Turbulento**

Las partículas se mueven siguiendo trayectorias erráticas, desordenadas, con formación de torbellinos. Cuando aumenta la velocidad del flujo, la tendencia al desorden crece (Salas & Urrestarazu, 2008)

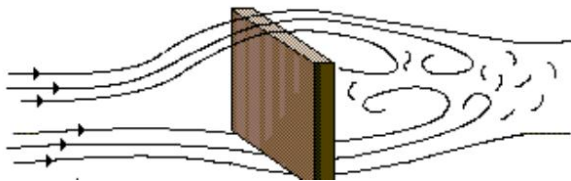


Figura 3 Flujo turbulento

Fuente: (Saquicela, 2016)

4.5.3. La turbulencia de los gases.

En la formación de la turbulencia intervienen varios factores, entre los que cabe destacar la superficie del conducto de admisión y la forma de la cámara o de la cabeza del pistón. En el tiempo de admisión, mientras el pistón desciende, el paso de la mezcla puede producirse como se muestra en la **Figura 4**. “La velocidad de turbulencia con la que penetra la mezcla en el cilindro debe ser mantenida y acelerada por el pistón, durante su carrera de compresión, hacia el P.M.S. De esta forma, cuando salta la chispa, la velocidad residual de desplazamiento de la mezcla comprimida facilita la instantánea inflamación de toda la mezcla. Este tipo de turbulencia podría denominarse de «caída» y se mantiene en un sentido vertical, de arriba a abajo del cilindro” (Gilleri, 2007).

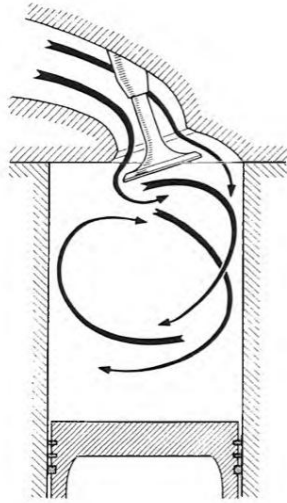


Figura 4 Dirección de la turbulencia en torbellino a la entrada de la mezcla.

Fuente: (Gilleri, 2007), Pag 166.

Otro tipo de turbulencia es el mostrado en la **Figura 5**. La orientación de la mezcla en la parte alta del cilindro hace que esta turbulencia se mantenga especialmente en un plano horizontal, de modo que se transfiere así a través de la succión dada por el pistón en el tiempo de admisión y sube en estos planos horizontales hasta el momento de fin de compresión y de la explosión o salto de la chispa. Se trata, pues, de una turbulencia en forma de remolino y se considera como una turbulencia horizontal (Gilleri, 2007).

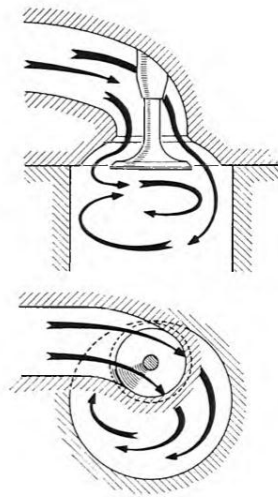


Figura 5 Turbulencia de tipo horizontal.

Fuente: (Gilleri, 2007), Pag 166.

4.6. BANCO FLUJOMETRO.

Este equipo permite hacer una lectura de la condición aerodinámica de los pasajes de admisión (flujómetro), mide la resistencia al flujo de aire. La máquina succiona aire a través de los ductos y basa sus mediciones en el valor de las variaciones de presión que se producen. Si el flujómetro indica una presión mayor en los pasajes, cuando el gas se desplaza a través de él, significa que la resistencia al flujo es menor y por consiguiente es más eficiente (Motores, s.f).



Figura 6 Banco Flujómetro digital del CIMA.

Fuente: (Saquicela, 2016)

El flujómetro es necesario para obtener la información confiable que permita realizar modificaciones en forma científica de los pasajes de admisión. Esmerilar la superficie interna para acrecentar el diámetro no siempre trae beneficio. Los datos registrados por el flujómetro son analizados mediante programas de computador que arrojan en sus resultados las medidas y características que deben tener los pasajes para obtener la resistencia al flujo que genere una presión de alimentación adecuada (Motores, s.f).

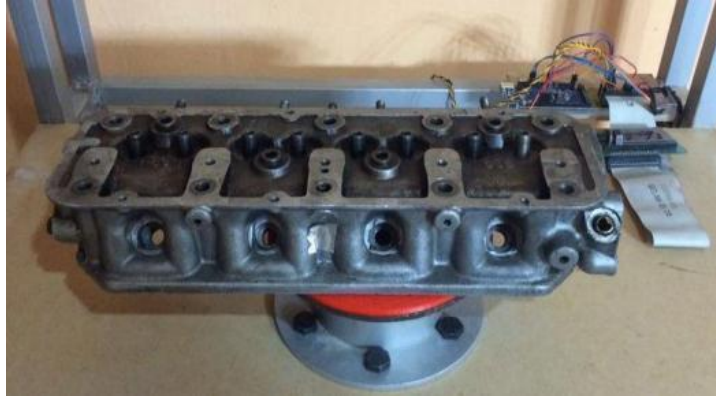


Figura 7 Tapa de cilindros colocada en Banco flujómetro.

Fuente: (Saquicela, 2016)

4.7. ANSYS.

Es una compañía que ofrece softwares diseñados para aplicaciones ingenieriles, sirven para analizar distintos ámbitos como son elementos finitos, dinámica de fluidos, electrónica, semiconductores, software integrado y optimización de diseño. Este software de simulación presta una idea clara de cómo funcionara y reaccionara un elemento en un proceso bajo un entorno normal de trabajo. Para analizar fluidos Ansys utiliza volúmenes finitos que no es más que la suma de todos los volúmenes de control considerados en donde circulan los flujos deseados. Tiene una interfaz gráfica y varias herramientas que permiten al diseñador modelar según sus intereses y requerimientos de trabajo.

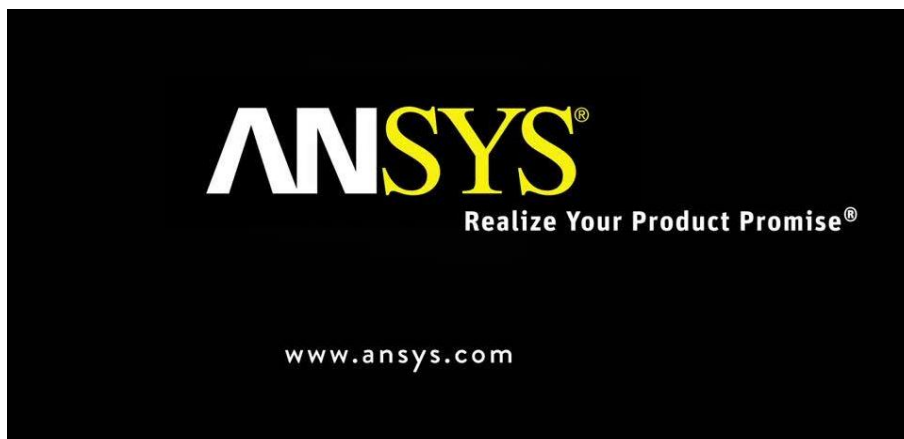


Figura 8 Software de Simulación ANSYS.

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

5. ESTADO DEL ARTE

5.1. “Optimización del diseño del conducto de admisión del motor F1L2006.”

En esta investigación (Sanchez, Carvajal, Chacartegui, & Muñoz, 2002), “Se describe la caracterización y diseño de los conductos de admisión de un motor de encendido por compresión monocilíndrico con refrigeración por aire. Para ello se estudia la evolución del flujo de aire operativo del coeficiente de descarga mediante experimentación y simulación con un código de cálculo fluidodinámico. Para las configuraciones de las culatas estándar, nos dice que, el coeficiente de descarga disminuye cuando aumenta el levantamiento de la válvula y es casi constante con la relación de presiones. Asimismo, se aprecia que la disminución del torbellino está asociado a un aumento del coeficiente de descarga.”

5.2. “Estudio de la optimización de flujo en la culata del vehículo Chevrolet Aveo 1600 cm³ DOHC mediante pruebas de Flujo.”

Este proyecto experimental, según (Gavilánez & Gallardo, 2014), “Tiene como finalidad poder hacer comprobable los trabajos de mejoramiento, ampliación y pulido en los conductos de admisión de una culata para así aumentar la eficiencia de llenado de la cámara de combustión, por consiguiente, tener un aumento en el rendimiento volumétrico de un motor atmosférico. Los trabajos de modificación de un cabezote, empiezan básicamente tomando los parámetros más relevantes que son diseño de construcción del fabricante y capacidad de llenado en la cámara de combustión, los mismos que se comprueban con un flujómetro de flujo regulable”.

5.3. “Diseño y construcción de un flujómetro digital para la medición de elementos de circulación de gases en motores de combustión interna alternativos.”

En este proyecto (Saquicela, 2016) nos dice que “Se desarrolló un equipo capaz de cuantificar la cantidad de aire aspirado por una culata, en función de las modificaciones que comprenden la preparación de un vehículo de competición. Teniendo en cuenta la funcionalidad del flujómetro como una herramienta digital de precisión, se desarrolla cada uno de sus componentes, llegando a obtener el equipo ideal para la determinación de eficiencia volumétrica ideal”.

5.4. “Incremento de la eficiencia volumétrica en un motor de combustión interna con la implementación de un sistema de sobrealimentación gobernado por una ECM programable.”

Esta investigación (Iza & Novillo, 2016) la cual analiza profundamente la eficiencia volumétrica en un motor sobrealimentado nos dice que “El propósito es demostrar que, mediante la implementación de sistemas de sobrealimentación controlados electrónicamente, en motores de combustión interna se puede lograr un incremento significativo de la eficiencia volumétrica y de esta manera aumentar el torque y la potencia del motor. Se inicia con la selección de los componentes adecuados para la instalación del sistema de sobrealimentación para posteriormente continuar con la modelación y simulación de elementos del sistema, empleando software (Solidwok). Se realizaron diferentes pruebas para la obtención de datos los cuales se analizarán mediante una herramienta estadística (T-Student) la cual permitió comparar los diferentes parámetros de funcionamiento del motor, antes y después de la instalación del sistema. La implementación de este tipo de sistemas permitió una reducción significativa en las emisiones de gases siendo satisfactorios basados en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN (Análisis de gases) así como el consumo de combustible disminuyo.”

5.5. “Análisis de flujo de aire en el conducto de admisión y válvula de admisión de una motocicleta Suzuki de 125cc mediante dinámica de fluidos computacional.”

El presente proyecto tiene como finalidad según (Espinoza, 2016), “Analizar el flujo del aire en el conducto de admisión y la válvula de admisión en un motor ciclo Otto de una motocicleta Suzuki 125cc, mediante el método de elementos finitos, utilizando la plataforma computacional Ansys Workbench. El análisis se efectuó tomando las medidas físicas del modelo actual correspondiente a la culata, es decir por donde la mezcla aire combustible hace su recorrido hasta llegar a la cámara de combustión. Dentro de los parámetros se estableció el mallado de la geometría del fluido definiendo el tipo de malla. Para el análisis de flujo se tomaron ciertas condiciones iniciales del aire como: presión de referencia, temperatura de referencia absoluta, premezclado de gasolina en el aire, transferencia de calor, radiación, etc. Se realizó una comparación teórica con los resultados obtenidos de la simulación como: velocidad del gas dentro de la geometría, consumo de aire y turbulencia con los datos obtenidos de las bibliografías citadas en el trabajo.”

5.6. “Análisis comparativo del flujo de aire en una culata estándar y una preparada de un motor Grand Vitara 1600 CC Sohc.”

El estudio del análisis tiene como principal propósito (Lopez & Chicaiza, 2017), “Poder cuantificar y verificar el aumento de flujo de aire que existe al sobredimensionar los conductos de admisión y escape de una culata. Este estudio se desarrolla haciendo una comparativa del flujo de aire que existe entre una culata estándar y una preparada, además detallar los resultados de potencia y torque que posee el vehículo con cada culata, los mismos que son debidamente comprobados en el equipo de comprobación de flujo, en el dinamómetro de rodillos y en el software de gráfico y simulación Solidworks. Con el desarrollo de esta investigación se demuestra que el equipo de comprobación de flujo puede cuantificar con datos reales y exactos el aumento de flujo de aire que existe al sobredimensionar los conductos de admisión y escape de la culata. El objetivo de esta investigación es poder conocer en qué porcentaje aumentara el rendimiento del vehículo, sobredimensionando los conductos de admisión y escape de la culata utilizando equipos apropiados de medición que puedan facilitar y sustentar este trabajo.”

5.7. “Desarrollo de un sistema automatizado de cálculo para aumentar la eficiencia volumétrica y presión media del pistón en la repotenciación de motores ciclo Otto en autos de competencia.”

La actividad del deporte tuerca en el país, se ha desarrollado de manera empírica y sin herramientas y diseños que respalden estas mejoras. Razón por la cual en esta investigación (Andrade & Bautista, 2019), “Se realizó la recopilación de información teórica de varias bibliografías de cálculo, diseño y construcción de motores, con la información segmentada y analizada se desarrolló un software mediante programación en MATLAB, que permite calcular y dimensionar las variables de un motor para obtener mayor potencia y rendimiento del mismo, y así automatizar el rediseño de los motores de uso comercial con fines deportivos. Los datos entregados por el software se pusieron en práctica en el desarrollo de un motor G10 obteniendo un incremento de la relación de compresión del 16%, la velocidad media del pistón cambio de 12.8m/s a 17 m/s, razón por la cual la potencia y las revoluciones por minuto (rpm) incrementaron un 37% y 25% respectivamente. Estos resultados se corroboraron con la ayuda de un banco dinamométrico.”

CAPÍTULO 2

6. PROTOCOLO DE MUESTREO

En este capítulo se obtendrá las muestras referentes a flujo volumétrico, para después ser analizadas y comparadas, lo primero es realizar la parametrización del banco flujómetro, para esto se necesita saber las condiciones de operación del banco y sus variables de medición, logrando así determinar el parámetro inicial para comenzar las mediciones.

El banco flujómetro fue diseñado para mostrar datos de flujo volumétrico en unidades de CFM (Cubic Feet Meters), esta cantidad de flujo varía según la aspiración, para controlar el flujo nos basamos del voltaje en el sensor MAF, siendo este de 0 a 5 voltios.

6.1. Obtención de parámetros para inicio de mediciones.

El banco flujómetro no posee una ECU, y es por ello que no se obtiene un dato de flujo másico, por lo que, para obtener esta variable, se puede ayudar de un vehículo con gestión electrónica y a su vez que trabaje con sensor MAF, en nuestro caso se utilizó un vehículo Chevrolet Grand Vitara del año 2010. Lo que se pretende, es montar el sensor MAF del banco flujómetro, con el fin de tener dos valores de voltaje, pero un solo valor de flujo másico, para ello se siguió el proceso descrito a continuación.

Se comienza desmontando el sensor MAF del banco flujómetro y se lo acopla al Intake del vehículo “Grand Vitara”, seguido de esto se alimenta al sensor con 12V al pin 3 y se conecta a tierra el pin 1, el pin número 2 se lo dejara libre puesto que este nos da la señal es decir el voltaje.

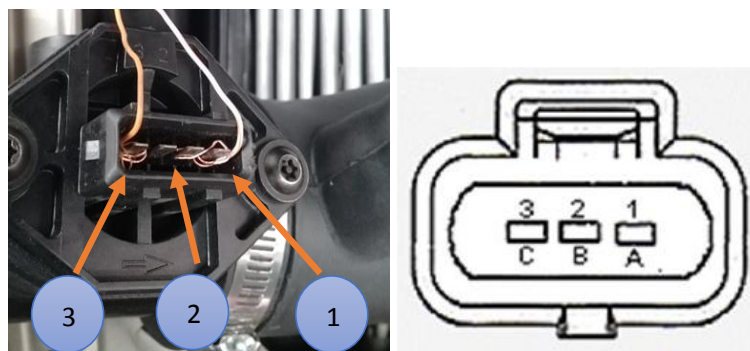


Figura 9 Conexiones del sensor MAF

Fuente: Autores.

El sensor original del vehículo nos brinda flujo másico por medio del scanner en unidades de gramos por segundo y a su vez un voltaje; en cuanto el sensor MAF del banco nos da solo voltaje; en la figura 10 se muestra un diagrama del proceso de obtención de las muestras, el cual nos indica los aspectos y los pasos a tomar en cuenta para determinar de manera correcta los datos de voltaje y flujo másico; para adquirir las muestras se debe acelerar el vehículo a distintas revoluciones por minuto, teniendo regímenes bajos medios y altos; para un mejor muestreo, se realizó las mediciones cada 200 revoluciones aproximadamente de forma que tengamos un rango de valores exactos y precisos, una vez con los resultados en flujo másico se los convierte a flujo volumétrico, para esto se lo realizó con una aplicación web denominada Remak¹, la cual usa variables del ambiente como humedad, presión y temperatura para convertirlos a flujo volumétrico; una vez ya con los valores de flujo volumétrico del vehículo Gran Vitara, se los convierte de forma que sean proporcionales al voltaje de los dos sensores MAF. teniendo así un flujo volumétrico aproximado con el sensor MAF del banco.



Figura 10 Intake con dos sensores MAF en el vehículo Vitara.

Fuente: Autores.

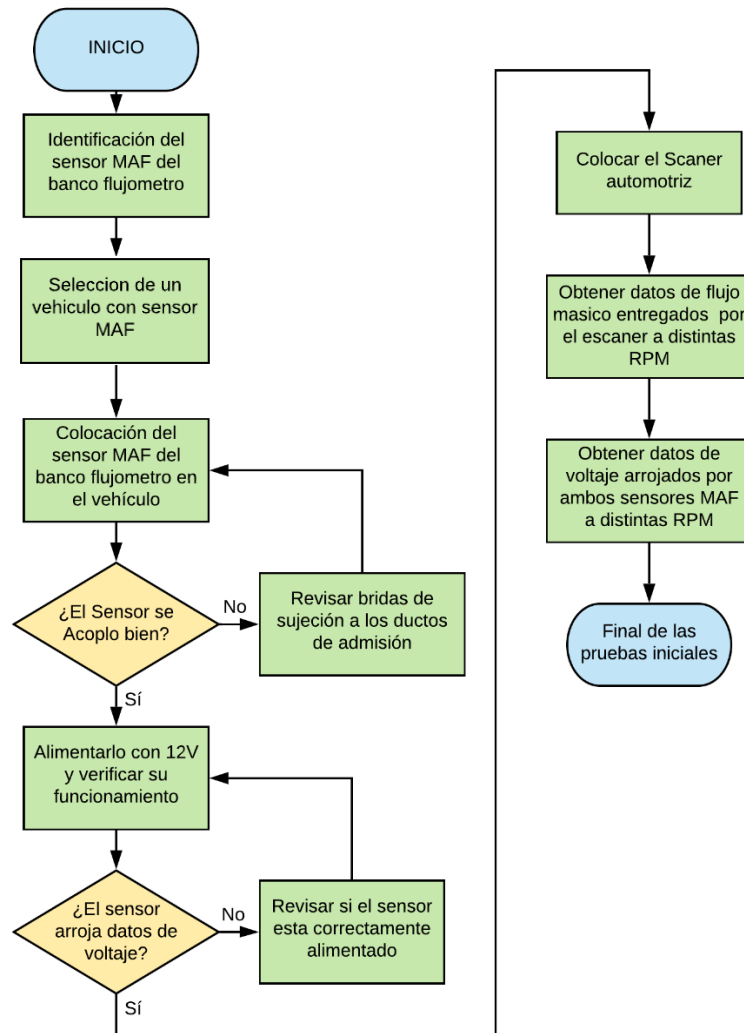


Figura 11 Diagrama de procesos de la obtención de muestras en vehículo Grand Vitara.

Fuente: Autores.

Se tomó los datos de flujo másico con el fin de comparar y relacionar el voltaje entregado por el MAF original de vehículo y el voltaje del MAF utilizado en el Banco Flujómetro, de manera que si los voltajes difieren de cada sensor, el valor de flujo másico va a ser el mismo, teniendo así la siguiente tabla donde se muestran los distintos valores de voltaje entregado por los sensores y sus respectivos valores de Flujo másico y volumétrico.

Tabla 5 Datos iniciales tomados en el vehículo Grand Vitara

Fuente: Autores

RPM	Grand Vitara		Sensor MAF del banco		CFM Aprox
	Voltaje	MAF (g/s)	Voltaje	MAF (g/s)	
755	1,91	1,96	0,35	1,96	12,17
940	1,96	2,5	0,48	2,5	15,52
1029	1,99	2,77	0,55	2,77	17,19
1207	2,02	3,128	0,65	3,128	19,42
1322	2,04	3,34	0,69	3,34	20,73
1422	2,07	3,59	0,8	3,59	22,28
1712	2,13	4,45	0,98	4,45	27,62
1850	2,16	4,85	1,08	4,85	30,10
2050	2,21	5,65	1,2	5,65	35,07
2572	2,3	7,02	1,4	7,02	43,57
2892	2,36	8,3	1,53	8,3	51,52
3082	2,39	8,92	1,61	8,92	55,37
3313	2,44	9,62	1,7	9,62	59,71
3449	2,48	10,53	1,81	10,53	65,36
3882	2,56	12,89	1,99	12,89	80,01
4000	2,6	13,92	2	13,92	86,40
4209	2,65	15,13	2,12	15,13	93,91
5096	2,75	19,81	2,46	19,81	122,96

6.2. Obtención de parámetros en block 4AGE.

El segundo procedimiento a seguir es correlacionar las mediciones tomadas del vehículo “Grand Vitará” tanto de voltaje como de flujo másico, con las mediciones de voltaje que se arrojará al colocar el sensor MAF del banco flujómetro en el vehículo Toyota Levin.

El diagrama de flujo a continuación indica el proceso para la obtención de muestras de voltaje a distintas revoluciones del vehículo Toyota Levin con block 4AGE, como se mencionó, lo que se pretende es tener una medida de voltaje tomada del sensor MAF y aproximar con las medidas tomadas con anterioridad, es decir aproximar los datos de voltaje y obtener un solo valor de flujo másico.

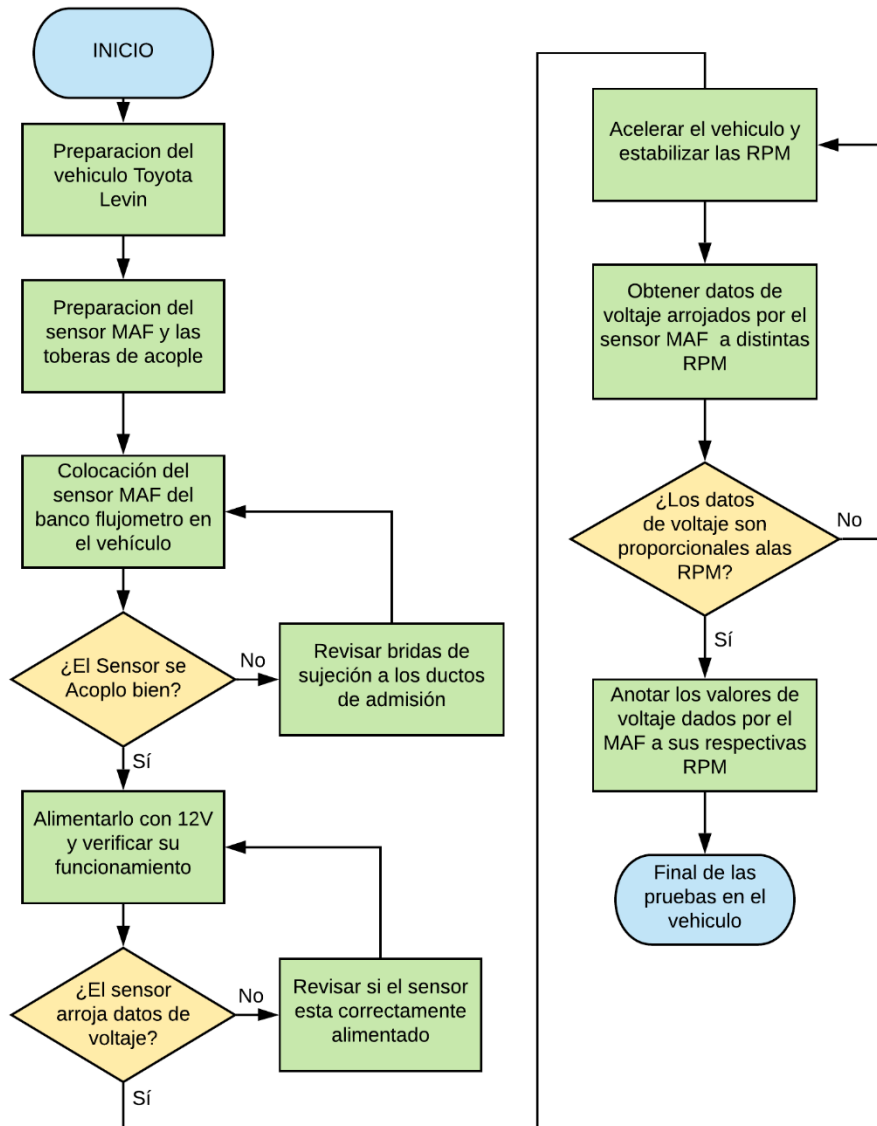


Figura 12 Diagrama de procesos de la obtención de muestras en vehículo Toyota Levin.

Fuente: Autores

Se debe colocar el sensor MAF del banco en la entrada del motor 4AGE, con esto se obtienen muestras a diferentes revoluciones, obteniendo distintos valores de voltaje, que van desde 0.34 a 2.8 voltios, hasta unas 6000 revoluciones por minuto. Con esto, se diseña una tabla donde se colocan los voltajes del sensor MAF del banco colocado en el vehículo Toyota Levin y los voltajes del sensor MAF del banco colocado en el vehículo Grand Vitara, así como los datos de flujo másico de la tabla 4, obteniendo la siguiente tabla en donde los espacios faltantes de CFM pertenecientes a los valores de voltaje, son completados al realizar una interpolación.

Tabla 6 Valores obtenidos del sensor MAF montado tanto en el vehículo Grand Vitara como en el Toyota Levin.

Fuente: Autores.

VALORES CFM VITARA - TOYOTA					
voltaje	MAF	CFM TEORICO	voltaje	MAF	CFM TEORICO
0.35	1.96	12.17	1.2	5.65	35.07
0.48	2.5	15.52	1.22	5.78	35.88
0.51	2.61	16.20	1.33	6.53	40.53
0.55	2.77	17.19	1.35	6.67	41.40
0.56	2.8	17.38	1.38	6.88	42.70
0.58	2.87	17.81	1.4	7.02	43.57
0.63	3.05	18.93	1.43	7.31	45.37
0.65	3.128	19.42	1.48	7.8	48.41
0.69	3.34	20.73	1.52	8.2	50.90
0.75	3.47	21.54	1.53	8.3	51.52
0.8	3.59	22.28	1.6	8.84	54.87
0.86	3.87	24.02	1.61	8.92	55.37
0.89	4.02	24.95	1.7	9.62	59.71
0.95	4.3	26.69	1.73	9.86	61.20
0.98	4.45	27.62	1.81	10.53	65.36
1.01	4.57	28.37	1.84	10.92	67.78
1.05	4.73	29.36	1.99	12.89	80.01
1.08	4.85	30.10	2	13.92	86.40
1.09	4.91	30.48	2.12	15.13	93.91
1.16	5.38	33.39	2.46	19.81	122.96
1.19	5.58	34.63			

Una vez organizado todos los datos de voltaje y calculado el CFM aproximado se genera otra tabla extrayendo únicamente los datos correspondientes a los valores arrojados por el sensor MAF montado en el motor Toyota Levin teniendo lo siguiente:

Tabla 7 Valores de Flujo Volumétrico aproximado en condiciones de funcionamiento.

Fuente: Autores.

MAF EN TOYOTA 8V		
RPM	VOLTAJE	CFM APROX
1040	0.51	16.2
1110	0.56	17.38
1210	0.63	18.93
1350	0.75	21.54
1440	0.86	24.02
1460	0.89	24.95
1520	0.95	26.69

	1600	1.01	28.37	
	1610	1.05	29.36	
	1940	1.09	30.48	
	1980	1.16	33.39	
	2080	1.19	34.63	
	2350	1.33	40.35	
	2500	1.35	41.4	
	2540	1.38	42.7	
	2950	1.43	45.37	
	2970	1.48	48.41	
	3030	1.52	50.9	
	3320	1.6	54.87	
Una vez separado	3660	1.7	59.71	únicamente los datos
correspondientes al	3830	1.73	61.2	vehículo Toyota Levin
se procederá con el	4110	1.83	67.68	inicio del muestreo en
el Banco flujómetro,	4150	1.84	80.01	para que al final de las
mediciones en el banco	4600	2.12	93.91	sean proporcionales a
los obtenidos antes	5000	2.46	122.6	mencionados con el
block 4AGE.	5900	2.8	135	

6.3. Muestreo de datos en tapas de cilindros Estándar.

Para que las muestras tomadas en este proceso sean las correctas se diseñó un diagrama de flujo Figura 13, indicando el proceso que se usó para la recolección de datos en cada una de las tapas de cilindros en el banco flujómetro, todo esto se realizó con dichos elementos de forma estándar para posteriormente medirlos de forma ya mecanizada, hallando así la eficiencia en cada una de estas.

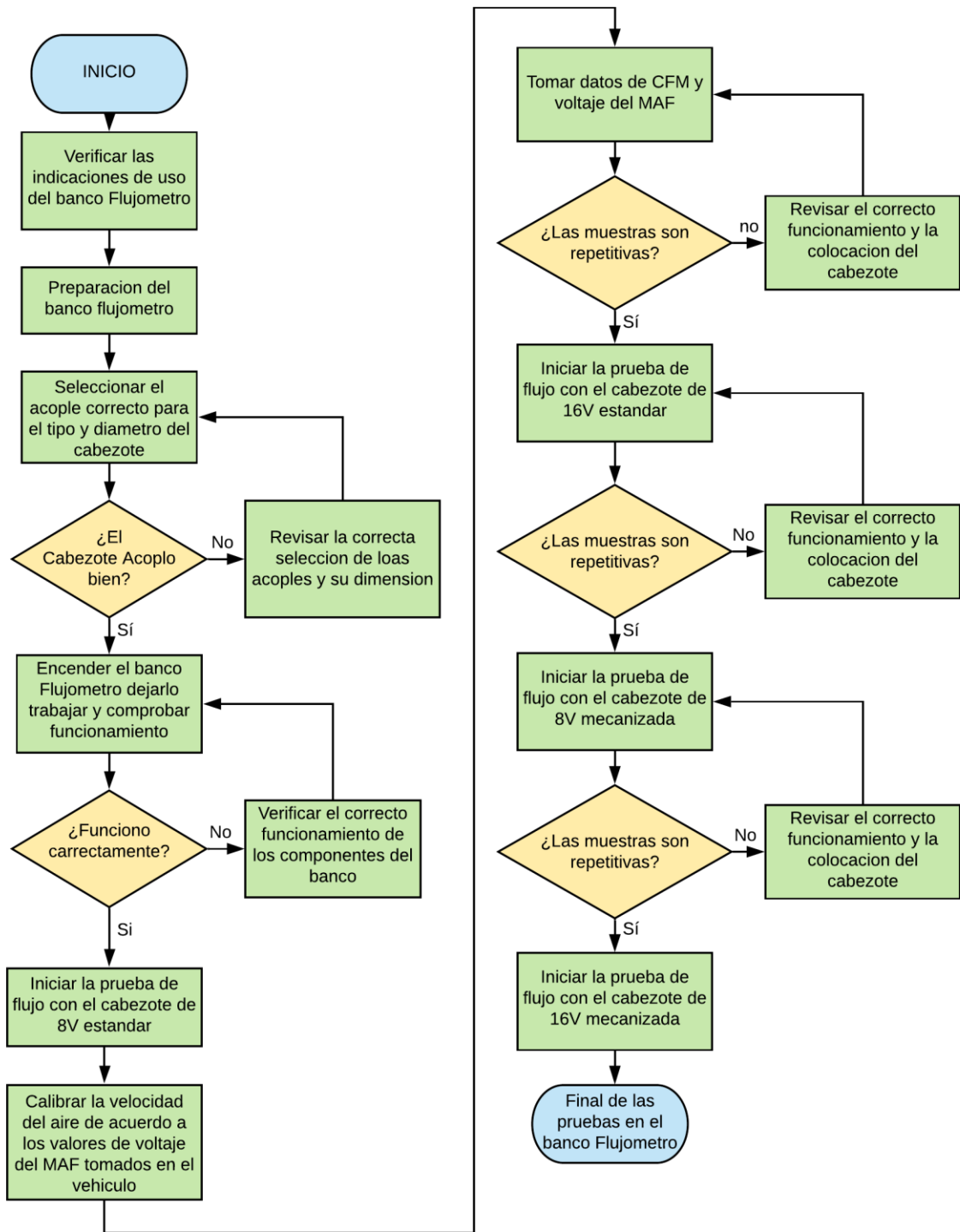


Figura 13 Diagrama de flujo de la obtención de muestras en el banco Flujo metro.

Fuente: Autores.

Las obtenciones de datos en este proceso deben ser de la manera más ordenada y precisa, se debe verificar que las condiciones climáticas en todas las mediciones sean lo más parecidas, ya que el banco trabaja con temperatura y humedad del ambiente. Al momento de colocar las tapas de cilindro, se debe tener en cuenta que la tapa de cilindros selle correctamente sobre la base del banco, de forma que no existan fugas de aire que modifiquen los resultados. Para la medición se debe modificar la velocidad de aspiración conforme varié el voltaje del sensor MAF, empezando en con los valores mínimos de la tabla 5. Debido a problemas que el banco presenta no es posible realizar mediciones por debajo de las 4100 revoluciones por minuto, debajo de estas el motor del banco no tiene la posibilidad de mantenerse encendido y por ende no nos arroja valores. Para nuestro proyecto nos basamos en valores que el banco si nos permite medir; siendo estos a 3 distintas revoluciones, de 4150, 5000 y 5900 revoluciones por minuto.

Las mediciones se las realiza en las dos tapas de cilindro, con las válvulas de admisión y barras de levas desmontadas; los orificios restantes como son bujías y guías de válvulas, serán sellados permitiendo así solo un conducto de ingreso del flujo.

Tabla 8 Muestras de Flujo Volumétrico en banco.

Fuente: Autores.

RPM	VOLTAJE	CULATA 8V		CULATA 16V	
		V1	CFM1	V2	CFM2
4150	1.84	1.81	61.7	2.63	116.16
		1.93	64.57	2.39	97.11
		1.94	64.33	2.45	103.86
		1.97	66.87	2.47	100.29
		1.95	63.57	2.47	101.57
		1.95	64.27	2.46	99.65
		1.82	62.4	2.68	110.8
		1.95	63.2	2.44	101.4
		1.94	61.3	2.33	102.33
		1.81	60.3	2.61	99.48
		1.97	65.29	2.48	105.29
		1.94	65.7	2.4	103.45
		1.9	65.12	2.59	106.76
		1.81	61.32	2.39	103.5
		1.78	60.3	2.48	102.65
Media:		1.90	63.35	2.48	103.62

5000	2.46	2.48	102.38	2,6	113,28
		2.49	102.95	2,8	138,95
		2.44	101.31	2,82	135,7
		2.42	95.09	2,83	137,62
		2.47	102.66	2,8	136,98
		2.47	101.66	2,82	140,76
		2.45	102.7	2,85	141,3
		2.46	102.85	2,9	142,23
		2.48	102.95	2,87	141,5
		2.5	103	2,88	139,6
		2.4	102.23	2,82	140,83
		2.42	102.38	2,81	140
		2.33	101.8	2,66	136,5
		2.49	102.9	2,85	138,79
		2.48	104.4	2,6	139,43
Media:	2.45	102.08	2,79	137,56	

5900	2.7	2.7	122.42	3.15	191.96
		2.7	123.23	3.12	191.02
		2.69	121.82	3.18	199.13
		2.7	121.99	3.18	200.5
		2.72	123.71	3.17	198.83
		2.68	123.77	3.18	200.34
		2.71	123.4	3.13	190.54
		2.73	120.85	3.16	192.3
		2.66	121.5	3.12	189.68
		2.6	123.6	3.13	190.21
		2.7	123.3	3.19	194.63
		2.6	122.9	3.2	195.91
		2.5	118.5	3.15	192.33
		2.73	124.48	3.16	197.89
		2.75	123.7	3.1	187.9
Media:	2.68	122.61	3.15	194.21	

Con las muestras tomadas se pudo evidenciar que existe un patrón en las mediciones, por lo que podemos determinar la media en cada lista de muestras, como se puede ver en la tabla 7, los resultados en cada una de las velocidades son proporcionales al voltaje y entre sí, los valores finales son las siguientes:

Tabla 9 Resultados de Flujo Volumétrico en banco.

Fuente: Autores.

RPM	CULATA 8V		CULATA 16V	
	V1	CFM1	V2	CFM2
4150	1.89	63.35	2.49	103.62
5000	2.45	102.08	2.79	137.56
5900	2.68	122.61	3.15	194.21

6.3.1. Comprobación de Muestras.

Para que los resultados de las mediciones sean válidos, es necesario realizar un análisis el cual nos indique la veracidad de los valores, para esto se usa el programa MINITAB, este nos indica si los datos son correctos o no; en nuestro caso usamos los datos de la tapa de cilindros de 8 y 16 válvulas a 4150 revoluciones por minuto; los valores de las muestras a distintas revoluciones en cada una de las dos tapas de cilindro, son proporcionales entre sí, por lo que para esta comprobación nos guiaremos de una sola lista de muestras a un determinado número de revoluciones.

Para determinar el número de muestras a tomar en cada proceso, nos basamos en lo que dice Mason², el número mínimo de muestras a tomar en una población desconocida o infinita es 30; validando este comentario el método ANOVA, que nos dice que el número mínimo de muestras es 15; una vez con estas muestras se introducen al programa dando como resultado una aproximación a la recta, los puntos representan las muestras y la recta la probabilidad de error; en nuestro caso los valores están correctos con el mínimo requerido ya que se asemejan a una recta y no existen puntos dispersos que mencionen que las muestras son incorrectas. La idea base que consiste en representar las muestras en una gráfica de probabilidad normal, menciona que podemos comparar los datos empíricos medidos en el experimento, frente a los datos que se obtendrían en una distribución normal teórica en este caso en simulaciones. Si la distribución de la variable es normal, los puntos quedarán cerca de una línea recta, como se tiene en la Figura 14. Es frecuente observar una mayor variabilidad (separación) en los extremos.

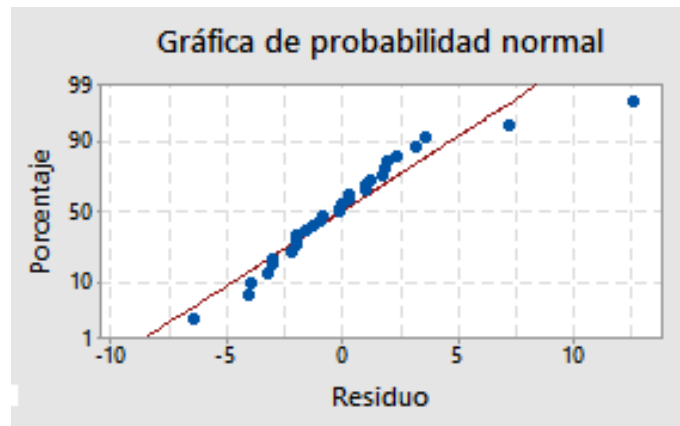


Figura 14 Grafica de probabilidad en Culatas estándar.

Fuente: Autores.

Minitab también nos da una Gráfica de intervalo para evaluar y comparar los intervalos de confianza de las mediciones de los datos de cada tapa de cilindros. Esta gráfica de intervalo Figura 14, muestra un intervalo de confianza de 95 % de la media de cada grupo. La gráfica de intervalo funciona mejor cuando el tamaño de la muestra es de por lo menos 10 para cada grupo. Generalmente, mientras más grande es el tamaño de muestra, más pequeño y más preciso es el intervalo de confianza. Estos intervalos fueron creados con una desviación estándar individual.

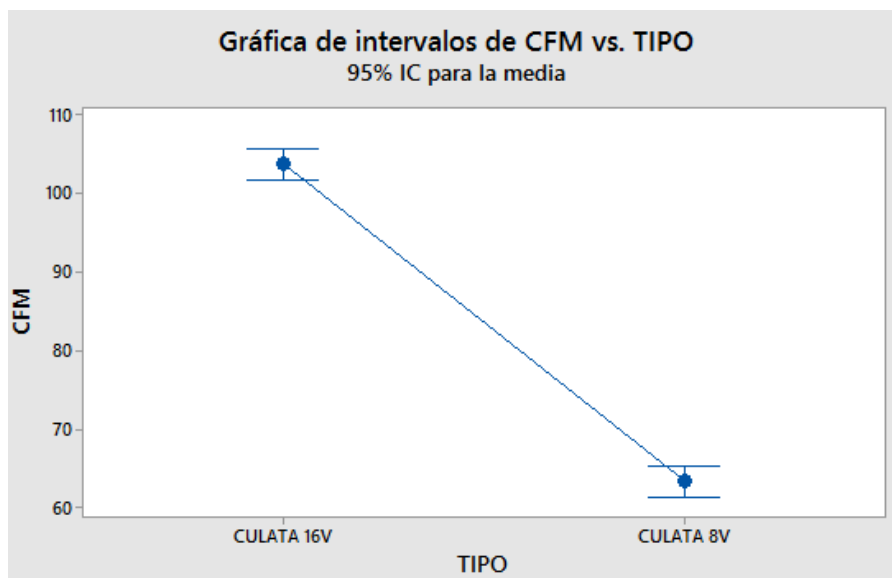


Figura 15 Gráfica de intervalos de muestras

Fuente: Autores.

6.3.2. Proceso de mecanizado de tapas de cilindro.

Dentro de este proceso se debe tener en cuenta el diseño y las dimensiones originales de los conductos en la tapa de cilindros y de acuerdo a las necesidades y a la eficiencia a conseguir, se tienen en cuenta distintas formas de mecanizado.

- **Sección completamente cilíndrica.** Los distintos cambios de sección, ya sea entre cilíndrico y cónico, presentes en los conductos de admisión, mejoran el comportamiento de la mezcla, sin embargo, al eliminar dichos cambios de sección y logrando una sección completamente cilíndrica y con un acabado superficial pulido, se mejora el rendimiento. Se debe tener en cuenta que:
 - Si los conductos tienen un diámetro menor, el flujo a través de ellos es menor, pero se logra una alta velocidad de ingreso del aire; estos conductos son eficientes a revoluciones medias, a diferencia de revoluciones altas donde no se logra mantener un flujo disminuyendo así su rendimiento.
 - En el caso de tener conductos con un mayor diámetro sucede lo contrario a lo antes mencionado, teniendo un gran rendimiento a revoluciones elevadas debido al alto flujo de aire ingresado.

- **Secciones combinadas.** En este caso los conductos están diseñados con una variación de diámetros y formas con el fin de mejorar el comportamiento de los gases; entre las formas ideales presentadas por Stefano Gilleri tenemos la siguiente estructura: 1 La cámara de combustión, 2 El asiento de la válvula, 3 El embocamiento del conducto, 4 La zona de ampliación del conducto en forma troncocónica, 5 La Zona cilíndrica y 6 La zona cónica de la entrada (Gilleri, 2007).

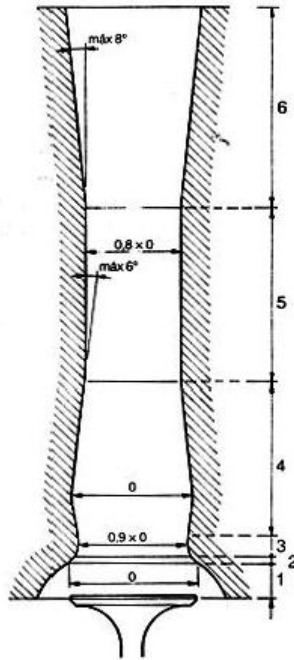


Figura 16 Conducto de admisión ideal

Fuente: STEFANO GILLERI, Preparación de Motores Serie para Competición, Pag 164

Como se observa en la **Figura 16** se presenta diferentes tipos de conicidades que están orientados a mejorar el comportamiento de la mezcla, la zona cónica (6) crea un aumento en la velocidad de la mezcla, al dirigirse a la zona cilíndrica (5), a diferencia que la zona troncocónica (4), la cual almacena de manera momentánea la mezcla mientras la válvula está cerrada. (Gillieri, 2007)

Para mecanizar las tapas de cilindro tanto de 8 como de 16 válvulas se contemplaron formas cilíndricas, primordialmente por que el motor trabajará en altas revoluciones y como se menciona anterior mente las muestras en al banco flujómetro fueron tomadas a 4150. 5000 y a 5900 rpm. Al iniciar el proceso de mecanizado lo primero a realizar es tomar las medidas en cada una de las culatas estándar, esto para poder representar los conductos en un software CAD y para poder partir de medidas certeras y respetar las distintas formas y secciones al momento de desbastar material. Los materiales para el mecanizado son los siguientes:

Tabla 10 Herramientas y Materiales.

Fuente: Autores.

Materiales y equipos	Cantidad
Esmeril neumático	1
Fresa para hierro 1/2"	1
Grata de lija	2
Lijas de agua	2
Piedras de esmeril	3

Para el mecanizado de los conductos de admisión de las dos culatas, se mecaniza con una sobre medida de 3mm en el diámetro de los conductos, esto se lo comprueba con palpadores y calibradores como se muestra en la Figura 17.



Figura 17 Verificación de los diámetros con palpadores de interiores.

Fuente: Autores.

Para comenzar con el mecanizado se usa la fresadora para aluminio la cual desbasta mayor cantidad de material, al usar esta fresa, la superficie nos queda con un acabado rugoso, para mejorar este acabado, se usa una piedra de desbaste la cual retira material, pero de manera fina. Y para terminar el proceso y dejar una superficie lo más cercana a lisa, se usa una lija para taladro la cual pule los conductos dejando todo uniforme.

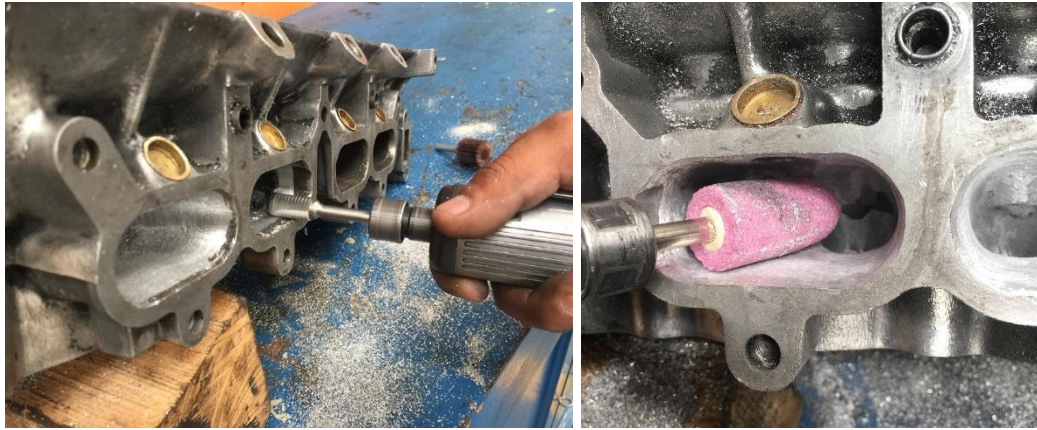


Figura 18 Proceso de mecanizado de conductos.


Fuente: Autores.

6.3.2.1. Mecanizado de la tapa de cilindros de 8 válvulas.

Tabla 11 Zonas mecanizadas y sus respectivos diámetros de la tapa de cilindros de 8 válvulas.

Fuente: Autores.

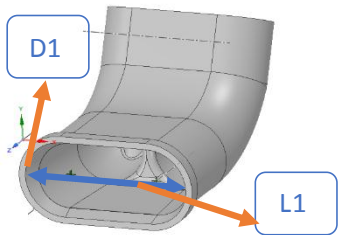

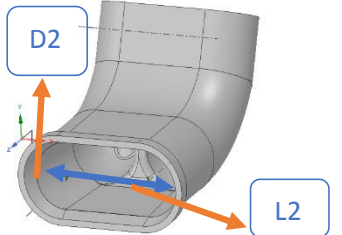

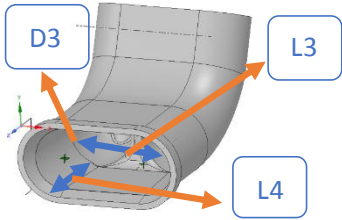

Tapa de cilindros de 8 válvulas				
Zonas mecanizadas	CAD	Imagen	Estándar	Mecanizada
La zona cónica de la entrada			D1: 28.5 mm D2: 27.5 mm	D1: 31.5 mm D2: 30.5 mm
Zona cilíndrica codal			D3: 27.5 mm D4: 31 mm	D3: 30.5 mm D4: 33 mm

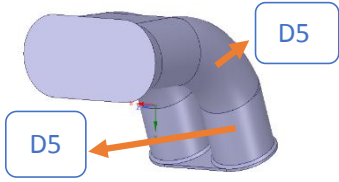


Salida del conducto			D5: 31 mm	D5: 33 mm
---------------------	---	--	-----------	-----------

6.3.2.2. Mecanizado de la tapa de cilindros de 8 válvulas.

Tabla 12 Zonas mecanizadas y sus respectivos diámetros de la tapa de cilindros de 16 válvulas.

Fuente: Autores.

Tapa de cilindros de 16 válvulas				
Zonas mecanizadas	CAD	Imagen	Estándar	Mecanizada
Zona de acople con el múltiple de admisión			D1: 15 mm L1: 64 mm	D1: 15 mm L1: 64 mm
La zona cónica de la entrada			D2: 12.5 mm L2: 60 mm	D2: 14 mm L2: 63 mm
La zona cónica de la entrada			D3: 12.5 mm L3: 55 mm	D3: 14 mm L3: 58 mm L4: 37 mm

			L4: 37mm	
Codales cilindros y Salida del conducto		 	D4: 25 mm D5: 25 mm	D4: 28 mm D5: 28 mm

6.4. Muestreo de datos de Tapas de cilindro Mecanizadas.

Para determinar las muestras en este caso, se deben realizar en las mismas condiciones de temperatura y humedad del muestreo de las culatas estándar, de forma que los datos arrojados tengan el mínimo error. Para realizar las mediciones nos guiamos del siguiente diagrama de flujos, el cual nos ayuda a que las mediciones sean los más parecidas posible teniendo así muestras válidas. Las muestras se las realiza a tres distintas revoluciones por minuto las cuales son 4100, 5200 y 5900. Al igual las muestras anteriores, los datos se los obtuvo con las válvulas de escape cerradas y sin válvulas de admisión. Para tener una idea de la valides de las muestras, estas deben ser mayores que las obtenidas en las tapas de cilindro estándar, ya que se aumentó el volumen en los conductos de admisión.

Tabla 13 Muestras en Banco Flujómetro de Culatas mecanizadas.

Fuente: Autores.

RPM	CULATA 8V MECANIZADA		CULATA 16V MECANIZADA	
	V1	CFM1	V2	CFM2
4100	1.98	66.32	2.6	116.8
	2.01	67.9	2.65	112.24
	2.1	68.21	2.54	105.94
	2.09	68.13	2.66	112
	2.11	68.46	2.66	111.37
	2.01	67.91	2.61	111.13
	2.05	67.98	2.56	110.05
	2.11	68.37	2.52	108.41
	2.13	68.91	2.46	104.85
	2.16	69.23	2.64	113.41
	1.98	66.21	2.52	111.98
	1.98	66.15	2.64	108.49
	2.19	70.1	2.66	116.89
	2.04	67.93	2.52	108.38

	2.12	68.56	2.54	109.53
Media:	2.07	68.02	2.59	110.76
5200	2.55	110.95	2,9	147,08
	2.56	112.67	3,02	150,26
	2.52	108.9	2,99	149,9
	2.53	108.54	2,95	148,67
	2.56	111.56	2,96	148,54
	2.54	109.79	2,88	147,84
	2.52	108.5	2,95	148,32
	2.55	110.43	2,86	147,5
	2.57	112.28	2,89	147,8
	2.54	109.68	2,94	148,56
	2.54	108.52	2,93	148,9
	2.52	107.45	2,96	148,4
	2.53	109.93	2,96	148,78
	2.56	111.35	2,93	148,65
	2.55	110.65	2,94	148,89
Media:	2.54	110.08	2,94	148,54
5900	2.77	132.22	3,25	208,37
	2.78	132.23	3,26	210,02
	2.77	131.52	3,26	209,93
	2.76	130.99	3,24	208,08
	2.78	132.51	3,27	210,03
	2.82	135.07	3,26	209,89
	2.8	133.2	3,28	211,84
	2.83	137.05	3,26	209,39
	2.76	131.5	3,24	208,18
	2.81	133.69	3,26	209,93
	2.79	133.3	3,23	208,01
	2.78	132.91	3,26	209,86
	2.75	130.5	3,27	210,13
	2.81	134.84	3,28	211,59
	2.8	133.7	3,28	211,47
Media:	2.79	133.02	3,26	209,78

Como se menciona anteriormente, las muestras son proporcionales por lo que se puede determinar una media para tener un resultado fijo en cada uno de los rangos. Como resultado se puede notar un incremento en cada uno de los rangos de revoluciones, esto debido al mecanizado de los conductos, como se puede apreciar en la siguiente tabla:

Tabla 14 Resultados de Flujo Volumétrico en banco de Culatas mecanizadas.

Fuente: Autores.

RPM	CULATA 8V MECANIZADA		CULATA 16V MECANIZADA	
	V1	CFM1	V2	CFM2
4150	2.07	68.02	2.59	110.76
5000	2.54	110.08	2.94	148,54
5900	2.79	133.02	3.26	209,78

6.4.1. Comprobación de muestras en tapas de cilindro mecanizadas.

Para verificar las muestras se debe realizar una comprobación en Minitab, el cual nos dice si los datos son correctos o erróneos. Como resultado de nuestra experimentación tenemos la Figura 19, esta nos indica que las muestras tomadas siguen un patrón y no se alejan extensamente de la recta, como toda experimentación algunos datos varían siendo estos extremadamente pequeños por lo que son insignificantes para la distribución normal, la gran mayoría de muestras están en el centro siendo correctos para el análisis a realizar.

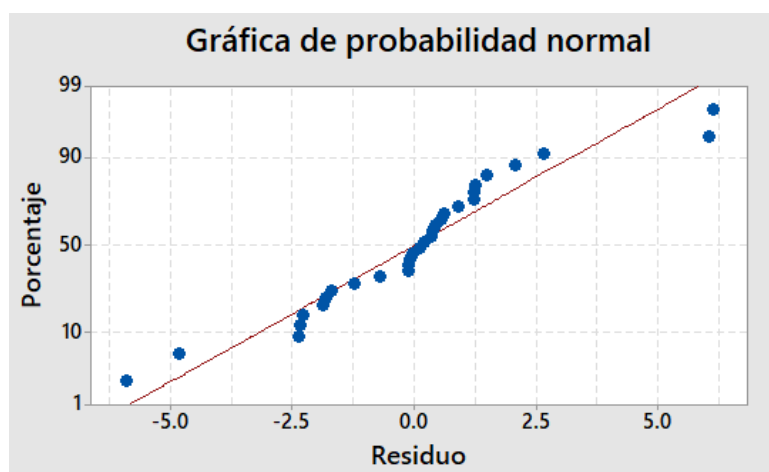


Figura 19 Grafica de probabilidad en Culatas Mecanizadas.

Fuente: Autores.

El intervalo de confianza es un rango de valores, derivado de los datos estadísticos de la muestra, que posiblemente sea de un parámetro de población infinita o desconocida, el intervalo de confianza de 95% indica que 19 de 20 muestras (95%) de la misma población producirán intervalos de confianza que contendrán el parámetro de población. Mientras mayor sea el margen de error, más ancho será el intervalo y menos seguro se está del valor de la estimación de punto. Se puede observar en la Figura 20, que las medias en cada conjunto de

muestras son proporcionales, por lo que las no se diferencian mucho de las otras, teniendo así un intervalo de cofianza alto.

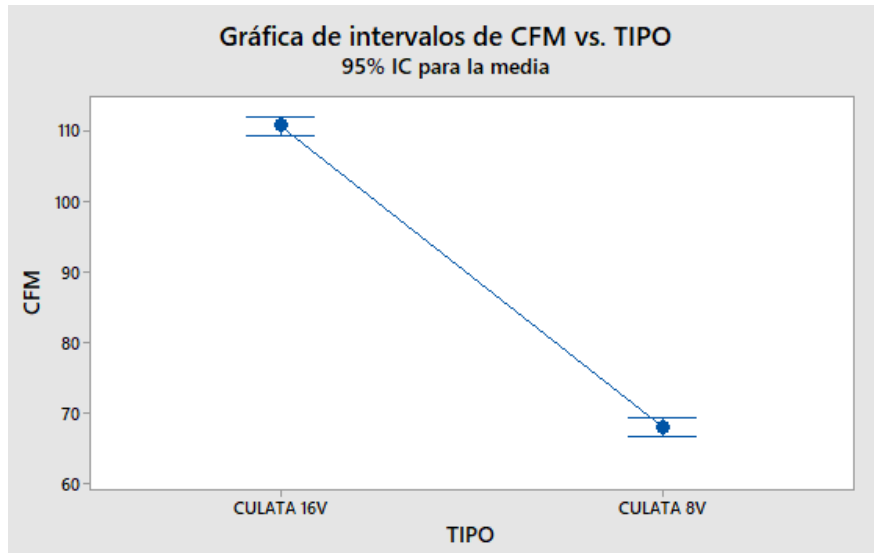


Figura 20 Grafica de intervalos de confianza en Culatas Mecanizadas.

Fuente: Autores.

6.5. Prueba de potencia y torque del vehículo con tapa de cilindros estándar 8 válvulas utilizando un dinamómetro.

El banco dinamómetro es un equipo diseñado para realizar la medición de potencia (kW) y torque (ft-lb), esta prueba se lo realizara con la tapa de cilindros estándar de 8 válvulas, montada sobre el vehículo Toyota Levin. Para comenzar con la prueba, se sujeta el vehículo con el arnés de seguridad, luego se procede a calibrar el dinamómetro, esto es acelerándolo y estabilizándolo a 2000 rpm en cuarta marcha; para iniciar la medición se debe acelerar el motor en cuarta marcha hasta encontrar su punto máximo de potencia, haciendo girar los rodillos a altas velocidades, se envían los datos automáticamente a la computadora y esta proporciona un informe detallado real a diferentes regímenes de giro de funcionamiento del motor.



Figura 21 Toyota Levin sobre rodillos del dinamómetro.

Fuente: Autores.

6.5.1. Curvas de potencia y torque.

Se puede observar en la gráfica una curva irregular de color naranja que representa al torque y una línea de color rojo que representa la potencia, las cuales incrementan en relación con las revoluciones por minuto del motor del vehículo Toyota Levin 8 válvulas STD.

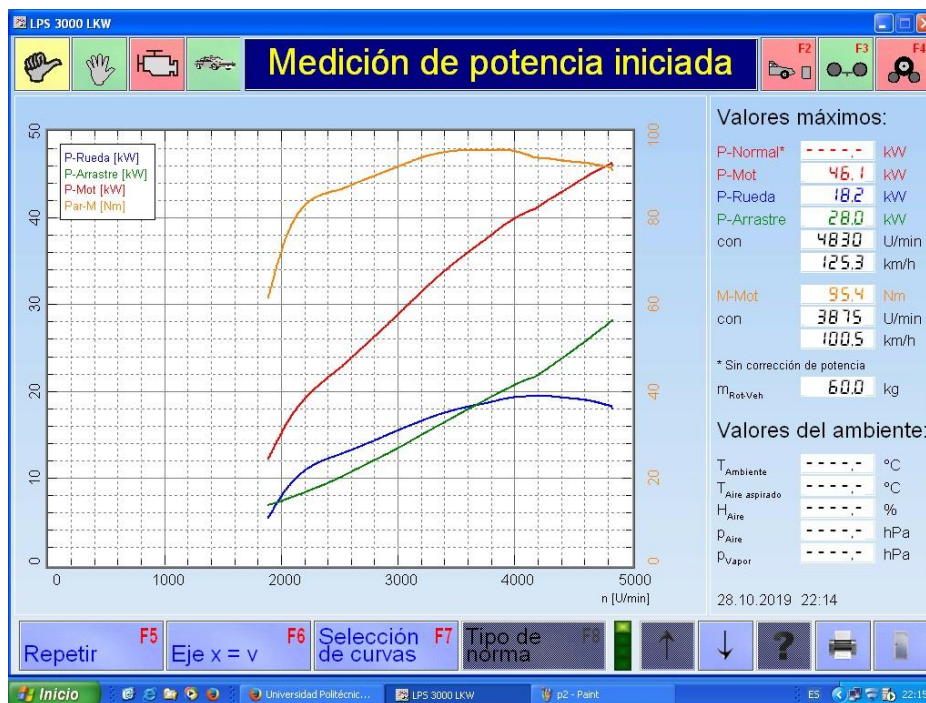


Figura 22 Curvas de torque y potencia obtenidas en el dinamómetro.

Fuente: Autores.

La curva arrojada por el banco dinamómetro (roja) inicia desde las 1800 RPM con una potencia de 12 kW y un torque (naranja) de 62 Nm. Al acercarse a las 3000 RPM se observa un aumento de potencia progresivo hasta 29.5 kW y con un torque de 96 Nm. La potencia máxima se la obtiene al llegar a las 4800 RPM, generando una potencia de 46 kW y un torque de 95.5 Nm. Todos estos resultados, nos sirve para posteriormente llegar a realizar el correcto análisis y determinar así la tapa de cilindros con mejor rendimiento volumétrico.

CAPÍTULO 3

7. MODELADO Y SIMULACION DE ELEMENTOS

Para complementar la experimentación y el correcto análisis de eficiencia, se comprobará el aumento de flujo volumétrico en un software como es Ansys, el cual nos va ayudar a obtener datos en flujo másico que luego los convertiremos a flujo volumétrico. Como se sabe, este programa simula los diferentes pasos de fluidos a través de una pieza o conducto.

7.1. CAD de conductos de admisión.

Para comenzar con las simulaciones, el programa Ansys necesita de un archivo en Step, el cual es el diseño realizado en un software de dibujo, en nuestro caso se utilizará Inventor Autodesk para el boceto de los conductos de admisión de las dos tapas de cilindros. Lo primero a realizar es obtener las medias de los conductos, esto ya se lo realizo en el proceso de mecanizado. En la Figura 23, se puede ver los bocetos en Inventor para luego exportarlos a Ansys. Al momento de exportar el boceto en 3d de Inventor a Ansys, se lo debe hacer en formato Stp o Step.

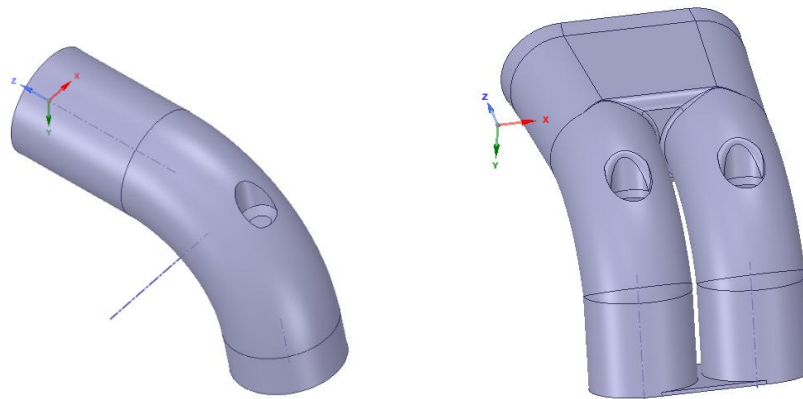


Figura 23 Bocetos de conductos de admisión de culatas.

Fuente: Autores.

7.2. Importación y simulación del modelo en Ansys.

Abrir la plataforma Ansys Workbench luego elegir el complemento Fluid Flow CFZ. Hacer clic derecho en la pestaña Geometry, en la ventana que se despliega. Elegir Import Geometry, como se muestra a continuación.

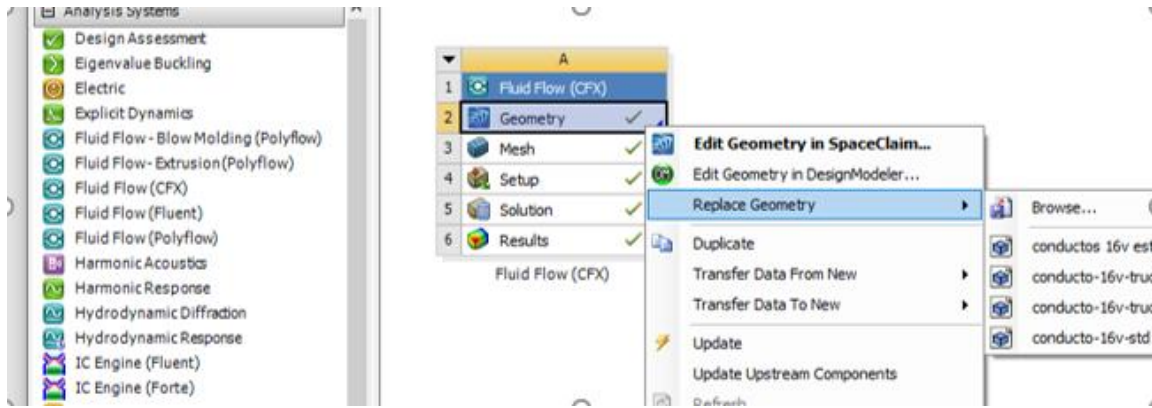


Figura 24 Interfaz de Fluid Flow CFX.

Fuente: Autores.

- **Space Clim.** Es la interfaz que complementa la opción Geometry, donde importamos la geometría 3D generada en el CAD, donde el programa reconoce los elementos a analizar. Una de las ventajas del software Ansys, es la opción de escoger el interior de las tuberías o toda esta, esto es de gran ayuda ya que nos sirve para tomar solamente el volumen interior de los conductos.

- Una vez dentro, hacer clic en la pestaña Prepare, y luego en Volume Extract.

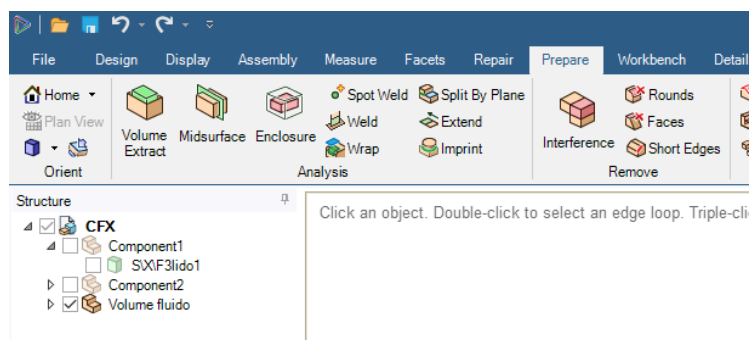


Figura 25 Interfaz de Space Clim, Volume Extract.

Fuente: Autores

- **Mesh.** Para la opción de mallado del solido de volumen, se utilizó el refinamiento de malla “Refinement Mesh” en la entrada y salida como se puede ver en la Figura 26, lo restante nos guiamos de los valores predeterminados del software que abordan las necesidades particulares para el análisis.

- Para a determinar las paredes de ingreso y salida del aire en el conducto, nos ayudamos de la opción Face, hacemos clic y seleccionamos las caras del conducto.

- Para refinar la malla, se da clic en Mesh Control, y se selecciona la opción Refinement, y se selecciona las entrada y salida del conducto.
- Hacemos clic en Generate Mesh, y automáticamente se nos genera la malla con los parámetros predeterminados por el software.

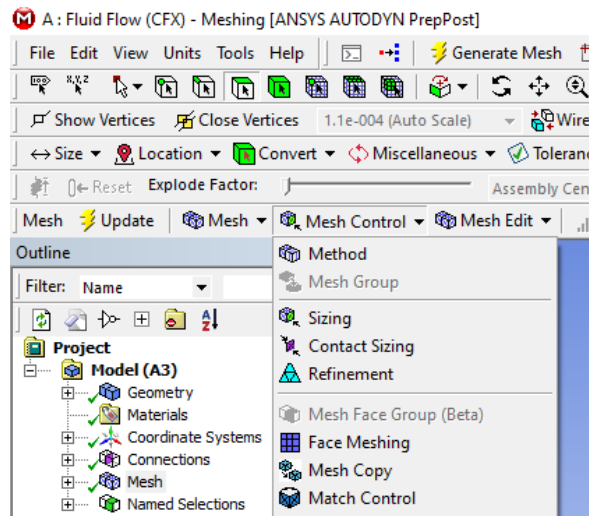


Figura 26 Interfaz de Mesh, Refinement.

Fuente: Autores.

Como se puede observar se obtiene una malla fina en los extremos, es decir la entra y salida del conducto, eso para llegar a tener una ecuación más precisa.

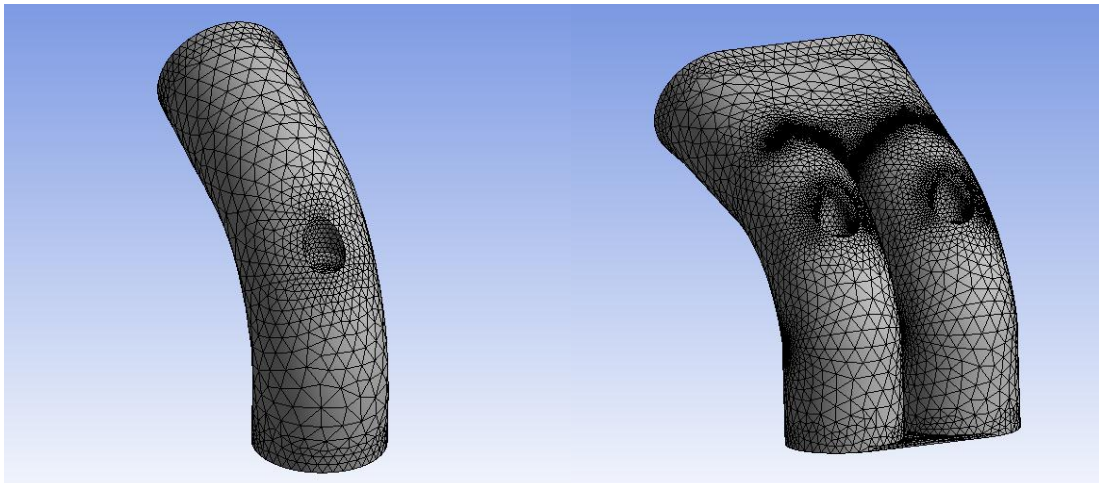


Figura 27 Mallado de los conductos de admisión.

Fuente: Autores.

- **Setup**, se ingresa los valores de las condiciones que se encuentra el sólido, en este caso se ingresa la presión atmosférica, temperaturas del ambiente y velocidades a la cual circulan los gases de admisión.

- Hacer clic en Default Domain, aquí se abre una ventana, la cual se ingresan los valores de temperaturas y presiones del ambiente.

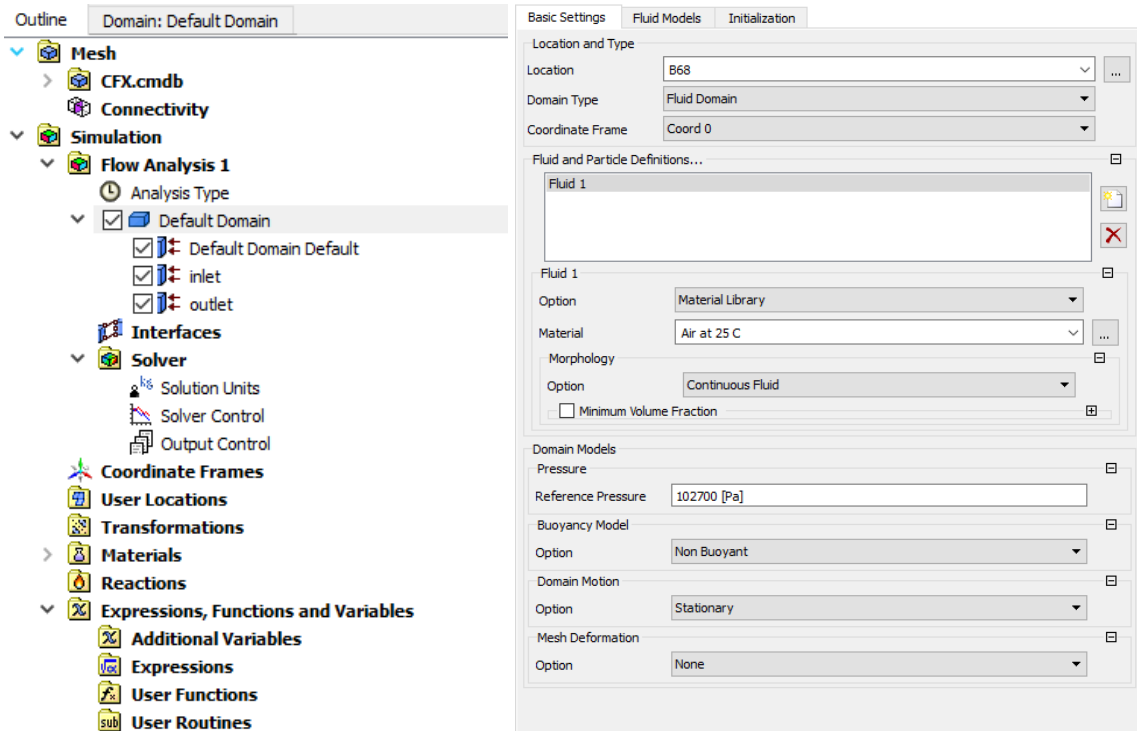


Figura 28 Interfaz de Setup, Default Domain.

Fuente: Autores.

- Hacer clic en Inlet, e ingresar los valores de entrada, es decir velocidad.
- En la opción Outlet, se debe seleccionar presión cero, ya que, debido a la presión atmosférica, la presión de entrada es igual a la de salir siendo la presión manométrica cero.

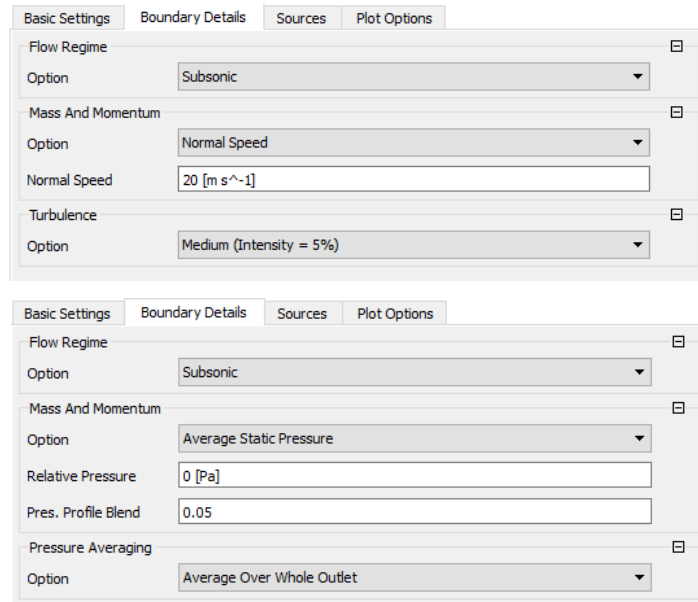


Figura 29 Interfaz de Setup, parámetros de Entrada y Salida.

Fuente: Autores.

Para determinar las velocidades se colocó un anemómetro en la entrada del aire del motor del vehículo a distintas revoluciones. De igual forma se obtuvo la velocidad del aire en banco flujómetro, teniendo, así como resultado un promedio de las velocidades a distintas revoluciones. Las cuales están en la siguiente tabla:

Tabla 15 Velocidades de ingreso del aire.

Fuente: Autores.

RPM	Velocidad (m/s)
4100	10
5200	15
5900	20

Luego de esto, se puede iniciar con las iteraciones para determinar la ecuación que nos va a arrojar los resultados, las iteraciones mínimas a realizar son 300 por lo que para estas simulaciones se realizaran de 500 iteraciones de forma que no exista error y si lo hay sea cercana a nulo.

- Hacer clic, en Solver Control y colocar las iteraciones máximas y mínimas a realizar.

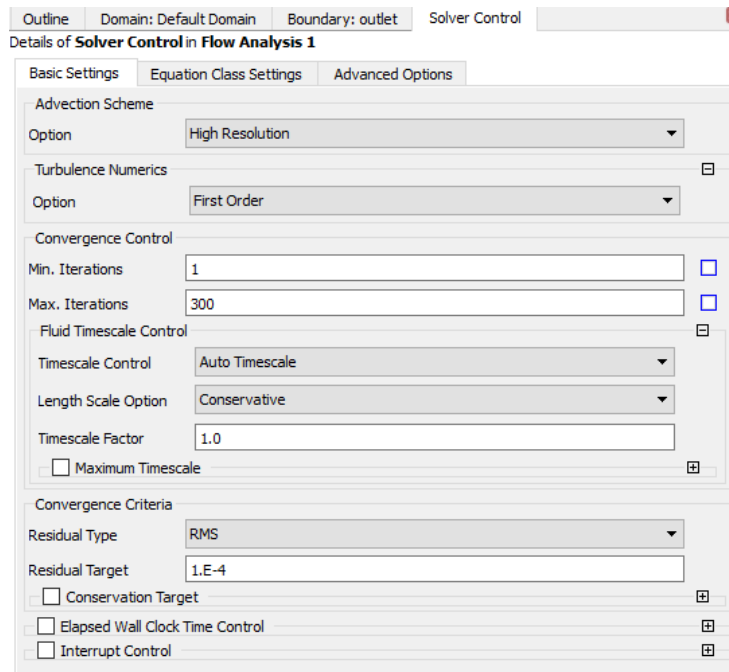


Figura 30 Interfaz de Setup, Solver Control.

Fuente: Autores.

- **Solution**, en esta opción, se iniciará el programa, formando la ecuación y generando las iteraciones necesarias para el correcto análisis final. Teniendo como resultado una graficas de turbulencia y otra de momento-masa.

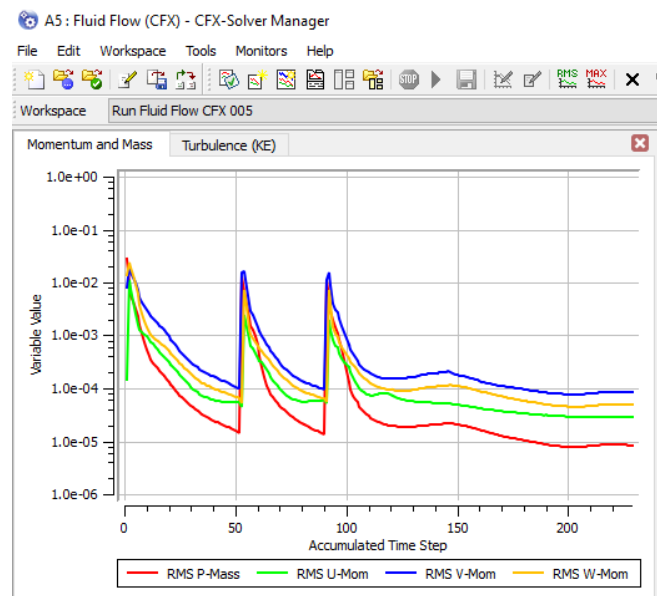


Figura 31 Interfaz de Solution, Results.

Fuente: Autores.

A continuación, en la opción resultados, se puede apreciar las simulaciones del flujo de aire en los conductos de admisión de cada tapa de cilindros, las velocidades y a diferentes tipos de condiciones.

7.3. Simulación del paso de flujo de aire en los conductos de la tapa de cilindros estándar de 8 válvulas, basado en la velocidad.

Con en el software de simulación Ansys, en el módulo Flow Flow (CFX) se realizó el procedimiento adecuado para lograr diseñar el flujo de aire que se encuentra en el interior de la culata estándar, acercándolo a la realidad. En la siguiente figura se puede observar la trayectoria que sigue el aire dentro de los conductos de admisión de la tapa de cilindros de 8 válvulas, como si el vehículo estuviera en funcionamiento, se puede ver la entrada del aire por la pared vertical y la salida por la pared horizontal.

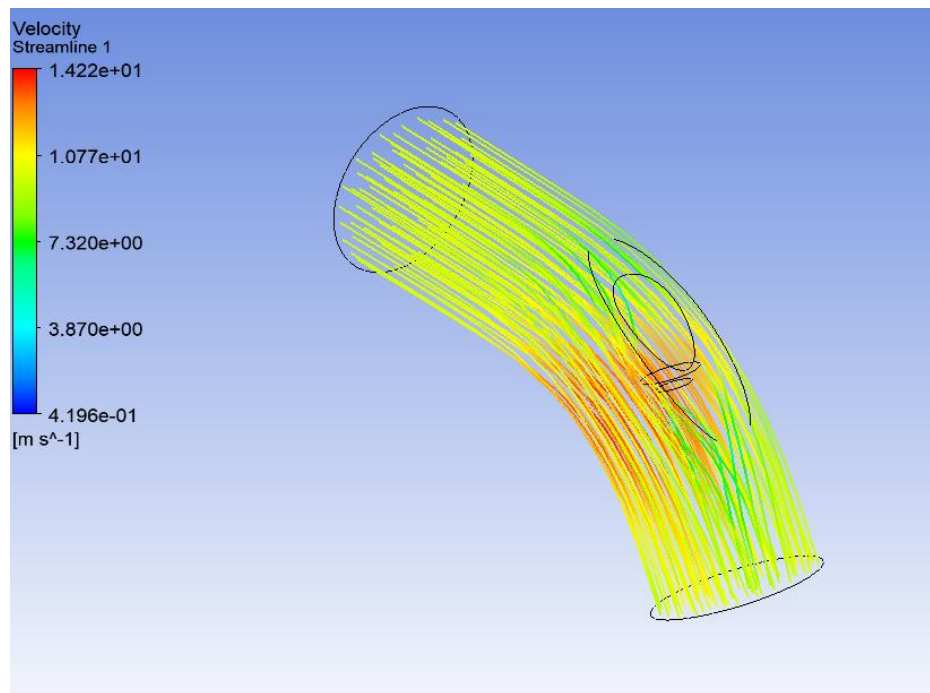


Figura 32 Simulación de trayectoria de aire en el conducto de admisión de la culata 8 válvulas.

Fuente: Autores.

La gráfica indica claramente la velocidad del fluido. Como resultado tenemos las siguientes cantidades de flujo másico que luego fueron convertidas a flujo volumétrico o CFM.

Tabla 16 Flujo volumétrico de simulaciones de culata estándar de 8 válvulas.

Fuente: Autores.

CULATA DE 8 VALVULAS STD EN ANSYS				
RPM	VELOCIDAD (m/s)	flujo másico (kg/s)	flujo másico (g/s)	CFM
4150	10	0.00752852	7.52852	46.73
5000	15	0.0112928	11.2928	70.09
5900	20	0.015057	15.057	93.46

7.4. Simulación del paso de aire en los conductos de la tapa de cilindros estándar de 16 válvulas, basado en la velocidad.

En la Figura 33, se puede observar la trayectoria que sigue el aire dentro de los conductos de la culata de 16 válvulas, la pared vertical indica la entrada y la pared horizontal la salida del aire, en este caso el aire entra por el conducto de admisión que es uno solo que posteriormente se divide un conducto para cada válvula, siendo el final de estos la salida de la mezcla, dirigiéndose así al interior de la cámara de combustión. Los parámetros que se utilizó para la simulación, son los mismos que se utilizaron para la tapa de cilindros estándar de 8 válvulas.

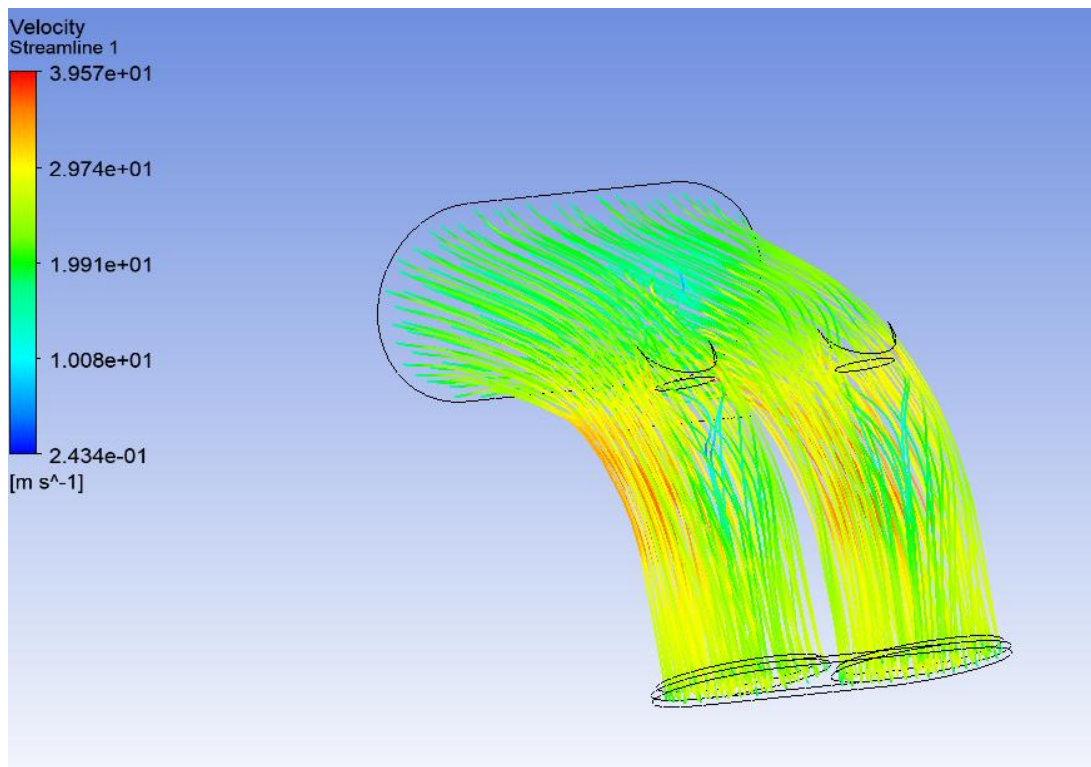


Figura 33 Simulación de trayectoria de aire en el conducto de admisión de la culata estándar de 16 válvulas.

Fuente: Autores.

Se puede ver en la gráfica la mayor velocidad se alcanza justo en la parte interna de la curva del conducto, esto debido a que la saliente de la guía obstaculiza el libre paso del aire, al final se da mayor velocidad ya que la sección donde pasa el aire se reducen. Como resultado tenemos la siguiente tabla de flujo volumétrico.

Tabla 17 Flujo volumétrico de simulaciones de culata estándar de 16 válvulas.

Fuente: Autores.

CULATA DE 16 VALVULAS STD EN ANSYS				
RPM	VELOCIDAD (m/s)	flujo másico (kg/s)	flujo másico (g/s)	CFM
4150	10	0.018828	18.1828	112.86
5000	15	0.0265875	26.5875	165.03
5900	20	0.0335935	33.5935	208.51

7.5. Simulación del paso de flujo de aire en los conductos de la tapa de cilindros mecanizada de 8 válvulas, basado en la velocidad de ingreso.

En la Figura 34, se puede ver la trayectoria que sigue el aire en los conductos de la tapa de cilindros, se observa que en la parte interior de la curva sigue existiendo la mayor velocidad en todo el conducto, pero lo que lo difiere de la tapa de cilindros estándar es que existe mayor circulación de flujo de aire en la parte externa de la curva del conducto, esto debido al aumento de la sección y la reducción de la saliente de la guía de válvula.

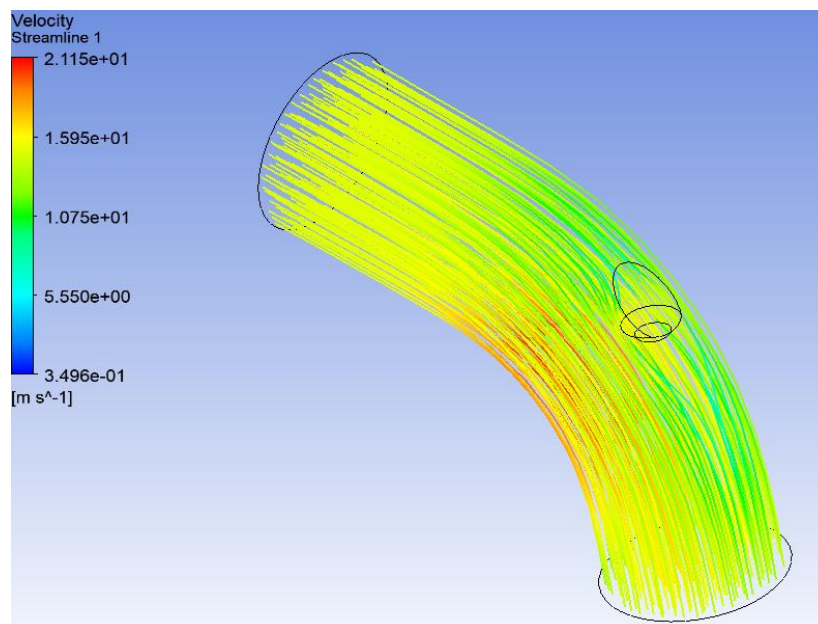


Figura 34 Simulación de trayectoria de aire en el conducto de admisión de la culata mecanizada de 8 válvulas.

Fuente: Autores.

De la misma forma como los datos obtenidos en el banco flujómetro vamos a tener un incremento de flujo volumétrico ya que se aumenta el volumen del conducto, si existe el aumento nos dice que las muestras arrojadas por las simulaciones están correctas.

Tabla 18 Flujo volumétrico de simulaciones de culata mecanizada de 8 válvulas.

Fuente: Autores.

CULATA MECANIZADA DE 8 VALVULAS EN ANSYS				
RPM	VELOCIDAD (m/s)	flujo másico (kg/s)	flujo másico (g/s)	CFM
4150	10	0.00752852	9.19689	57.08
5000	15	0.0137953	13.7953	85.63
5900	20	0.0183937	18.3937	114.17

7.6. Simulación del paso de aire en los conductos de la tapa de cilindros mecanizada de 16 válvulas, basado en la velocidad.

En esta simulación se puede observar de igual manera, que la mayor velocidad se ubica en la parte interior de la curva de los conductos, pero a diferencia de la tapa de cilindros estándar, existe un mayor orden del flujo, como se observa el aire sigue una trayectoria más ordenada sin cambios bruscos de velocidad, todo esto debido al incremento de volumen en todo en conducto.

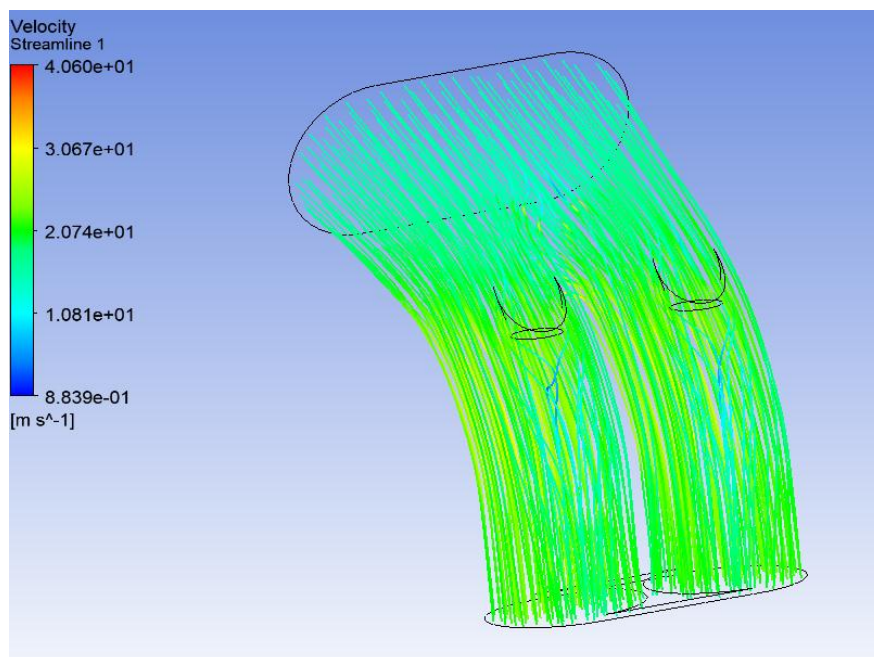


Figura 35 Simulación de trayectoria de aire en el conducto de admisión de la culata mecanizada de 16 válvulas.

Fuente: Autores.

De igual forma las simulaciones se realizaron a 3 velocidades distintas, mencionadas anteriormente, por ende, se obtuvo resultados que son más altos que los de las culatas estándar, la validez de los datos se da al ser proporcional al volumen de los conductos. Los resultados en este caso son los siguientes:

Tabla 19 Flujo volumétrico de simulaciones de culata mecanizada de 16 válvulas.

Fuente: Autores.

CULATA DE 16 VALVULAS MECANIZADA EN ANSYS				
RPM	Velocidad (m/s)	flujo másico (kg/s)	flujo másico (g/s)	CFM
4150	10	0.0204355	20.4355	126.84
5000	15	0.0306538	30.6538	190.26
5900	20	0.0408721	40.8721	253.69

Una vez con los datos obtenidos de las simulaciones, tenemos la siguiente tabla, la cual nos muestra el incremento de flujo volumétrico en cada medición a las diferentes revoluciones del motor, como se observa en las mayores revoluciones el nivel de flujo volumétrico aumenta y tiene una gran diferencia, esto debido a la gran velocidad en la que pasa el aire y el aumento de volumen de los conductos, mientras que a bajas revoluciones la diferencia es muy poca.

Tabla 20 Resultados de CFM en simulaciones de las culatas.

Fuente: Autores.

CFM				
RPM	8V STD	8V MEC	16V STD	16V MEC
4150	46.73	57.08	112.86	126.84
5000	70.09	85.63	165.03	190.26
5900	93.46	114.17	208.51	253.69

7.7. Cálculo del volumen de los conductos.

Para complementar el mecanizado en los conductos es necesario determinar el volumen, para esto nos ayudamos de Ansys, a continuación, los pasos para hallar el volumen:

- a) Entrar a la venta de resultados desde el Workbench.
- b) En la parte izquierda de la nueva venta de resultados, entrar a Calculators.
- c) Luego dar clic en Function Calculators, se va a desplegar una nueva pestaña.

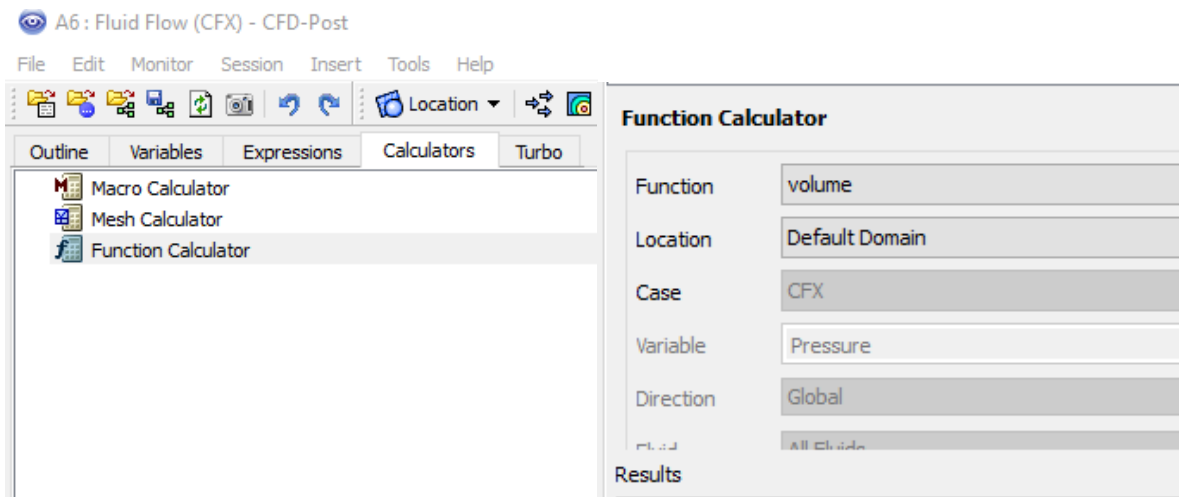


Figura 36 Ventanas para calcular el volumen de los conductos, Ansys.

Fuente: Autores.

- d) En la opción Function, desplegar y seleccionar volumen
- e) Dar clic en Calculate y automáticamente el programa nos arrojará el volumen de conducto dibujado.

A continuación, se muestra los volúmenes reales de las simulaciones, en los procesos estándar y mecanizado.

Tabla 21 Resultados de volumen en los dos procesos.

Fuente: Autores.

cm³	8 válvulas	16 válvulas
Estándar	60.127	114.013
Mecanizado	81.4	137.817

CAPÍTULO 4

8. ANALISIS DE RESULTADOS

Lo que se pretende en este capítulo es hacer una comparación y presentar el análisis de las muestras tomadas en el banco flujómetro y de igual manera analizar los datos obtenidos en el software Ansys logrando evidenciar que tapa de cilindros es la más eficiente y permite alcanzar el mayor flujo volumétrico.

8.1. Resultado de las simulaciones.

Los resultados en de las simulaciones de las tapas de cilindros estándar y mecanizadas en el software Ansys en el módulo Fluid Flow CFX, está basada en el funcionamiento normal de un motor de combustión interna, teniendo en cuenta las velocidades de ingreso y salida en la tapa de cilindros, logrando así, determinar las partes más críticas en cada uno de los conductos y como se puede mejorar para obtener un mejor rendimiento volumétrico. Las velocidades en las que se obtuvieron los CFM fueron de 10, 15 y 20 m/s.

La densidad del aire, la humedad relativa y la presión atmosférica siendo de 101400 Pa a la cual se encuentra la ciudad de Cuenca, fueron los datos claves para determinar el flujo volumétrico. Los resultados que arroja el software después de realizar la simulación son claros y precisos, esto depende de la velocidad de ingreso del aire, a baja velocidad la cantidad de CFM es menor y mientras aumenta la velocidad dichos niveles incrementan proporcionalmente.

Los datos que arroja el software luego de realizar las simulaciones de las tapas de cilindro estándar y mecanizada basada en el flujo volumétrico de los conductos, nos indica en la siguiente tabla.

Tabla 22 Resultados de simulaciones en Culatas de 8 válvulas.

Fuente: Autores.

Culata de 8v				
RPM	Velocidad (m/s)	Estándar (CFM)	Mecanizada (CFM)	Aumento
4150	10	46.73	57.08	17.0%
5000	15	70.09	85.63	19.5%
5900	20	93.46	114.17	22.0%

Como se puede observar en la **Figura 37**, el aumento en de flujo volumétrico es proporcional al incremento de la velocidad, esto se debe a las revoluciones del motor y es similar en todos los vehículos; se comprobó que, con la mecanización de los conductos, se obtiene una mayor cantidad de flujo en un volumen determinado; de igual forma para aumentar el flujo volumétrico, se debe mejorar la evacuación de gases, esto optimizando partes del sistema de escape del motor.

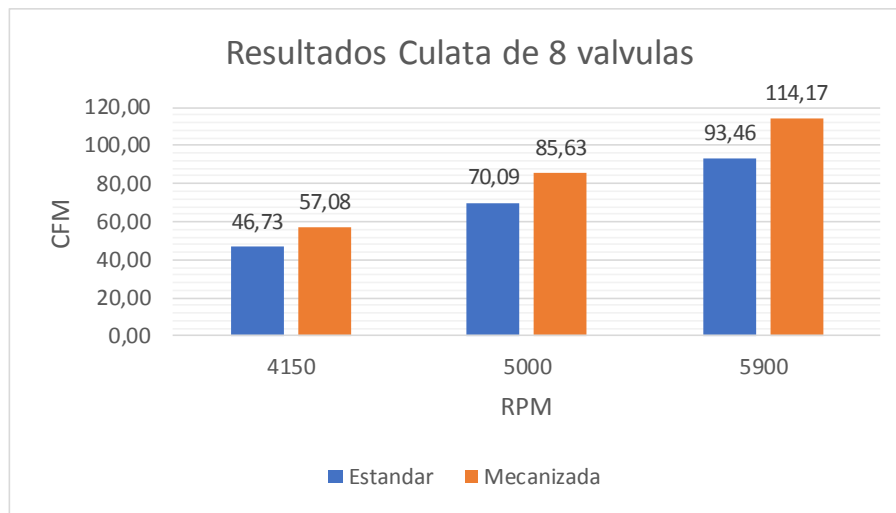


Figura 37 Grafico de barras de resultados a distintas RPM.

Fuente: Autores.

El análisis que se realiza en los ductos de las tapas de cilindros de 16 válvulas, es similar al realizado con las tapas de 8 válvulas; Pero en lo que respecta a las tapas de cilindros mecanizadas, se lo hace de forma que no exista ninguna restricción al paso de la mezcla aire-combustible, ni partes que puedan causar turbulencias que actúen como freno para la libre circulación. Lo primordial es tratar de que pase la mayor cantidad de flujo en el menor tiempo posible. Como se puede observar en la **Tabla 23**, el aumento es más notorio que en la tapa de 8 válvulas, esto debido al número de válvulas por cilindro, siendo casi el doble de volumen de dicha tapa.

Tabla 23 Resultados de simulaciones en Culatas de 16 válvulas.

Fuente: Autores.

Culata de 16 v				
RPM	Velocidad (m/s)	Estándar (CFM)	Mecanizada (CFM)	Aumento
4150	10	112.86	126.84	12.4%
5000	15	165.03	190.26	15.3%
5900	20	208.51	253.69	21.7%

En la **Figura 38**, se puede observar que la una mayor cantidad de flujo volumétrico es de 250 CFM a 5900 rpm, con un aumento de estándar a mecanizado de 22%, mientras que a 4150 rpm el incremento entre los dos tipos de estados, no es muy notorio, llegando a tener solo un 12%.

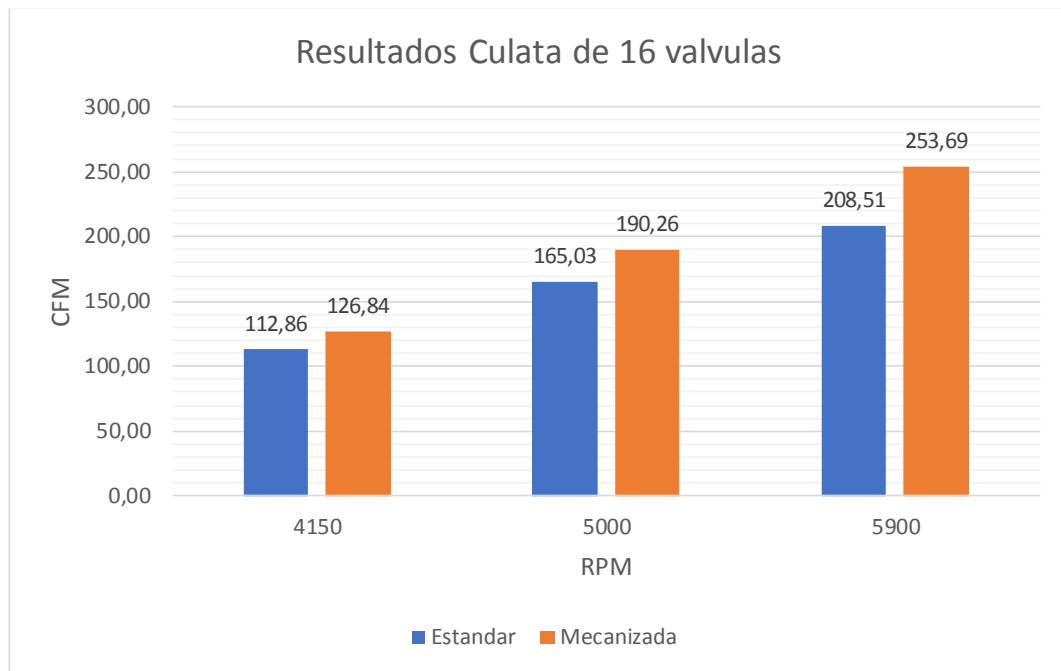


Figura 38 Grafico de barras de resultados de culatas de 16v a distintas RPM.

Fuente: Autores.

Existe una diferencia de flujo volumétrico en la sustitución de la tapa de cilindros del vehículo Toyota Levin, por lo que en la parte del análisis de simulaciones se va a tomar en cuenta este resultado. Como se ve en la **Tabla 24**, al final de la sustitución de la tapa de cilindros, existirá un crecimiento alto en el flujo volumétrico del motor 4AGE, en la tabla se comparan dos estados, el motor con la tapa de cilindros de 8 válvulas estándar instalada y su reemplazo, el cual es la tapa de 16 válvulas mecanizada. En altas revoluciones tenemos la mayor diferencia de flujo volumétrico, esto se debe al número de válvulas por cilindro que existe con la nueva tapa. Los resultados del flujo de aire sobrepasan las medidas iniciales ya que el volumen a llenar es mucho más grande que el del estado inicial. Este resultado es solo por parte de las simulaciones, y se lo comprobara posteriormente con la medición de potencia.

Tabla 24 Resultados de la Sustitución de la tapa de cilindros.

Fuente: Autores.

Resultados de la Sustitución de Culata				
RPM	Velocidad (m/s)	8V std (CFM)	16V mec (CFM)	Aumento (CFM)
4150	10	46.73	126.84	80.1
5000	15	70.09	190.26	120.2
5900	20	93.46	253.69	160.2

8.2. Resultados de banco flujómetro.

Con los datos correctamente validados y ordenados de flujo volumétrico obtenidos del banco flujómetro en el capítulo 2 se los procede a analizar y comparar de manera que obtengamos los porcentajes de incremento. A continuación, se analizará cada grupo de muestras dividido en cuatro secciones:

- Muestras en conductos de admisión de la tapa de cilindros de 8 válvulas
- Muestras en conductos de admisión de la tapa de cilindros de 8 válvulas mecanizado
- Muestras en conductos de admisión de la tapa de cilindros de 16 válvulas
- Muestras en conductos de admisión de la tapa de cilindros de 16 válvulas mecanizado

Al comparar cada uno de estos resultados se evidencio la continuidad de las muestras y el notable incremento del CFM una con respecto de la otra

Tabla 25 Datos de CFM de los distintos estados de las culatas y a distintas RPM.

Fuente: Autores.

RPM	Culata 8v		Culata 16v		Culata 8v mecanizada		Culata 16v mecanizada	
	V1	CFM1	V2	CFM2	V3	CFM3	V4	CFM4
4150	1,89	63,35	2,49	103,62	2,07	68,02	2,59	110,76
5000	2,45	102,08	2,79	137,56	2,54	110,08	2,94	148,54
5900	2,68	122,61	3,15	194,21	2,79	133,02	3,26	209,78

En la tabla se presenta los promedios generales, teniendo los valores de voltaje del sensor MAF y los datos de flujo volumétrico obtenidos de todas las tapas de cilindros, tomados a tres distintas revoluciones.

Como se puede observar el valor de flujo volumétrico en unidades de CFM, aumenta en todas las tapas de cilindro a medida que suben las revoluciones, ya que el ingreso de aire es mayor,

cada una de las tapas de cilindro presentan distintas características y dimensiones haciendo así que los valores difieran unos de otros.

A continuación, se presenta una gráfica de barras en donde se tiene tres grupos distintos, los mismos que representan las RPM a las que se tomó las muestras, dentro de cada grupo se encuentran cuatro barras, estas representan los estados de las dos tapas de cilindro, aquí se muestran las diferencias en el incremento de CFM, con los valores pico promedio los mismos que están representados también en la **Tabla 25**.

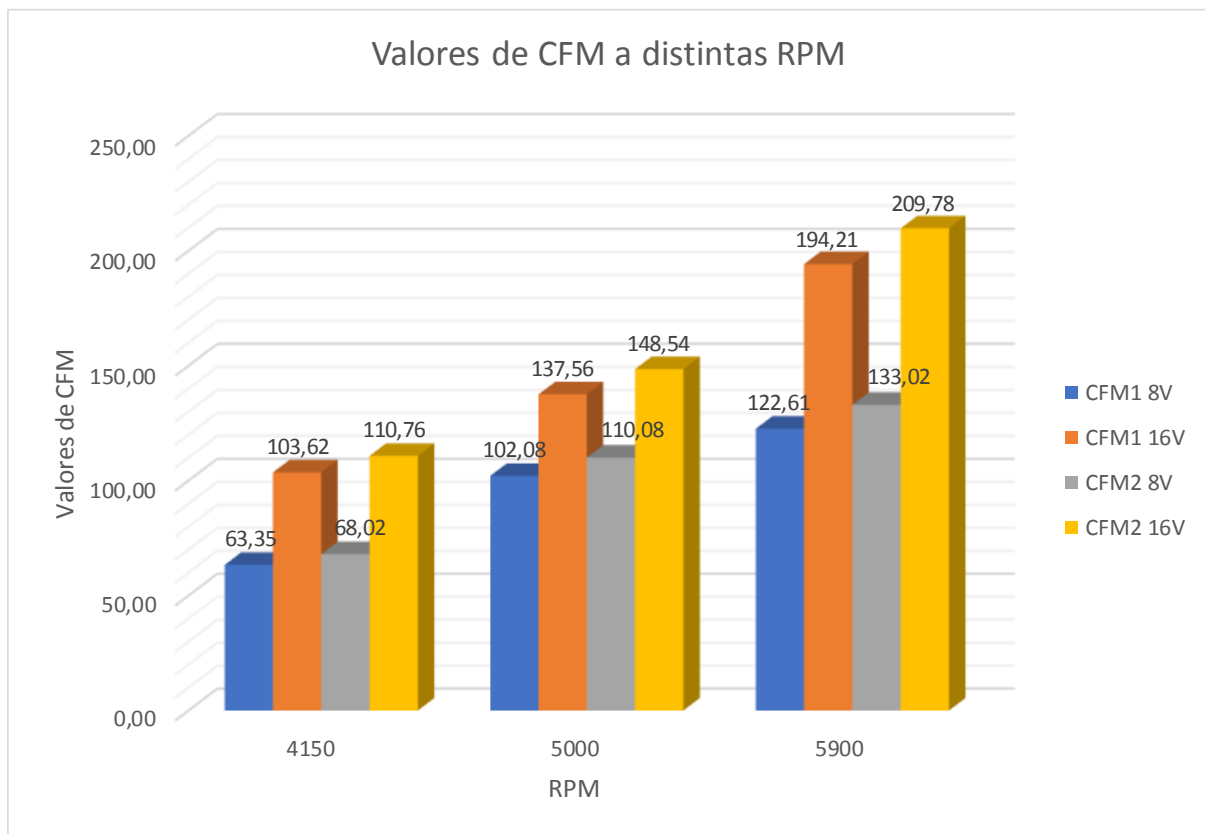


Figura 39 Representación de los valores de CFM a las distintas RPM a las que se realizaron las muestras.

Fuente: Autores.

La barra de color azul representa la tapa de cilindro de 8V estándar, la cual será nuestro punto de partida y el valor inicial de comparación; el valor que representa es de 63,35 CFM a unas 4150 RPM denotando ya que este valor ya es un régimen alto de velocidad, 102,08 CFM a 5000 RPM y finalmente 122,61 CFM a unas 5900 RPM. La barra de color naranja difiere bastante su valor puesto que representa la tapa de cilindros de 16V estándar, dando un valor de 103,62 CFM, al primer régimen de giro, 137,56 CFM con el segundo régimen de giro y finalmente 194,21 CFM; este notable incremento se debe a que ya existe dos conductos de

admisión en lugar de uno solo y el volumen de aire que ingresa a la cámara de combustión incrementa de manera considerable como se puede evidenciar.

Las tapas de cilindro mecanizadas si presentan un notable incremento con respecto a sus similares estándar, teniendo así que la barra de color gris representa a la tapa de cilindros de 8V modificada dándonos un valor de 68,02 CFM a un régimen de 4150 RPM, 110,08 a 5000 RPM y 133,02 al régimen más alto de 5900 RPM. De igual manera se da un incremento en la tapa de cilindros de 16V mecanizada, teniendo que al primer régimen de giro la barra de color amarillo da un valor de 110,76 CFM, en el segundo régimen de giro tenemos un valor de 148,54 CFM y finalmente nos da un valor de 209,78 CFM con el ultimo régimen de giro

8.2.1. Resultados comparativos entre la tapa de cilindros de 8 y 16 válvulas estándar.

Como se mencionaba la tapa de 8 válvulas es nuestro punto de partida, siendo el estado original del vehículo y su reemplazo, la de 16 válvulas; en si el cambio difiere mucho no solo el hecho de las piezas adicionales o el funcionamiento, sino la cantidad de aire que ingresa al motor, como se ve en la **Tabla 26**, tenemos un incremento porcentual de más de la mitad, esto incluso sin modificar ninguna de las tapas de cilindro, sino tan solo al tener dos conductos por cada cilindro.

Tabla 26 Porcentajes de incremento del flujo volumétrico entre la tapa de cilindros de 8V y la de 16V.

Fuente: Autores.

RPM	CULATA 8V		CULATA 16V		Porcentaje de aumento del CFM
	V1	CFM1 8V	V2	CFM1 16V	
4150	1,89	63,35	2,49	103,62	63,57%
5000	2,45	102,08	2,81	137,56	34,76%
5900	2,68	122,61	3,15	194,21	58,40%

Con el primer régimen de RPM tenemos un incremento del 63,57%, sucediendo al agrandar dos conductos en vez de uno solo, según las muestras experimentales tenemos una elevación en el CFM; a las 5000 RPM el incremento es de un 34,76%, si bien no sobrepasa la mitad del porcentaje, no deja de haber un crecimiento de flujo, al final a las 5900 RPM, el incremento vuelve a sobrepasar la mitad con un 58,40% este último régimen bordeaba el límite hasta dónde llega el vehículo.

En la siguiente imagen se muestra a manera de barras el incremento presente entre las dos tapas de cilindro, indicándonos que la barra de color azul representa a la de 8V estándar y la de color naranja, la de 16V estándar.

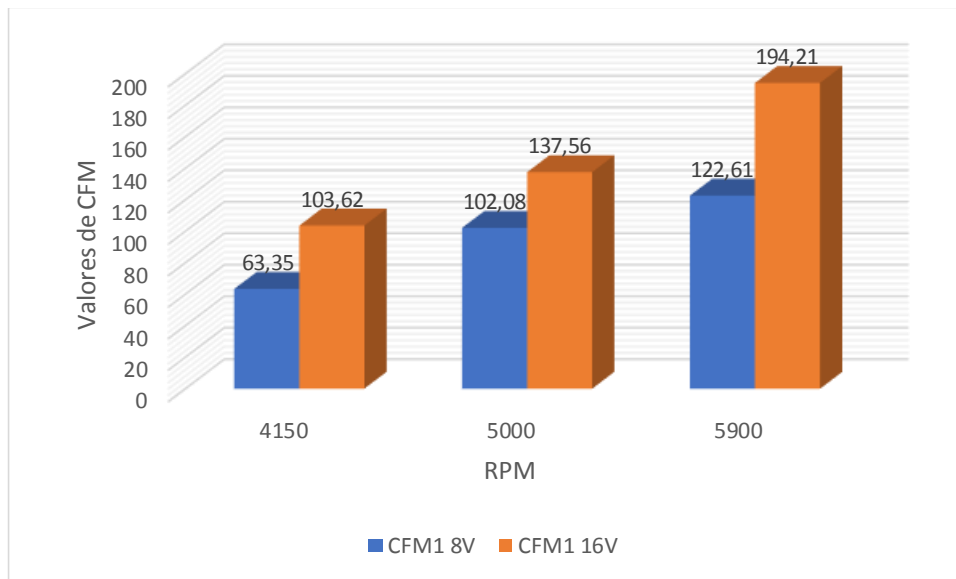


Figura 40 Representación de la diferencia del porcentaje de incremento del flujo volumétrico.

Fuente: Autores.

Como se indica a continuación tenemos la diferencia de volúmenes de las tapas de cilindro de 8 y 16 válvulas, de igual manera las medidas de los conductos cambian, así como también las formas interiores

Tabla 27 Diferencia de volúmenes y dimensiones entre las tapas de cilindros.

Fuente: Autores.

	CULATA 8V	CULATA 16V
Volumen de los conductos	60,1274 cm^3	114,013 cm^3

8.2.2. Resultados comparativos entre la tapa de cilindros de 8 válvulas estándar y mecanizada.

El aumento de flujo volumétrico entre estas dos tapas de cilindro del mismo número de válvulas, muestra un comportamiento ascendente, si bien es cierto existe un pequeño aumento, el resultado de las muestras nos indica un mejor desenvolvimiento del CFM al solo variar los diámetros de los conductos, entonces se tiene esta **tabla 28**, en donde se presenta los porcentajes de incremento a las distintas revoluciones.

Tabla 28 Porcentajes de incremento del flujo volumétrico entre la tapa de cilindros de 8V estándar y la de 8V modificada.

Fuente: Autores.

RPM	CULATA 8V		CULATA 8V modificada		Porcentaje de aumento del CFM
	V1	CFM1	V1	CFM1	
4150	1,89	63,35	2,07	68,02	7,37%
5000	2,45	102,08	2,54	110,08	7,84%
5900	2,68	122,61	2,79	133,02	8,49%

En el primer régimen de giro a las 4150 RPM el incremento porcentual des del 7,37%, con el segundo grupo de muestras a las 5000 RPM existe un incremento del 7,84% y finalmente al máximo de revoluciones, el incremento es del 8,49%.

Como se mencionó si bien es cierto, el incremento no difiere como el caso anterior, existe un incremento progresivo a medida que las revoluciones aumentan esto debido a que las formas interiores de los conductos no varían sino más bien lo que cambia son sus dimensiones, es por ello que el volumen incrementa, pero de una manera proporcional, es decir, en el caso comparativo anterior en donde el cambio era significativo, no solo cambiaba las dimensiones sino también la forma y el numero en los conductos, es por ello que no se presentaba este progresivo cambio en los valores porcentuales del CFM.

En la siguiente grafica se presenta el análisis por barras de este análisis el cual presenta el incremento progresivo antes mencionado.

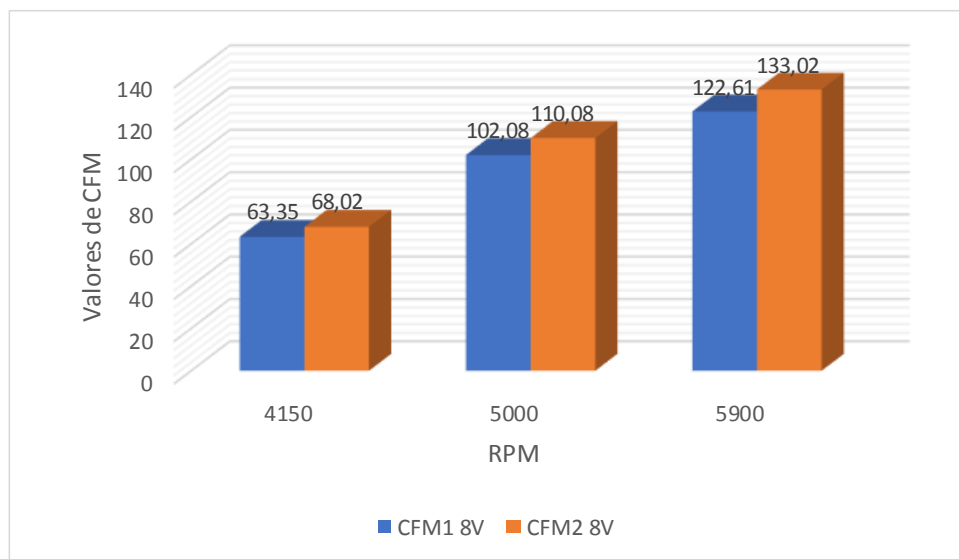


Figura 41 Representación de la diferencia del porcentaje de incremento del flujo volumétrico.

Fuente: Autores.

En este caso el volumen de los conductos incrementa a medida que cambian las dimensiones al ser mecanizada la tapa de cilindros lo que varía con las dimensiones mas no las formas interiores de los conductos, es por eso que no se tiene un incremento significativo, pero se puede decir que al mecanizar los conductos si tenemos un incremento.

Tabla 29 Diferencia de volúmenes y dimensiones entre las tapas de cilindros.

Fuente: Autores.

	CULATA 8V	CULATA 8V mecanizada
Volumen de los conductos	60,1274 centímetros cúbicos	81,4 centímetros cúbicos

8.2.3. Resultados comparativos entre la tapa de cilindros de 16 válvulas estándar y la tapa mecanizada

Esta tapa de cilindros es nuestro punto final, como se observa en la **Tabla 30** el incremento una vez más es progresivo, es decir a medida que aumentan las RPM, también aumentan el porcentaje de incremento del CFM, de igual manera que en la tapa de cilindros de 8 válvulas lo que varía o se modifica son las dimensiones de los conductos mas no su forma, es decir solo se modificaron los diámetros, pero no se le agrego o quito una forma en su estructura inicial, se podría decir que el incremento es un tanto menor que al de 8 válvulas y esto se debe a las formas internas en donde se divide el conducto ovalado en dos conductos cilíndricos y como se observa en la figura 35 la velocidad en este cambio de forma disminuye con respecto a la **Figura 33** donde se tiene un índice alto de velocidad.

Tabla 30 Porcentajes de incremento del flujo volumétrico entre la tapa de cilindros de 16V estándar y la de 16V modificada.

Fuente: Autores.

RPM	CULATA 16V		CULATA 16V trucada		Porcentaje de aumento del CFM
	V2	CFM1 16V	V2	CFM2 16V	
4150	2,49	103,62	2,59	110,76	6,89%
5000	2,81	137,56	2,94	148,54	7,98%
5900	3,15	194,21	3,26	209,878	8,07%

A las primeras 4150 RPM se tiene un incremento del 6,987% y a medida que el régimen de giro aumenta asciende a 7,98% y en la prueba final un 8,07% . De igual manera las barras azules nos indican los valores de la tapa de 16 válvulas estándar y las barras naranjas las mecanizadas, de igual forma el incremento evidenciado no es muy grande, pero se mantiene la progresividad.

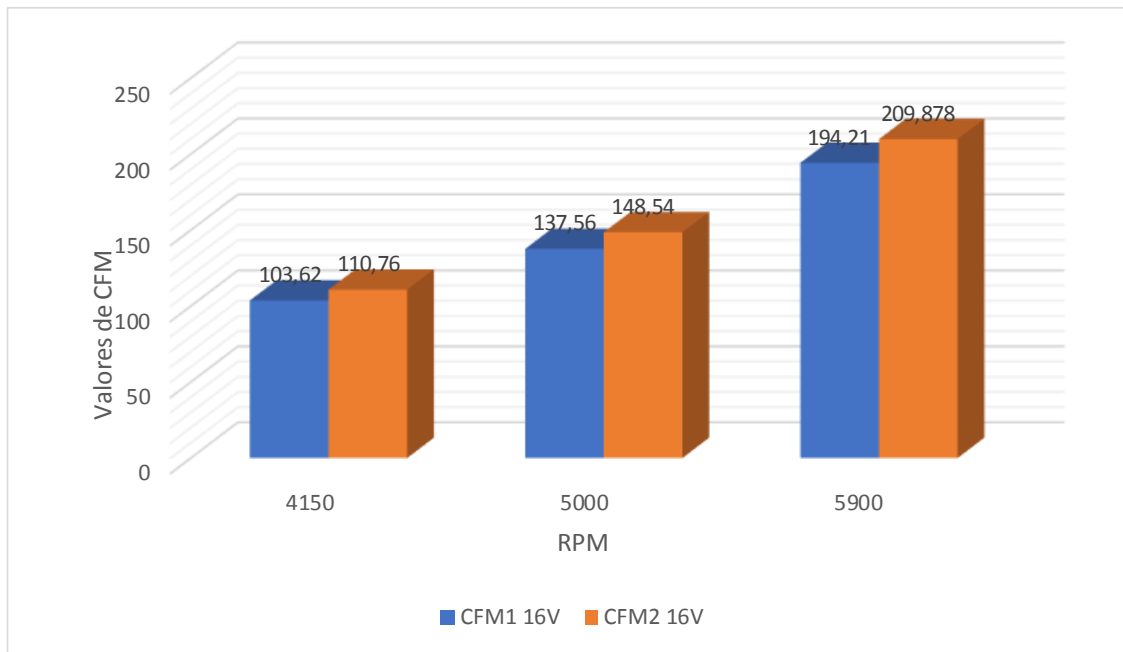


Figura 42 Representación de la diferencia del porcentaje de incremento del flujo volumétrico.

Fuente: Autores.

De igual forma se presenta la diferencia entre los volúmenes de los conductos en este caso al ser el mismo cabezote la diferencia no es tanta.

Tabla 31 Diferencia de volúmenes y dimensiones entre las tapas de cilindros.

Fuente: Autores.

	CULATA 16V	CULATA 16V mecanizada
Volumen de los conductos	114,013 cm^3	137,81 cm^3

8.2.4. Resultados comparativos entre la tapa de cilindros de 8 válvulas estándar (estado inicial) y la tapa de cilindros de 16 válvulas mecanizada (estado final).

Como se mencionó, la tapa de cilindros de 16 válvulas mecanizada será nuestro estado final, en este caso se la compara con la de 8 válvulas teniendo que el vehículo partió de un diseño estándar y lo que se busca es encontrar o demostrar la fiabilidad y la eficiencia volumétrica, para lograr así, un aumento en la potencia del vehículo basado en el aumento de flujo volumétrico, siendo así más eficiente, como se indica a continuación el incremento es notable muy por encima del 50% de incremento del CFM.

Tabla 32 Porcentajes de incremento del flujo volumétrico entre la tapa de cilindros de 8V estándar y la de 16V modificada.

Fuente: Autores.

RPM	CULATA 8V		CULATA 16V trucada		Porcentaje de aumento del CFM
	V1	CFM1 8V	V2	CFM2 16V	
4150	1,89	63,35	2,59	110,76	74,84%
5000	2,45	102,08	2,94	148,54	45,51%
5900	2,68	122,61	3,26	209,878	71,18%

Como se indica en la **tabla 32**, se tiene un notable incremento, el aumento del flujo volumétrico es bastante fiable y como se evidencio en el análisis del software el incremento es casi similar, el porcentaje de incremento no es progresivo esto como ya se mencionó, se debe a que existen cambios en el dimensionado y obviamente a la disposición y numero de conductos de la una con respecto a la otra; entonces se tiene que a las 4150 RPM se incrementó el flujo másico en un 74,84% lo cual en si ya representa el valor pico del incremento, después a las 5000 RPM el porcentaje disminuye a un 45,51% pero que en si refleja un aumento y finalmente al régimen de 5900 el porcentaje de incremento es del 71,18%. En el siguiente grafico se observa la gran diferencia que existe entre las tapas de cilindros, teniendo así que la barra de color azul representa el estado original de la culata de 8 válvulas estándar y la barra de color naranja representa el estado final de la tapa de cilindros de 16 válvulas.

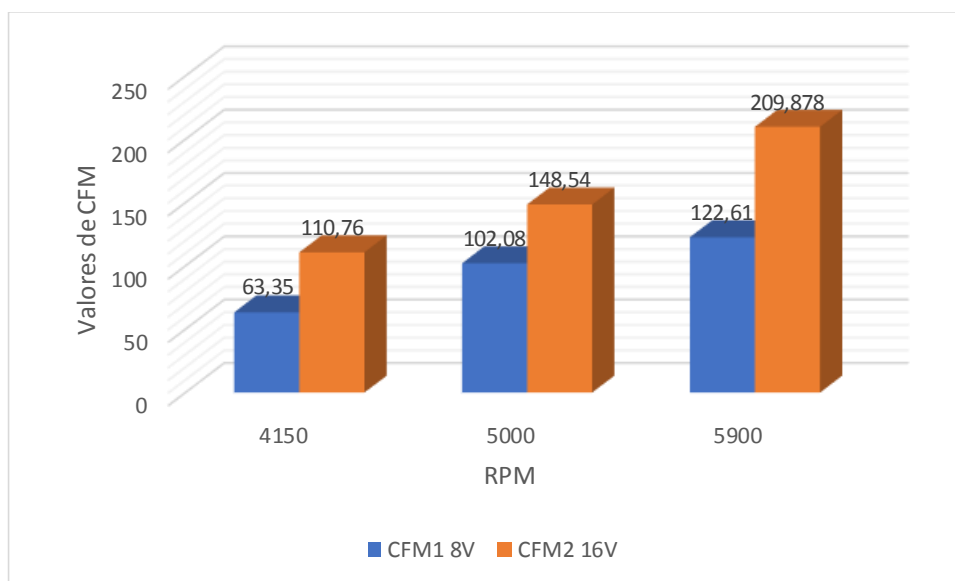


Figura 43 Representación de la diferencia del porcentaje de incremento del flujo volumétrico.

Fuente: Autores.

8.3. Sustitución de tapa de cilindros.

Un motor DOHC que en español significa doble eje de levas en la tapa de cilindros, es un motor de combustión interna que usa dos árboles de levas, ubicados en la tapa de cilindros, la cual se encarga de abrir y cerrar las válvulas en el motor aprovechando el giro del cigüeñal, se lo conoce como el nombre de “Twin Cam”. Estos tipos de motores son más eficientes que los del sistema SOHC o simple árbol de levas sobre la cabeza. Para corroborar el correcto incremento de esta eficiencia se debe realizar la comprobación en un motor, el cual tenga las mismas condiciones de funcionamiento, es decir, use las mismas partes del block y la parte inferior del motor. Se realizó una serie de pasos a seguir resumidos, para la sustitución de la tapa de cilindros, siendo la siguiente:

1. Retirar las conexiones de alimentación del motor.
2. Extraer los pernos de la campana, múltiples y bases de la moto, de forma que se libere el motor.
3. Desmontar el motor del vehículo, con ayuda de una gata hidráulica o elevador.



Figura 44 Motor con tapa de cilindros de 8 válvulas.

Fuente: Autores.

4. Colocarlo correctamente sobre una superficie de trabajo.
5. Retirar el múltiple de admisión y escape.
6. Desmontar la barra de taques y barra de levas
7. Extraer los pernos y desmontar la tapa de cilindros.
8. Retirar el plato, embrague y volante motor.
9. Retirar el cárter y colador de aceite.
10. Sacar los pistones en orden y numerados.
11. Limpiar el block de residuos de pegamento en los asientos de la tapa de cilindros y el cárter, luego de esto pulverizar todas las piezas.

12. Con ayuda de una prensa separa los pistones de las bielas.



Figura 45 Pistones para tapa de cilindros de 8 y 16 válvulas.

Fuente: Autores.

13. Reemplazar los pistones por los de la nueva tapa de cilindros.

14. Lubricar los cilindros y cigüeñal.

15. Colocar los rines en orden de acuerdo al nuevo pistón.

16. Volver a instalar los pistones en el cilindro.



Figura 46 Block motor con pistones para 16 válvulas.

Fuente: Autores.

17. Colocar las bancadas con sus respectivas chapas a la biela y apretarlos con un torque de 44 ft-lb.

18. Armar el cárter al block con silicón y apretarlo de forma que no haya fugas posteriormente.

19. Ensamblar el volante motor con un torque de 54 ft-lb, instalar el embrague y plato con ayuda de un centrador.

20. Instalar la tapa de cilindros de 16 válvulas con un torque de 22 ft-lb.
21. Colocar los taques lubricados y en orden.

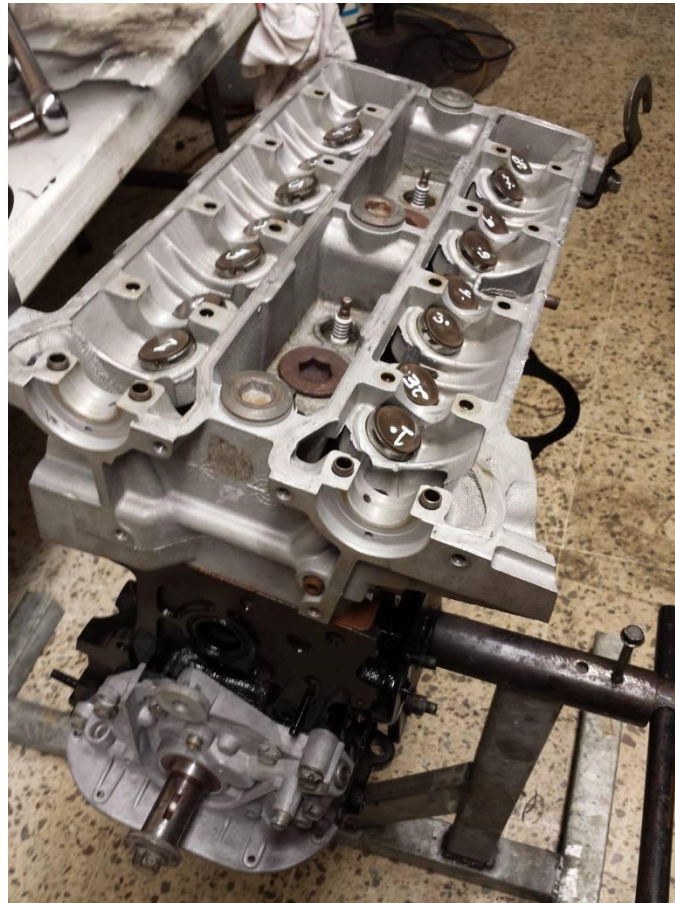


Figura 47 Colocación de taques hidráulicos en tapa de cilindros.

Fuente: Autores.

22. Instalar las barras de levas en sus respectivas ubicaciones.
23. Colocar los cojinetes del árbol de levas con un torque de apriete de 9 ft-lb.
24. Fijar los retenes de aceite en los árboles de leva con silicón.
25. Situar las poleas de los árboles de levas con un apriete de 34 ft-lb.
26. Sincronizar el cigüeñal y las barras de levas con la polea.
27. Ensamblar la tapa plástica del cigüeñal y la polea con un torque de 101 ft-lb.
28. Colocar el distribuidor en su punto correcto.
29. Armar la el nuevo múltiple de admisión con sus mangueras.
30. Instalar el heder y sistema de escape nuevo.



Figura 48 Heder y carburadores Mikuni para motor 4age.

Fuente: Autores.

31. Montar el motor nuevamente en el vehículo con ayuda de una gata hidráulica.
32. Fijar correctamente a la caja de cambios y sus asientos.
33. Instalar los carburadores Mikuni con bridas hacia el múltiple.
34. Conectar las alimentaciones y masa respectivas.
35. Armar motor de arranque y alternador al motor.
36. Conectar las mangueras del radiador y filtro de aceite al motor.
37. Colocar aceite y refrigerante correctamente.
38. Verificar que todo esté bien conectado y situado.
39. Prender el vehículo.
40. Afinar los carburadores para una buena combustión.



Figura 49 Motor de 16 válvulas montado en el vehículo.

Fuente: Autores.

8.4. Conexión del sistema de encendido.

Como una variante extra, se reemplaza el distribuidor mecánico por un distribuidor inductivo para la tapa de cilindros de 16 válvulas, el distribuidor inductivo lleva solamente un captador de señales para la chispa que se producen por medio de cuatro levas en el rotor. Para generar la chispa se utiliza un módulo de encendido electrónico, el cual es el encargado de conectar y desconectar la corriente de la bobina primaria, este módulo carga la bobina cuando esta se encuentra conectada; en el momento que se desconecta, la bobina carga un voltaje de inducción el cual provoca la chispa; el módulo envía la chispa según la señal que produce el distribuidor. Para utilizar un módulo de encendido es recomendable usar una bobina seca, la cual no tiene límite de voltaje a diferencia de la de baño de aceite, que limita el voltaje por el propio platino. Se muestra en la figura 43, la conexión del sistema de encendido, el cual los terminales del módulo B y C se conectan al negativo y positivo de la bobina respectivamente. Mientras que el terminal G y W se conectan al captador de señales en el distribuidor. Para complementar la conexión el positivo de la bobina se conecta hacia en terminal 15 de switch de arranque del motor.

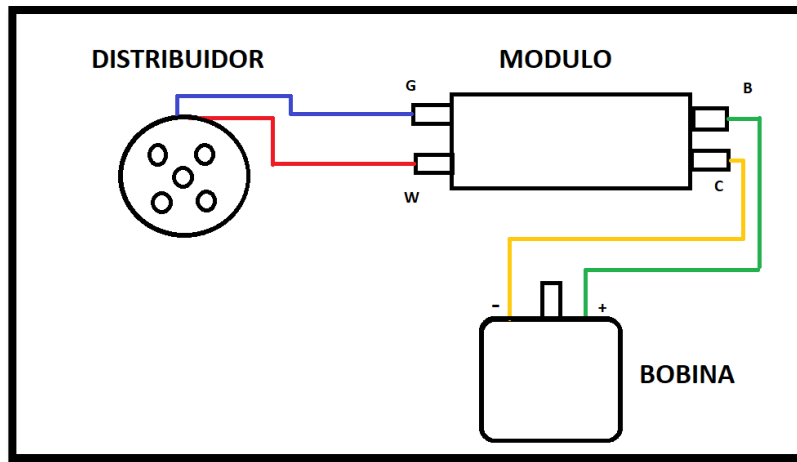


Figura 50 Diagrama de conexiones de módulo de encendido.

Fuente: Autores.

8.5. Resultados generales.

Como resultados finales se va a considerar el aumento en los dos procesos de medición, en el flujómetro y en las simulaciones. Como se muestra en la tabla 24, los resultados en los dos procesos son progresivos, esto nos dice que las muestras tomadas son correctas y existe un aumento, este se da a mayores rpm por lo que el motor al momento de que está a alrededor de 5900 rpm funciona de la mejor forma; mientras que cerca de 4100 rpm, se da un aumento en el flujo de aire, pero no se obtiene su mayor rendimiento.

Tabla 33 Resultados de aumento de Tapas de cilindros de 8 válvulas.

Fuente: Autores.

TAPA DE CILINDROS DE 8 VALVULAS			
RPM	Velocidad (m/s)	Flujómetro	Simulaciones
4150	10	7.37%	17%
5000	15	7.84%	19%
5900	20	8.49%	22%

En la tapa de cilindros de 16 válvulas, tenemos algo similar, aquí se puede notar un cambio más drástico al momento según cómo avanzan las RPM, este cambio es debido a los conductos y el volumen que tiene esta tapa, esto según las simulaciones. El porcentaje de diferencia según el flujómetro es el que más se acerca a la realidad puesto que es medido con más iteraciones y con las tapas de cilindros físicas, esto nos dice que a altas revoluciones cerca de las 5500 no existe mucha diferencia, pero, aun así, si presenta incremento de flujo en los conductos. Como

resultado se puede decir que la tapa de cilindros que mejor flujo de aire e incremento según las revoluciones es la de 16 válvulas.

Tabla 34 Resultados de aumento de Tapas de cilindros de 16 válvulas.

Fuente: Autores.

TAPA DE CILINDROS DE 16 VALVULAS			
RPM	Velocidad (m/s)	Flujómetro	Simulaciones
4150	10	6.89%	12%
5000	15	7.98%	15%
5900	20	8.07%	22%

8.6. Curva de Potencia y torque.

La única forma de comprobar el incremento en la potencia es en el banco dinamométrico, por lo que las gráficas con curvas de potencia-torque obtenidas, son el resultado de las innovaciones, modificaciones y fueron satisfactoriamente positivas, ya que existió un incremento de estos. Se obtuvo como resultado luego de la implementación de la tapa de cilindros de 16 válvulas en el motor Toyota 4age, un aumento de la potencia significativo. Las mediciones realizadas después de la implementación e innovaciones en el sistema de encendido y salida de los gases, dieron como resultado final, un incremento en la potencia de 16.3 kw, es decir de un 35% del valor inicial de potencia, este resultado es debido al aumento de flujo en los conductos de admisión con una mayor cantidad de válvulas por cilindro, y de igual forma al mecanizado de estos.



Figura 51 Grafica de Potencia–Torque de banco dinamométrico.

Fuente: Autores.

Después de todas las modificaciones realizadas al block y someter la tapa de cilindros de 16 válvulas al estudio de flujo volumétrico y aumento de este, se obtiene la figura 51 con los siguientes resultados: una potencia de 62.4 kw y un torque de 119.4 Nm, su punto máximo se refleja a las 5045 RPM, se puede decir que al aumentar la cantidad de aire que ingresa a la cámara de combustión, tiene una mejor explosión ,mejorando así, de forma notable la fuerza de empuje al cigüeñal, permitiendo desarrollar más revoluciones por minuto y potencia. En la **Tabla 35**, podemos ver el incremento en la potencia y torque luego de las modificaciones.

Tabla 35 Resultados de Potencia-Torque en el banco dinamométrico.

Fuente: Autores.

	Prueba con 8v		Prueba con 16v	
Potencia	46.1 kw	4830 rpm	62.4 kw	5045 rpm
Torque	95.4 Nm		119.4 Nm	

9. CONCLUSIONES

- Mediante el software de simulación Ansys, se encontró un aumento (mecanizado) del volumen en la tapa de cilindros de 8 válvulas de 21.27 cm³; presentando un porcentaje de aumento, que va desde 17% a 22%, cambiando este según el número de revoluciones que alcanza el motor, por lo que su mejor rendimiento volumétrico se da a 5900 rpm incrementando el flujo 20.71 CFM. De la misma manera en la tapa de cilindros de 16 válvulas, el volumen luego del mecanizado es de 137.81 cm³, llevando un porcentaje de aumento que va desde 12% a 22%, encontrando así, que el mejor rendimiento volumétrico se da a 5900 rpm, incrementando el flujo 45.18 CFM.
- Con ayuda del banco flujómetro se obtuvo resultados satisfactorios con datos experimentales, de igual forma el mayor rendimiento volumétrico que se tiene en la tapa de cilindros de 8 válvulas, se da a 5900 rpm aumentando 10.41 CFM sobre el valor inicial sin mecanizar. En cuanto a la tapa de cilindros de 16 válvulas su mejor rendimiento se da a 5900 rpm, con un aumento de flujo de 15.57 CFM, esto nos dice que la tapa de cilindros más eficiente para un motor de combustión interna es la de 16 válvulas, ya que a regímenes medios y altos tiene mejor ingreso de aire, por lo que va a responder mejor a las exigencias del conductor.
- Con la implementación de la Tapa de cilindros de 16 válvulas DOHC, se obtiene un mejor rendimiento en cuanto al flujo de aire, ya que consta de dos válvulas de admisión y dos de escape, tendiendo así conductos con mayor volumen para la libre circulación de los gases. La apertura o mecanización de las toberas de admisión, permitió la mejora de flujo volumétrico, con un incremento de 3mm en el diámetro de los conductos, teniendo una mejora del 7% en el paso de flujo.
- La instalación del heder ayudo a la evacuación de los gases combustionados, si se aumentó el ingreso del aire es necesario una libre salida de los gases, permitiendo así una libre respiración del motor; la innovación a sistema de encendido electrónico nos permite una mejora notable en la chispa para la combustión, teniendo más fuerza de empuje por las explosiones y complementando el aumento de potencia, con las mediciones en el banco, incrementando de una potencia inicial de 46,1 a una final de 62,4 kw.

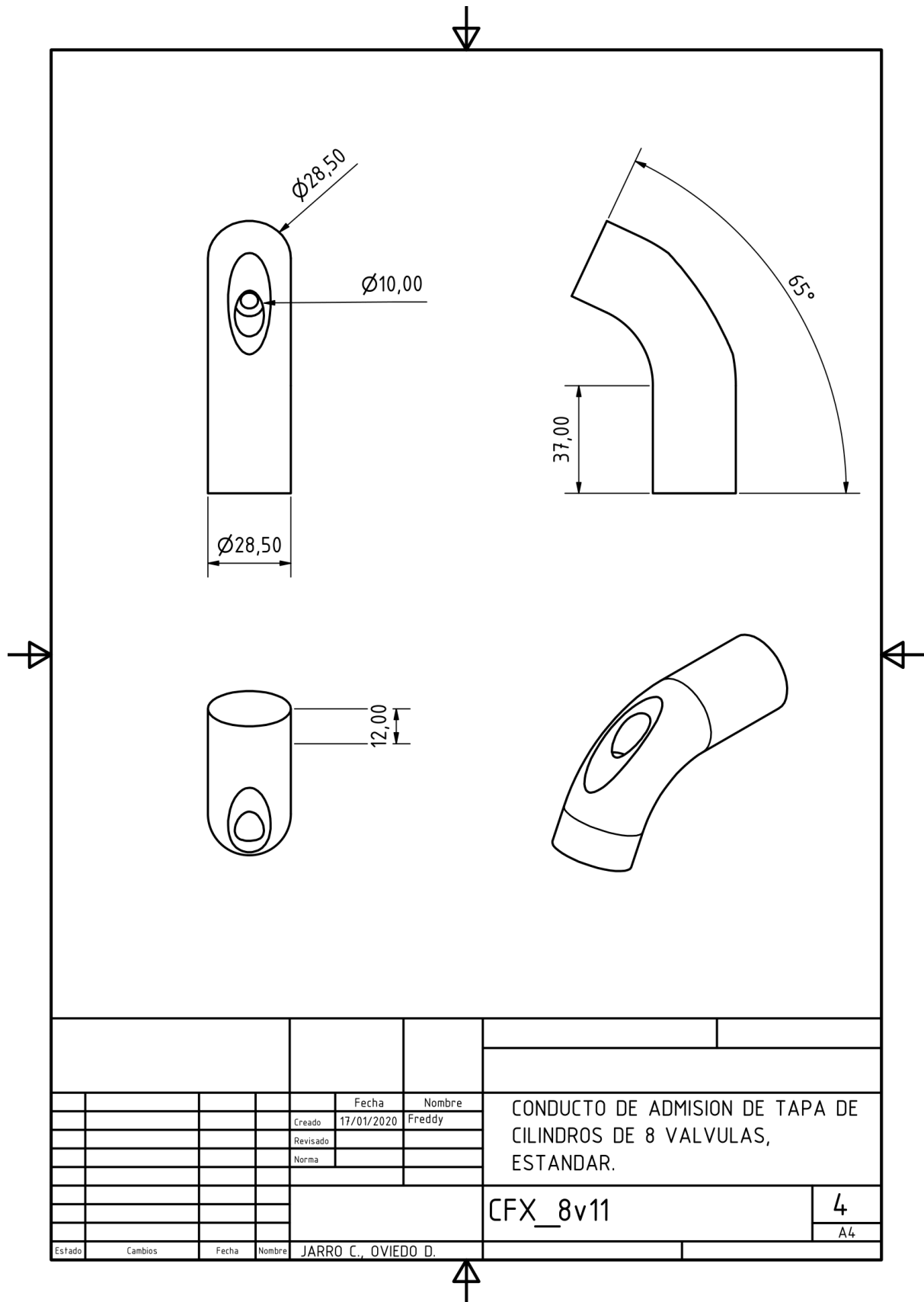
10. RECOMENDACIONES

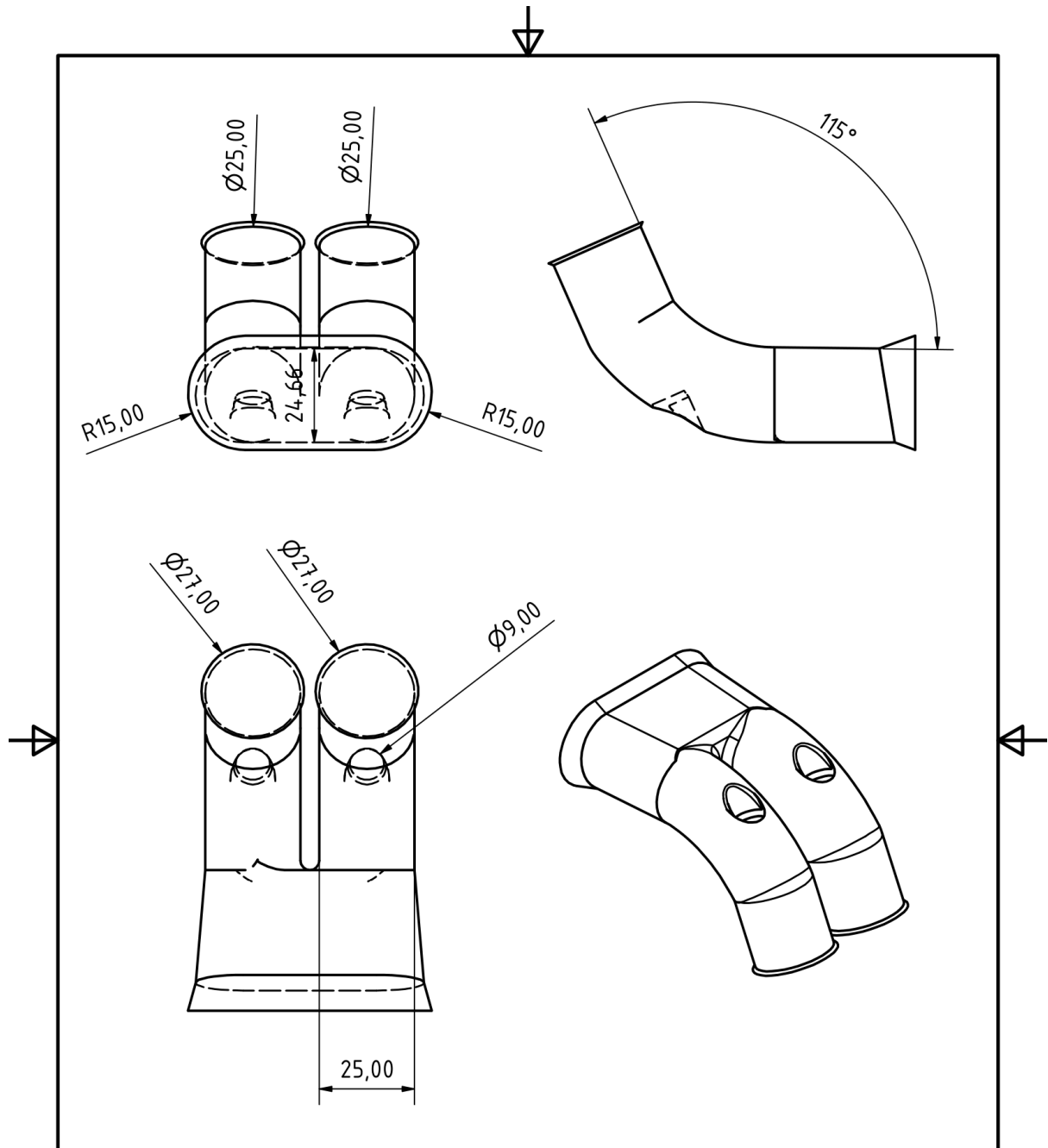
- En las pruebas en el banco dinamométrico, para obtención potencia y torque del vehículo, se debe tener el vehículo excelente funcionamiento y realizar todos los chequeos, mantenimientos para que los resultados sean válidos.
- En la preparación de motores es necesario el uso de esta herramienta que es el banco flujómetro, el cual ayuda a verificar el correcto trucado de las tapas de cilindro y el aumento de flujo en las mismas, se podría usar para validar el aumento en el volumen y velocidades que alcanza el aire al pasar por los conductos.
- Para realizar cualquier investigación o experimento donde involucre flujo volumétrico se debe tomar en cuenta la presión atmosférica, la humedad relativa y condiciones del ambiente donde se realizar al momento de la prueba de flujo, ya sea en tapas de cilindro o cualquier otro conducto, si no se lo hace los resultados podrían variar y no se llegaría a un resultado valido.
- Para reemplazar la tapa de cilindros de cualquier vehículo por una Twin cam, es recomendable complementar esta mejora con un sistema de inyección, ya que se incrementaría notablemente la potencia, siendo esta el objetivo del cambio.
- Para futuras pruebas en el banco flujómetro se recomienda rediseñar el mismo, ya que no permite medir flujo volumétrico a bajas rpm.

11. BIBLIOGRAFÍA

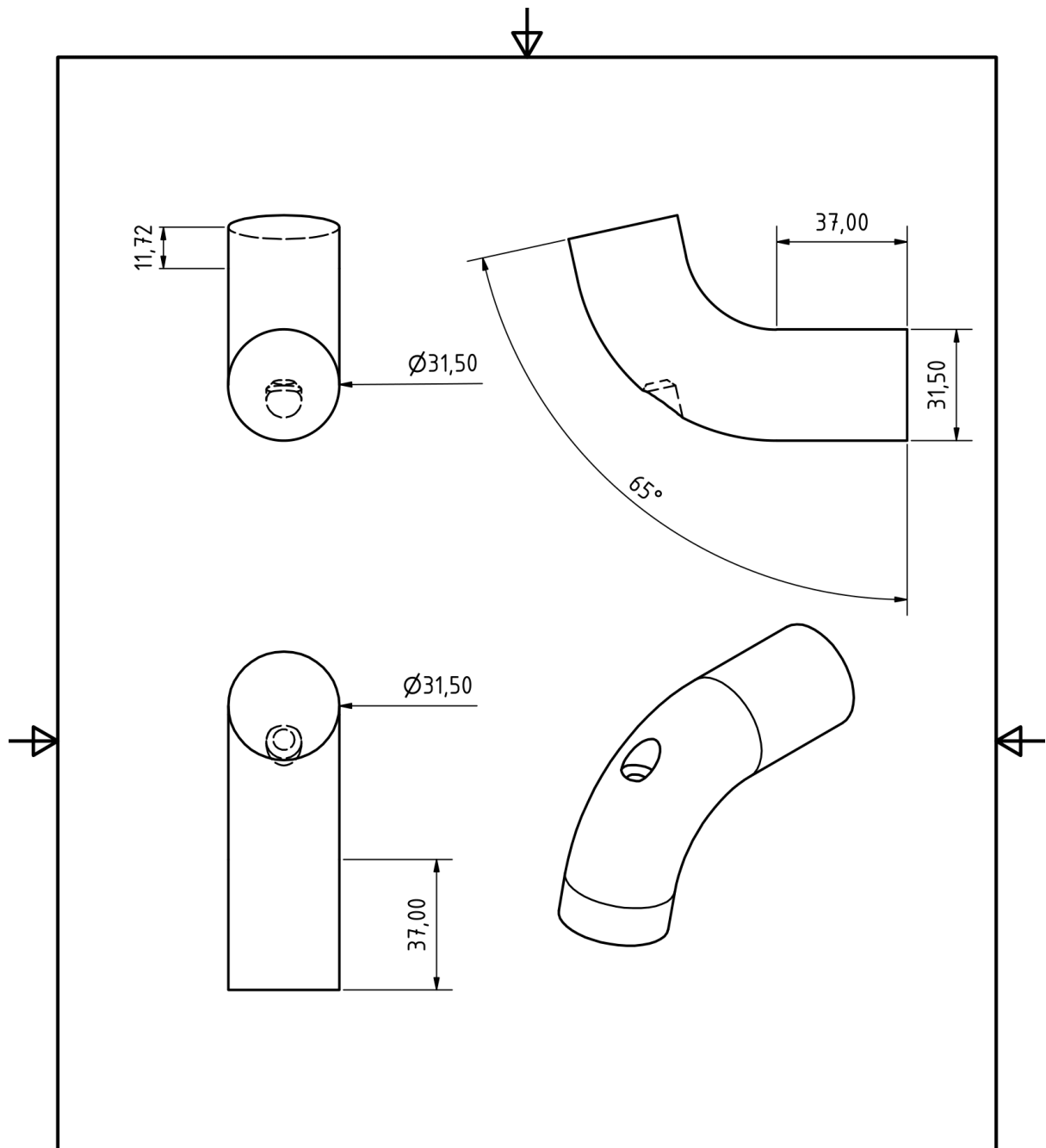
- Alonzo, J. M. (2004). *Técnicas del Automóvil*. Madrid: Thomson Paraninfo.
- Andrade, J., & Bautista, W. (2019). *Desarrollo de un sistema automatizado de cálculo para aumentar la eficiencia volumétrica y presión media del pistón en la repotenciación de motores ciclo Otto en autos de competencia*. Quito : Escuela Politecnica Nacional .
- Aristizabal, A., & Cisneros, D. (2010). *Diseño y Construcción de un Flujómetro para Cabezotes*. Quito, Ecuador: Universidad Internacional del Ecuador.
- Domingo, A. M. (2011). *Apuntes de Mecánica de Fluidos*. España: Creative Commons.
- Espinoza, D. (2016). *Análisis de flujo de aire en el conducto de admisión y válvula de admisión de una motocicleta suzuki de 125cc mediante dinámica de fluidos computacional*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Gaviláñez, F. C., & Gallardo, D. R. (2014). *Estudio de la optimización de flujo en la culata del vehículo Chevrolet Aveo 1600 cm³ DOHC mediante pruebas de Flujo* . Quito.
- Gilleri, S. (2007). *Preparación de Motores Serie para Competición*. Barcelona: CEAC.
- González González, J., Suarez Linares, A., Rivas Cuadrado, J. L., & Escudero Fernández, S. (2011). *Motores*. España: MCMILLAN.
- Iza, G., & Novillo, A. (2016). *Incremento de la eficiencia volumétrica en un motor de combustión interna con la implementación de un sistema de sobrealimentación gobernado por una ECM programable*. Riobamba: ESPOCH.
- Lopez, M., & Chicaiza, D. (2017). *Análisis comparativo del flujo de aire en una culata estándar y una preparada de un motor Grand Vitara 1600 CC Sohc*. Ibarra: UTN.
- Motores, T. (s.f). *Flujo de Culatas*. Obtenido de Todo Motores Empresa Automotriz:
http://www.todomotores.cl/competicion/flujo_culata.htm
- Salas, A. F., & Urrestarazu, L. P. (5 de Agosto de 2008). *Univesrsidad de Sevilla*. Obtenido de Open Course Ware Univesrsidad de Sevilla: http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%201.Principios%20de%20Hidraulica/tutorial_05.htm
- Sanchez, D., Carvajal, E., Chacartegui, R., & Muñoz, A. (2002). *Opened Access Optimización del diseño del conducto de admisión del motor FIL2006*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Saquicela, D. O. (2016). *Diseño y construcción de un flujometro digital para la medición de elementos de circulación de gases en motores de combustión interna alternativos*. Cuenca: Universidad Politecnica Salesiana .

12. ANEXOS

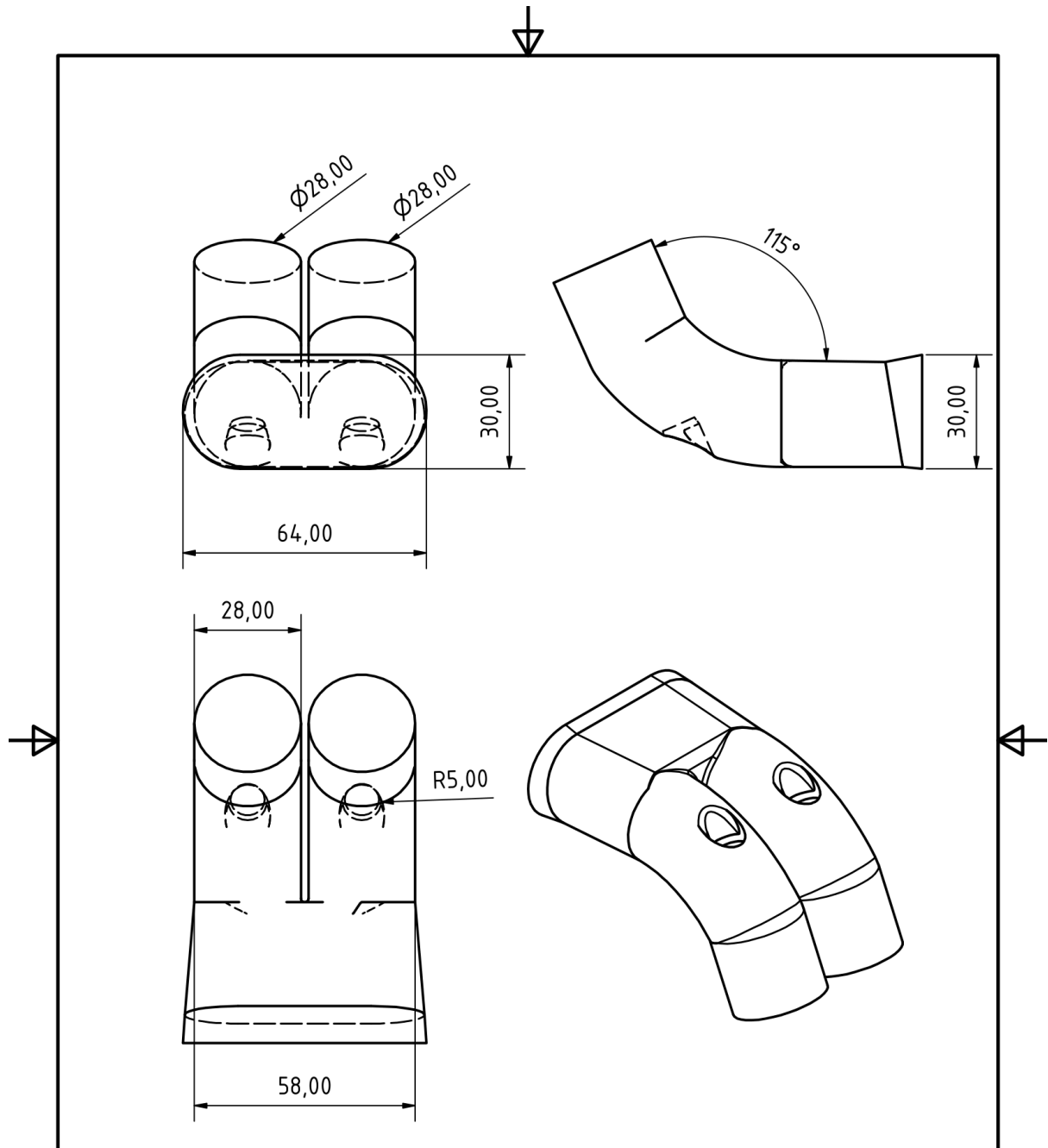




				Fecha	Nombre	CONDUCTO DE ADMISION DE TAPA DE CILINDROS DE 16 VALVULAS, ESTANDAR.		
				Creado	20/01/2020			Freddy
				Revisado				
				Norma				
						CFX_16v	2	
							A4	
Estado	Cambios	Fecha	Nombre	JARRO C., OVIEDO D.				



				Fecha	Nombre	CONDUCTO DE ADMISION DE TAPA DE CILINDROS DE 8 VALVULAS, MECANIZADA.		
				Creado	17/01/2020			Freddy
				Revisado				
				Norma				
						Volume fluido_8VMEC	2	
Estado	Cambios	Fecha	Nombre	JARRO C., OVIEDO D.			A4	



				Fecha	Nombre	CONDUCTO DE ADMISION DE TAPA DE CILINDROS DE 16 VALVULAS, MECANIZADA.		
				Creado	20/01/2020			Freddy
				Revisado				
				Norma				
						CFX_16v_Mec		
						2		
						A4		
Estado	Cambios	Fecha	Nombre	JARRO C., OVIEDO D.				