



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**“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”**

ESPINOZA CABRERA DAVID MOISÉS

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

RIOBAMBA – ECUADOR

2016

ESPOCH

Facultad de Mecánica

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

2015-11-20

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

ESPINOZA CABRERA DAVID MOISÉS

Titulado:

**“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”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Ing. Carlos Santillán Mariño
DECANO FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Bolívar Cuaical Angulo
DIRECTOR

Ing. Edwin Pozo Safla
ASESOR

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: ESPINOZA CABRERA DAVID MOISÉS

TRABAJO DE TITULACIÓN: “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”

Fecha de Examinación: 2016-08-18

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

| COMITÉ DE EXAMINACIÓN | APRUEBA | NO APRUEBA | FIRMA |
|---|----------------|-----------------------|--------------|
| Ing. Celín Padilla Padilla PRESIDENTE TRIB. DEFENSA | | | |
| Ing. Bolívar Cuaical Angulo DIRECTOR | | | |
| Ing. Edwin Pozo Safla ASESOR | | | |

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Celín Padilla Padilla
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

DERECHOS DE AUTORÍA

El Trabajo de Titulación que presento, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teórico-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad del autor. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

David Moisés Espinoza Cabrera

DECLARACION DE AUTENTICIDAD

Yo Espinoza Cabrera David Moisés, declaro que el presente Trabajo de Titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Espinoza Cabrera David Moisés
Cedula de Identidad: 010560725-3

DEDICATORIA

El presente Trabajo de Titulación se lo dedico en primer lugar a DIOS, porque es él quien guía e ilumina mi vida llenándome de bendiciones y sabiduría para alcanzar mis metas.

A mis padres Mauro y Emma por brindarme su apoyo y amor incondicional en todo momento, por sus enseñanzas llenas en valores que me han ayudado a ser un hombre de bien.

A mis hermanos Juan Carlos, Alexandra y a mi novia Karla quienes son el pilar fundamental en mi vida y gracias a su apoyo, amor y paciencia en todo este proceso educativo he podido culminar con éxito una etapa importante en mi vida.

David Moisés Espinoza Cabrera

AGRADECIMIENTO

Agradezco a DIOS por haber guiado mis pasos para alcanzar mi anhelado propósito en mi vida estudiantil.

A mis padres, que su sacrificio y apoyo incondicional se ve reflejado en el presente trabajo como muestra de mi gratitud hacia ellos. Sabiendo que su esmerado esfuerzo está siendo gratificado en este Trabajo de Titulación y así corroborando que la humildad rompe fronteras y que todo sacrificio es bendecido.

A mis hermanos porque han estado conmigo a cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar y a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento. Depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad. Es por ellos que soy lo que soy ahora.

A mi novia Karla que ha estado en todo el transcurso de mi carrera apoyándome y brindándome todos sus buenos consejos amor y cariño. Dejando de lado todo tipo de interés para ayudarme, enseñándome que siempre va a estar conmigo y que es ese apoyo que toda persona necesita en los momentos de júbilo y flaqueza.

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Automotriz, por brindarme la oportunidad de obtener una profesión y ser una persona útil a la sociedad.

Y en especial para todos los amigos, compañeros y personas que nos apoyaron de una u otra manera para culminar con éxito una etapa de nuestras vidas.

David Moisés Espinoza Cabrera

CONTENIDO

Pág.

| | | |
|-----------|--|----|
| 1. | INTRODUCCIÓN | |
| 1.1 | Antecedentes..... | 1 |
| 1.2 | Justificación..... | 1 |
| 1.3 | Objetivos..... | 2 |
| 1.3.1 | <i>Objetivo General.</i> | 2 |
| 1.3.2 | <i>Objetivos Específicos:</i> | 2 |
| 2. | MARCO TEORICO | |
| 2.1 | Motocicleta Suzuki GN125H | 3 |
| 2.1.1 | <i>Ficha técnica motocicleta Suzuki GN 125 H.</i> | 4 |
| 2.2 | Motor de una motocicleta..... | 4 |
| 2.2.1 | <i>Ciclo Otto de un motor de combustión interna de 4T.</i> | 5 |
| 2.3 | Culata..... | 6 |
| 2.3.1 | <i>Árbol de levas.</i> | 7 |
| 2.3.2 | <i>Conducto de admisión.</i> | 7 |
| 2.4 | Válvulas de admisión y escape | 8 |
| 2.4.1 | <i>Influencia de la válvula de admisión en el flujo de aire.</i> | 9 |
| 2.4.2 | <i>Sección de paso del fluido a través de la válvula.</i> | 9 |
| 2.5 | Naturaleza del Aire | 10 |
| 2.5.1 | <i>Influencia del aire en el estudio del flujo.</i> | 10 |
| 2.6 | Concepto de número de Reynolds | 11 |
| 2.7 | Rendimiento volumétrico | 12 |
| 2.8 | Movimiento de un fluido por un conducto | 12 |
| 2.8.1 | <i>Tipos de onda generadas en un conducto.</i> | 13 |
| 2.9 | Parámetros para mejorar la aceleración de un motor..... | 14 |
| 2.10 | Recursos para incrementar la potencia de un motor de 4 tiempos | 14 |
| 2.10.1 | <i>Aumentar la cilindrada.</i> | 14 |
| 2.10.2 | <i>Mejorar la eficiencia volumétrica</i> | 15 |
| 2.10.3 | <i>Mejorar la eficiencia térmica</i> | 15 |
| 2.10.4 | <i>Mejorar el rendimiento mecánico</i> | 15 |
| 2.10.5 | <i>Elevar el régimen de revoluciones</i> | 15 |
| 2.11 | Relación de presión de ondas | 16 |
| 2.12 | Velocidad teórica del gas en el conducto de admisión..... | 16 |
| 2.13 | Velocidad teórica del aire sobre la válvula de admisión | 17 |
| 2.13.1 | <i>Sección de paso del fluido a través de la válvula.</i> | 17 |
| 2.14 | Velocidad media del pistón | 18 |
| 2.15 | Masa de aire teórica aspirada por el motor | 18 |
| 2.16 | Método de elementos finitos para el análisis de flujo de aire..... | 19 |
| 2.16.1 | <i>Origen y naturaleza del flujo dentro de un motor de combustión interna.</i> | 19 |
| 2.17 | Plataforma de diseño SolidWorks | 19 |
| 2.18 | Plataforma de simulación ANSYS Workbench..... | 20 |
| 2.19 | Método de elementos finitos..... | 20 |
| 2.19.1 | <i>Metodología de resolución de un fenómeno.</i> | 21 |
| 2.20 | Qué es CFD | 23 |

| | | |
|--------|--|----|
| 2.20.1 | <i>Pre-procesador</i> | 23 |
| 2.20.2 | <i>Solver (programa de solución)</i> | 24 |
| 2.20.3 | <i>Post-procesador</i> | 24 |

3. MODELADO Y SIMULACIÓN DE LOS ELEMENTOS

| | | |
|-------|--|----|
| 3.1 | Modelado de elementos principales en SolidWorks..... | 25 |
| 3.1.1 | <i>Primeros pasos</i> | 25 |
| 3.1.2 | <i>Modelado de elementos principales</i> | 26 |
| 3.1.3 | <i>Modelo de elementos secundarios</i> | 26 |
| 3.2 | Extracción del fluido interno de los elementos en estudio..... | 26 |
| 3.2.1 | <i>Extracción de fluido de cabezote</i> | 26 |
| 3.3 | Importación y simulación del modelo en Ansys..... | 28 |
| 3.3.1 | <i>Desing Modeler</i> | 28 |
| 3.3.2 | <i>Meshing</i> | 32 |
| 3.3.3 | <i>ICE Solver Setup</i> | 33 |
| 3.3.4 | <i>Setup</i> | 34 |
| 3.3.5 | <i>Solution</i> | 35 |
| 3.3.6 | <i>Results</i> | 36 |

4. ANALISIS DEL ESTUDIO Y RESULTADOS

| | | |
|-------|--|----|
| 4.1 | Gráficas de velocidades del flujo de aire y turbulencia..... | 37 |
| 4.1.1 | <i>Parámetro inicial (Current)</i> | 37 |
| 4.1.2 | <i>Parámetro 1 (Dp1)</i> | 38 |
| 4.1.3 | <i>Parámetro 2 (Dp2)</i> | 38 |
| 4.1.4 | <i>Parámetro 3 (Dp3)</i> | 39 |
| 4.1.5 | <i>Parámetro 4 (Dp4)</i> | 39 |
| 4.1.6 | <i>Parámetro 5 (Dp5)</i> | 40 |
| 4.1.7 | <i>Parámetro 6. Alzada máxima (Dp6)</i> | 40 |
| 4.2 | Graficas de la presión en el flujo de aire..... | 41 |
| 4.3 | Promedio de flujo de masa de aire..... | 43 |
| 4.4 | Análisis de la relación de presión de ondas..... | 44 |
| 4.4.1 | <i>Relación de presión de ondas</i> | 44 |
| 4.5 | Cálculo de datos teóricos..... | 45 |
| 4.5.1 | <i>Velocidad media del pistón</i> | 45 |
| 4.5.2 | <i>Superficie del pistón</i> | 45 |
| 4.5.3 | <i>Sección del conducto de admisión</i> | 45 |
| 4.5.4 | <i>Velocidad del gas por el conducto de admisión</i> | 46 |
| 4.5.5 | <i>Sección de paso del fluido a través de la válvula</i> | 46 |
| 4.5.6 | <i>Velocidad teórica del aire sobre la válvula de admisión</i> | 46 |
| 4.6 | Calculo del rendimiento volumétrico..... | 47 |
| 4.7 | Numero de Reynolds..... | 48 |

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

| | | |
|-----|----------------------|----|
| 5.1 | Conclusiones..... | 49 |
| 5.2 | Recomendaciones..... | 49 |

BIBLIOGRAFÍA PLANOS

LISTA DE TABLAS

| | | Pág. |
|---|---|-------------|
| 1 | Ficha técnica Suzuki GN125H | 4 |
| 2 | Composición del aire atmosférico | 10 |
| 3 | Modelado de Elementos Principales. | 26 |
| 4 | Modelado de elementos secundarios..... | 26 |
| 5 | Puertos de flujo. Decompose..... | 31 |
| 6 | Graficas de la presión en el flujo de aire..... | 41 |

LISTA DE FIGURAS

| | | Pág. |
|----|--|-------------|
| 1 | Motocicleta Suzuki GN 125 H | 3 |
| 2 | Motor de una motocicleta..... | 4 |
| 3 | Ciclo Otto..... | 5 |
| 4 | Culata | 7 |
| 5 | Árbol de levas..... | 7 |
| 6 | Conducto de admisión..... | 8 |
| 7 | Válvulas de admisión y escape..... | 8 |
| 8 | Ondas de Compresión y Expansión | 13 |
| 9 | Coefficiente de descarga de una válvula | 17 |
| 10 | SolidWorks logotipo | 19 |
| 11 | Ansys Logotipo | 20 |
| 12 | Diagrama de resolución de un problema mediante CFD | 21 |
| 13 | Interfaz principal. SolidWorks. | 25 |
| 14 | Croquizado y extrusión. | 25 |
| 15 | Extrusión para extracción de fluido..... | 27 |
| 16 | Extracción de fluido, puertos..... | 27 |
| 17 | Extrusión y fusión del fluido y cilindro. | 27 |
| 18 | Interfaz principal. IC Engine..... | 28 |
| 19 | Input Manager | 29 |
| 20 | Válvula de admisión. Input Manager. | 29 |
| 21 | Asiento de Válvula de Admisión. Input Manager..... | 30 |
| 22 | Parámetros de entrada, alzada de válvulas. Input Manager. | 30 |
| 23 | Cara conducto de admisión. Input Manager..... | 31 |
| 24 | Cara conducto de escape. Input manager. | 31 |
| 25 | Malla por Defecto. Meshing..... | 32 |
| 26 | Parámetros de mallado. Meshing. | 32 |
| 27 | Mallado mejorado. Meshing. | 33 |
| 28 | Edit Solver Settings. | 33 |
| 29 | Models. Setup..... | 34 |
| 30 | Monitors. Setup. | 34 |
| 31 | Definir parámetros de entrada y salida. Setup..... | 35 |
| 32 | Run Calculation. Solution. | 35 |
| 33 | Convergence Manager. Solution. | 36 |
| 34 | Results. | 36 |
| 35 | Visualización de parámetros de entrada y salida..... | 37 |
| 36 | Alzada admisión 5,62mm, alzada de escape 0,1mm..... | 37 |
| 37 | Alzada admisión 4mm, alzada de escape 1mm..... | 38 |
| 38 | Alzada admisión 2mm, alzada de escape 2mm..... | 38 |

| | | |
|----|--|----|
| 39 | Alzada admisión 1mm, alzada de escape 3mm..... | 39 |
| 40 | Alzada admisión 0,5mm, alzada de escape 4mm..... | 39 |
| 41 | Alzada admisión 1mm, alzada de escape 4,99mm..... | 40 |
| 42 | Alzada admisión 5,62mm, alzada de escape 4,99mm..... | 40 |
| 43 | Parámetro de salida. Flujo de aire. Simulación..... | 43 |
| 44 | Presión generada por succión del pistón. | 44 |

LISTA DE ABREVIACIONES

| | |
|-----------|--|
| 2D: | Dos Dimensiones |
| 3D: | Tres Dimensiones |
| A.A.A | Adelanto a la Apertura de la Válvula de Admisión |
| A.A.E | Adelanto a la Apertura de la Válvula de Escape |
| CFD | Dinámica de Fluidos Computacional |
| IC Engine | Internal Combustion Engine |
| R.C.A | Retraso al Cierre de la Válvula de Admisión |
| R.C.E | Retraso al Cierre de la Válvula de Escape |
| RPM | Revoluciones Por Minuto |
| PMI | Punto Muerto Inferior |
| PMS | Punto Muerto Superior |

RESUMEN

El presente proyecto tiene como finalidad 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 y válvula de admisión para el posterior modelado 3D en la plataforma SolidWorks definiendo las geometrías internas para extraer las geometrías de flujo, es decir, por donde la mezcla aire combustible hace su recorrido hasta llegar a la cámara de combustión para convertirse en energía.

Dentro de los parámetros se estableció el mallado de la geometría del fluido definiendo el tipo de malla, los elementos tridimensionales utilizados para la resolución del flujo de la mezcla aire combustible. También se analizaron las condiciones de borde, es decir, definiendo caras de entrada y salida del aire presurizadas o atmosféricas; secciones que representan el interior del fluido y superficies que son el límite del fluido o pared, explicando paso a paso el desarrollo realizado para la simulación.

Para el análisis de flujo se tomaron ciertas condiciones iniciales del aire como: presión de referencia (atmosférica), temperatura de referencia absoluta (K), premezclado de gasolina en el aire (por defecto), sin tomar en cuenta la disipación de energía, 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.

Palabras clave: Simulación, modelado, geometría 3D, conducto de admisión, válvula de admisión, flujo de aire, turbulencia, gas, aire, gasolina.

ABSTRACT

The present Project aims to analyze the flow air in the duct and the intake valve in an Otto cycle engine of a Suzuki motorcycle, 125cc, through Finite Element Method using the Ansys Workbench computing platform.

The analysis was carried out by taking physical steps of the current model, corresponding to the cylinder head and intake valve for subsequent 3D modeling in the SolidWorks platform, defining the internal geometries to extract the geometries of flow, that is, where the air-fuel mixture is conveyed, until to reach the combustion chamber to become energy.

The parameters were established with the meshing of the fluid geometry, defining the type of mesh the three – dimensional elements used to resolve the flow of the air-fuel mixture. The boundary conditions were also analyzed, that is, input facets and output pressurized of atmospheric air were defined; sections that represents the inside of the fluid, and boundary surfaces that are the limit of the fluid or wall, by explaining step by step the performed development for simulation.

The flow analysis took certain initial conditions of the air like: Pressure reference (atmospheric), temperature of absolute reference (K), pre-mixed of gasoline in the air (by default), without taking into account the energy dissipation, heat transfer, radiation, etc.

A theoretical comparison was performed with the obtained results from the simulation as: Velocity gas within geometry, air consumption and turbulence with the obtained data of the cited bibliographies at work.

Keywords: Simulation, modeling, 3D geometry, intake pipe, intake valve, air flow, turbulence, gas, air, gasoline, Otto cycle.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La Facultad de Mecánica, de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ESPOCH, se encuentra inmersa en un programa investigativo donde se pretende aplicar ingeniería inversa para el diseño y construcción de una motocicleta con manufactura ecuatoriana tomando como medio de referencia la motocicleta Suzuki GN125H, con el fin de aportar a la implantación de la nueva matriz productiva en el país.

La elaboración de una motocicleta consiste en un proceso largo y sobretodo costoso; más aún si el producto está destinado al mercado ecuatoriano debido a los impases de importación e impuestos y las limitaciones que tiene el país en tecnología y procesos de manufactura, es por esta razón que la mayoría de empresas manufactureras han optado por el diseño 3D de los elementos y posteriormente la simulación del mismo para predecir su funcionamiento optimizar recursos y tiempos producción.

Hasta la actualidad se han estudiado una serie de situaciones y condiciones físicas con el uso de un ordenador cuyo software puede emplearse para resolver un sinnúmero de efectos mediante simulación, para lo cual cada plataforma se basa en modelos matemáticos y resolver fenómenos físicos como es el caso del fluido que ingresa al motor una motocicleta por funcionamiento propio de los órganos del mismo.

La calidad del comportamiento del fluido varía según el diseño, material, acabado superficial, lo cual define cuanta pérdida de carga se puede dar según el paso del flujo de aire hacia la cámara de combustión del motor.

1.2 Justificación

El diseño del conducto de admisión interviene en la eficiencia de un motor ya que de los trabajos que se realizan para mejorar el rendimiento del motor el 70% se obtiene mejorando la aspiración de aire hacia la cámara de combustión, esto significa, escoger un

filtro, carburador, y conductos adecuados debido a que la aspiración del aire depende mucho de que en el ducto no existan geometrías que puedan obstruir el paso del aire a esto se suma la adición de un combustible convirtiéndose en una mezcla, cambiando la densidad, la viscosidad, presión y temperatura distorsionando el flujo.

El trabajo se presentó como un estudio teórico basado en simulación mediante CFD del proceso de aspiración de aire con la geometría actual del conducto de admisión, conducto de escape, cámara de compresión, válvula de admisión y válvula de escape. A esto se suma la adición de combustible afectando el paso del aire por el conducto de admisión y su transcurso por el asiento de la válvula de admisión, con el fin de que se puedan realizar futuros trabajos investigativos para el mejoramiento de la respiración del motor y llegar a concluir la construcción de la motocicleta, con la suma de todos los trabajos dados en la Carrera de Ingeniería Automotriz.

La presente simulación proporcionará datos de velocidad del flujo de aire y si el flujo es laminar o turbulento, la presión generada por succión del pistón, rendimiento volumétrico, para así dotar a las futuras investigaciones de parámetros y variables de entrada y salida de flujo.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General. Analizar el flujo de aire en el conducto y válvula de admisión en un motor de cuatro tiempos de una moto Suzuki GN125H, simulando mediante dinámica de fluidos computacional (CFD).

1.3.2 Objetivos Específicos:

- Verificar mediante un estudio basado en el método de elementos finitos la turbulencia que se genera en la cámara de combustión.
- Identificar virtualmente el movimiento de aire en el conducto de admisión hasta la cámara de combustión.
- Interpretar los resultados obtenidos virtualmente para conocer el rendimiento volumétrico actual del motor.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEORICO

2.1 Motocicleta Suzuki GN125H

La motocicleta GN125H es la elección perfecta para aquellos que buscan conveniencia y versatilidad de movimiento día a día sobre dos ruedas. Con un toque de diseño tradicional, la GN125H combina un chasis liviano con un económico motor, sistema de encendido eléctrico, amortiguación delantera telescópica y trasera en espiral ajustable en 5 posiciones, seguro freno de disco delantero, tanque de combustible con capacidad para 10,3 litros a parte de su reserva de 2lt. (SUZUKI COLOMBIA, 2016)

Figura 1. Motocicleta Suzuki GN 125 H



Fuente: <http://image.rakuten.co.jp/hatoya/cabinet/new-bike002/gn125hm.jpg>

Su estética exterior despide un aroma a rebeldía y no solo por fuera; el corazón que le da vida a esta moto también se enfrenta a lo establecido, al contar con un motor monocilíndrico de cuatros tiempos de 125cc que produce una fuerza de 12,5 HP; haciéndola mucha más ecológica y económica.

En la ciudad así como en la carretera uno necesita ser rápido y eso lo sabe Suzuki; es así, que a este modelo se le ha implementado una caja de 5 velocidades para levantar polvo mientras recorremos el asfalto. (SUZUKI PERÚ, 2016)

2.1.1 Ficha técnica motocicleta Suzuki GN 125 H

Tabla 1. Ficha técnica Suzuki GN125H

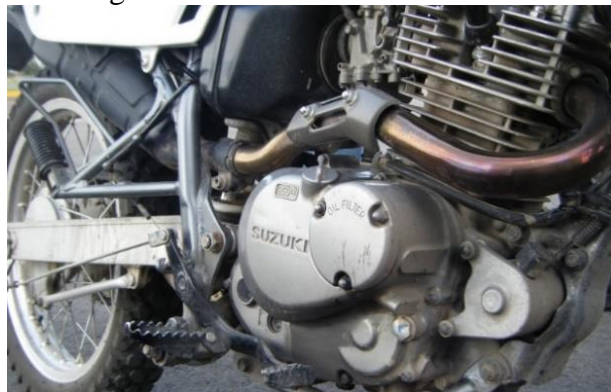
| Motor | |
|------------------------|---------------------------------|
| Tipo de motor | 4 tiempos enfriado por aire OHC |
| Número de cilindros | 1 cilindro |
| Diámetro | 57,0 mm |
| Carrera | 48,8 mm |
| Desplazamiento | 124 cm ³ |
| Relación de compresión | 9,5 : 1 |
| Otros | |
| Potencia | 12,5 HP / 9000 rpm |
| Torque | 0,91 kgf.m / 7000 rpm |
| Consumo | 47 km/l |

Fuente: Catálogo Motocicleta Suzuki GN125H

2.2 Motor de una motocicleta.

La motocicleta generalmente es propulsada por un motor de combustión interna de dos tiempos (2T), aunque últimamente las motocicletas están cambiando sus motores dos tiempos por motores cuatro tiempos (4T), esto se debe a que se están buscando motores menos contaminantes que cuiden el medio ambiente y en algunos casos como las motocicletas tipo “scooters” están impulsados actualmente por motores eléctricos que no provocan emisiones contaminantes debido a la combustión de gases.

Figura 2. Motor de una motocicleta.



Fuente: <http://motorutamexico.com/2009/09/29/destinazione-paradiso-suzuki-gn125h-rodando-1829km-parte-1/>

Un ciclo de cuatro tiempos depende mucho del tiempo (velocidad de giro) en que se logra completar aquel ciclo para conseguir que ingresen más gases a un régimen de

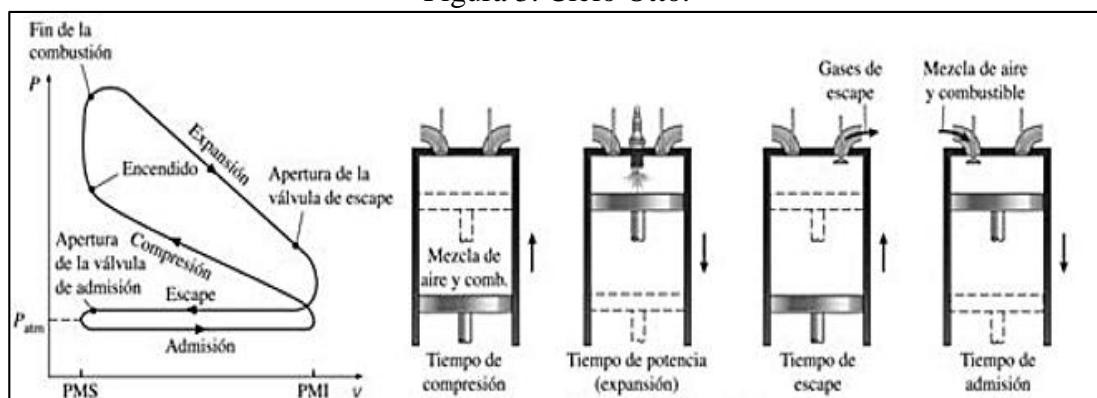
revoluciones de un motor determinado, o para conseguir que ingrese la misma cantidad de gases a un mayor número de revoluciones. Pero el factor tiempo vs velocidad no siempre es una desventaja, es decir, al aumentar las revoluciones, hay menores pérdidas. Por otro lado, el calor puede perderse por el ducto de escape, o también, que el calor aumente la temperatura de los elementos que conforman el motor.

Calor y temperatura no siempre significan lo mismo; en realidad, la potencia es lo mismo que calor, y se definen como la capacidad de realizar un trabajo en un tiempo determinado. Si un cuerpo no hace más que adquirir calor elevará su temperatura. Obviamente esto no es aconsejable que suceda en los motores, porque la mayoría de los metales se dilatan, reducen sus capacidades, su duración y por ultimo podrían producirse micro soldaduras entre elementos que se encuentran en fricción continua o terminarían fundiéndose.

En los motores de combustión interna se utiliza calor para elevar la presión interna de la mezcla de gases, pero por fenómenos físicos sabemos que el calor se disipa hacia los metales que conforman los elementos del motor y por ende la eficiencia térmica se ve reducida muy notablemente (aproximadamente 30%) por lo que solo cierto calor termina siendo potencia útil para mover el cigüeñal.

2.2.1 *Ciclo Otto de un motor de combustión interna de 4T.* Un motor que funciona con un ciclo de potencia Otto está sujeto a cuatro tiempos: admisión, compresión, explosión y escape, los cuales se describen a continuación:

Figura 3. Ciclo Otto.



Fuente: Termodinámica. Çengel, Yunus A.; Boles, Michael A.

2.2.1.1 *Tiempo de admisión.* Al inicio del ciclo el pistón desciende a su posición

más baja llamada punto muerto inferior (PMI) creando un vacío y aspirando la mezcla aire - combustible.

2.2.1.2 *Tiempo de compresión.* Durante la carrera de compresión, el pistón se mueve hacia arriba y comprime la mezcla de aire y combustible.

Un poco antes de que el pistón alcance su posición más alta llamada punto muerto superior (PMS), la bujía produce una chispa para encender la mezcla, con lo cual aumenta la presión y la temperatura del sistema.

2.2.1.3 *Tiempo de explosión.* Los gases de alta presión impulsan al émbolo hacia abajo, el cual a su vez obliga a rotar al cigüeñal, lo que produce una salida de trabajo útil durante la carrera de expansión o carrera de potencia.

2.2.1.4 *Tiempo de escape.* Al final de esta carrera, el émbolo se encuentra en su posición más baja (la terminación del primer ciclo mecánico) y el cilindro se llena con los productos de la combustión.

Después el émbolo se mueve hacia arriba una vez más y evacua los gases de escape por la válvula de escape (carrera de escape), para descender por segunda vez extrayendo una mezcla fresca de aire y combustible a través de la válvula de admisión (carrera de admisión).

Observe que la presión en el cilindro está un poco arriba del valor atmosférico durante la carrera de escape y un poco abajo durante la carrera de admisión. (ÇENGEL, y otros, 2011).

2.3 Culata

La culata o tapa de cilindros, es una pieza de hierro fundido o aluminio encargada de sellar superiormente los cilindros de un motor de combustión para evitar la pérdida de compresión. La junta de culata o empaque está constituida por materiales flexibles capaces de soportar las grandes temperaturas que genera el motor.

También tiene la función de alojar en ella el eje de levas, las bujías (en motores gasolina),

válvulas de admisión y escape, además de cumplir la función de transportar el fluido hacia la cámara de compresión por medio de sus conductos de admisión y escape.

Figura 4. Culata



Fuente: <http://www.motociclistas.cl/foro/index.php?topic=59974.0>

2.3.1 *Árbol de levas.* Es el encargado de abrir las válvulas en los tiempos correspondientes para que ingresen y salgan los gases del motor.

Para que el cilindro tenga un buen llenado es conveniente que la válvula permanezca en su máxima apertura el mayor tiempo posible y que las operaciones de apertura y cierre de válvulas se lleven a cabo con suavidad para evitar que las válvulas impacten en sus asientos, así como los efectos excesivos de inercia de las mismas. (FUNES, 2010)

Figura 5. Árbol de levas



Fuente: El Autor

2.3.2 *Conducto de admisión.* El conducto de admisión de una motocicleta es de longitud reducida, el diámetro del conducto depende mucho de la cantidad de gas que se pretende ingresar hacia el interior del motor y del diámetro de la válvula de admisión, proporcionando la menor resistencia posible a su paso.

Figura 6. Conducto de admisión



Fuente: El Autor

Lo que se pretende lograr en el conducto de admisión es que el flujo se mantenga de manera laminar o poco turbulento hasta llegar al asiento de válvula, asimismo mantener una presión adecuada, ante muy pequeños aumentos de valores de presión de admisión se obtendrá aumentos considerables en la potencia del motor.

2.4 Válvulas de admisión y escape

Las válvulas de un motor son elementos de precisión mecanizadas, fundidas parcialmente con aleaciones de sodio, titanio, aluminio o de sales de litio, potasio, etc. Suponen la restricción más importante al flujo de los gases de admisión y escape.

Idealmente, la apertura y cierre instantáneo de las válvulas permitiría la mínima caída de presión entre corriente arriba y abajo de las mismas.

Figura 7. Válvulas de admisión y escape.



Fuente: <http://www.ebay.es/itm/New-Valves-Intake-Exhaust-PAIR-for-Suzuki-GN125-GZ125-GS125-DR125-/151919604580>.

Por lo que es necesario realizar un levantamiento progresivo para evitar aceleraciones excesivas que puedan poner en peligro la integridad de válvulas y levas, o deceleraciones excesivas que puedan producir el despegue de las mismas del mecanismo que las empuja y con ello engendrar ruido, vibraciones y desgaste prematuro. (FUNES, 2010)

Durante la mayor parte del tiempo que una válvula permanece abierta el flujo está estrangulado por ella, de modo que la mejor manera de mejorar la respiración del motor es incrementar al máximo la sección de paso por medio del incremento del diámetro de la válvula y el número de válvulas. (PAYRI, y otros, 2011)

2.4.1 *Influencia de la válvula de admisión en el flujo de aire.* En el proceso de llenado de los cilindros, la válvula y el casquillo cumplen una función muy importante. El diámetro y la alzada dependerán de las prestaciones del motor.

Lo que se pretende conseguir con la válvula es que el motor respire mejor y lograr un buen llenado del cilindro.

- La velocidad del gas por la válvula debe estar comprendida entre 95 m/s a 105 m/s.
- La velocidad media no debe pasar los 3,5 m/s (por seguridad del elemento).
- La alzada debe comprenderse entre 25% a 30% del diámetro de la misma. (FUNES, 2010)

Se suele pensar que agrandando los conductos y colocando válvulas más grandes se consigue más rendimiento, pero existe un estrecho rango para dar el máximo rendimiento del motor.

Si sobredimensionamos los conductos de admisión y escape, lo que ocurre es que baja la velocidad del aire, por lo cual el motor va a tener menos rendimiento en bajas revoluciones, el par máximo y la máxima potencia se conseguiría a unas revoluciones más altas que pueden exceder las limitaciones mecánicas del motor.

2.4.2 *Sección de paso del fluido a través de la válvula.* Para calcular la sección de paso del fluido se parte de la siguiente fórmula. (FUNES, 2010)

$$Fp = 0,7854 * (D^2 - d^2) * He * CosA \quad (1)$$

Donde:

D = Diámetro de la válvula. [cm]

d = Diámetro del vástago. [cm]

He = alzada. [cm]

A = Angulo del asiento. [°]

2.5 Naturaleza del Aire

El aire es una mezcla de un conjunto de gases presentes de manera natural dentro del planeta. El aire atmosférico está compuesto en su mayoría de nitrógeno y oxígeno, primordiales para la supervivencia de animales y humanos. En menoría se encuentran componentes como: dióxido de carbono, vapor de agua, argón, neón, etc.

Tabla 2. Composición del aire atmosférico

| Tipo de gas | % |
|---------------------------------------|------|
| Nitrógeno (N ₂) | 78 |
| Oxígeno (O ₂) | 20 |
| Gases nobles | 1 |
| Dióxido de carbono (CO ₂) | 0,03 |
| Agua (H ₂ O) | 0,97 |

Fuente: <http://www.lenntech.es/faq-quimica-y-fisica-del-aire.htm>

La masa de 1 m³ de aire a la presión de 1 bar (~760 mm Hg) que es la presión atmosférica y a la temperatura de 273,16 K (0° C) vale 1,2928 kg.

Un kilogramo de aire a presión atmosférica y a temperatura de 273,16 K ocupa un volumen de 0,77351 m³ (DÍAZ BONIFAZ, 1987)

2.5.1 *Influencia del aire en el estudio del flujo.* Un modelo de estado de la relación aire-combustible hace referencia a un motor de encendido por chispa. Este modelo se presenta para facilitar una comprensión básica de las leyes dinámicas que rigen la relación

aire-combustible.

El proceso real que genera la relación aire-combustible es muy complicado y el modelo derivado sólo proporciona una aproximación a este proceso. Para lo cual se asume las siguientes condiciones en la obtención de este modelo.

- El aire en el colector de admisión actúa como un gas ideal.
- La tasa de cambio de la temperatura del aire en el colector de admisión es pequeña.
- El funcionamiento de los cilindros se pasa por alto, se consideran los flujos medios.

El modelo de estado resultante es adecuado para el análisis inicial y el diseño de sistemas de retroalimentación para controlar la relación aire-combustible en un motor de encendido por chispa. (BURL, 2000)

2.6 Concepto de número de Reynolds

El comportamiento de un fluido depende de que el flujo sea laminar o turbulento. Por esta razón Osborne Reynolds fue el primero en demostrar mediante el conocimiento de un número adimensional al cual se le conoce hoy como número de Reynolds (Re) el cual se expresa de la siguiente manera:

$$Re = \frac{vD\rho}{\eta} \quad (2)$$

Donde:

Re = Número de Reynolds.

v = Velocidad promedio del flujo. [m/s]

η = La viscosidad dinámica. [Pa.s] o [kg/(m.s)]

D = Diámetro del tubo. [cm]

ρ = Densidad. [g/cm³]

- Si el número de Reynolds es mayor que 4000, el flujo es turbulento.
- En el rango de números entre 2000 y 4000 el flujo se encuentra en una etapa crítica

o de transición.

- Por ultimo si el número de Reynolds es menor o igual que 2000 el flujo se denomina laminar. (MOTT, 2006)

2.7 Rendimiento volumétrico

Es la relación entre la cantidad de aire realmente aspirada en el cilindro y la que teóricamente debe haber sido aspirada. (DÍAZ BONIFAZ, 1987)

El rendimiento volumétrico influye mucho en las prestaciones de un motor, ya que cuanto más grande sea la masa de aire introducida en los cilindros, mayor será la cantidad de combustible que podrá quemarse y, por tanto, mayor será la potencia. El rendimiento volumétrico, cuyo valor suele oscilar entre 0,70 y 0,85, varía con el régimen de rotación del motor, ya que la resistencia que el fluido encuentra al atravesar los conductos aumenta con la velocidad del mismo.

$$\eta_v = \frac{m_r}{m_t} \quad (3)$$

Donde:

η_v = Rendimiento volumétrico

m_r = Masa real del aire [kg]

m_t = Masa teórica del aire [kg]

2.8 Movimiento de un fluido por un conducto

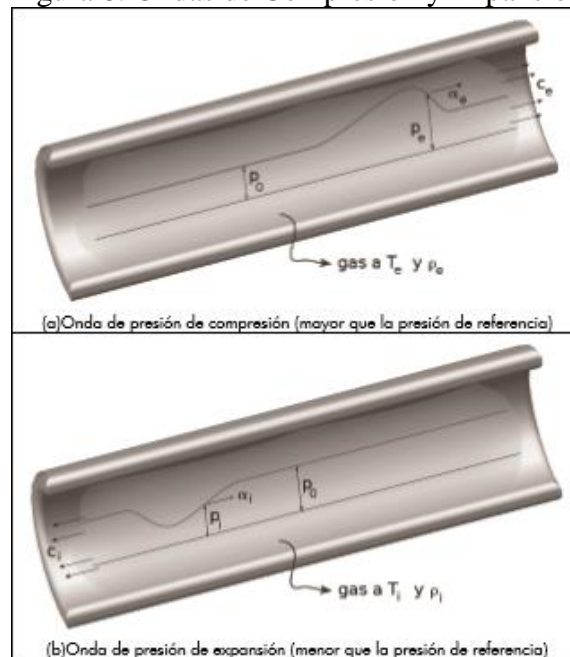
En el caso del flujo de gas en la admisión y escape de un motor, el comportamiento inestable se da por cambios en la presión debido a la rápida apertura y cierre de las válvulas del motor.

Esto hace que la presión en la tubería cambie con el tiempo, así el motor se encuentre en un régimen de carga y velocidad fijo. (Simulación del flujo de gas en ductos de escape de motores de combustión interna. Primera parte: aspectos teóricos, 2009)

2.8.1 *Tipos de onda generadas en un conducto.* En el conducto de admisión se encuentran dos tipos de ondas principales de presión que son de compresión y expansión, éstas por tener picos de presión diferentes con referencia a la presión atmosférica impactan entre sí, al suceder esto producen ondas de amplitud finita.

2.8.1.1 *Ondas de compresión y expansión.* Las ondas de compresión generalmente se encuentran en el conducto de admisión, la masa viaja en la misma dirección de la onda y tienen un pico de presión por encima de la presión atmosférica y las ondas de expansión que son encontradas en el conducto de escape.

Figura 8. Ondas de Compresión y Expansión



Fuente: <http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v29n1/v29n1a15>

La relación de presión de una onda de compresión es siempre mayor a 1 mientras que la de expansión es menor que la unidad.

2.8.1.2 *Ondas de presión en el múltiple de admisión.* Se forman por el producto de la combustión y sobretodo en el barrido de gases que dentro de un motor de combustión no es perfecto.

Si los gases producto de la combustión son convenientemente expulsados por el sistema de escape y la onda de expansión generada llega al cilindro en (AAA), las moléculas del gas combustible fluirán hacia el cilindro teniendo una dirección interior – exterior y si al mismo tiempo la onda logra penetrar al conducto de admisión se transformará en ondas

de expansión.

La mayor aspiración de aire se producirá cuando la velocidad instantánea del pistón sea máxima, siempre antes de los 90° de giro del cigüeñal. Una baja velocidad del gas por la válvula de admisión ocasionará una débil reflexión de onda que no podrá ser aprovechada convenientemente.

2.8.1.3 *Ondas de amplitud finita.* El flujo dentro de un motor de combustión interna, tiene un comportamiento bastante inestable, cambiando los parámetros de presión, temperatura y velocidad a lo largo del funcionamiento del mismo. Cuando se cierra la válvula de admisión la velocidad del gas es igual a cero; cuando se abre nuevamente, la diferencia de presión comienza a acelerar las moléculas del gas combustible hacia el interior del cilindro. Las variaciones de presión que son detectadas por el oído se denominan ondas acústicas y las ondas que son de mayor presión a las acústicas se denominan “ondas de amplitud finita”, siendo aproximadamente 10 000 veces más grandes.

2.9 Parámetros para mejorar la aceleración de un motor

Para lograr un mejor desempeño del motor se deben trabajar en ciertos aspectos fundamentales que son la característica de que un motor de combustión sea más potente que el otro. La finalidad de mejorar la eficiencia de un motor hace hincapié en la segunda ley de Newton. La aceleración es directamente proporcional a la fuerza e inversamente proporcional a la masa.

Traduciendo a palabras sencillas si queremos que un motor de combustión interna erogue más aceleración se debería incrementar la fuerza de empuje del pistón, a éste aspecto se lo puede definir por la velocidad del flujo de aire hacia el cilindro del motor, o sea mejorar el rendimiento volumétrico. (FUNES, 2010)

2.10 Recursos para incrementar la potencia de un motor de 4 tiempos

2.10.1 *Aumentar la cilindrada.*

- Agrandar el diámetro del cilindro.

- Alargando la carrera del pistón, esto es modificando el cigüeñal. (FUNES, 2010)

2.10.2 *Mejorar la eficiencia volumétrica*

- Trabajar sobre su superficie para evitar pérdidas.
- Modificar el conducto de admisión.
- Trabajar en los conductos, válvulas y casquillos y cámara de combustión.
- Cambiar tiempos de apertura y cierre de válvulas, trabajando en el árbol de levas.
- Bajar la temperatura del aire para incrementar el llenado en peso. (FUNES, 2010)

2.10.3 *Mejorar la eficiencia térmica*

- Aumentar la relación de compresión
- Analizar diferentes cámaras de combustión.
- Eliminar puntos calientes para evitar auto detonación.
- Mejorar el sistema de encendido. (FUNES, 2010)

2.10.4 *Mejorar el rendimiento mecánico*

- Trabajar en cojinetes.
- Mejorar lubricación y refrigeración.
- Balancear y equilibrar todos los mecanismos de movimiento alternativo y rotación. (FUNES, 2010)

2.10.5 *Elevar el régimen de revoluciones.* Se debe tomar en cuenta todos los órganos del motor desde su exterior hasta su interior.

- Alivianar piezas en movimiento. (FUNES, 2010)

2.11 Relación de presión de ondas

El límite de esfuerzo para una onda acústica es de 130 decibeles provocando una onda de presión de 0.000 306 kg/cm². Además, la presión atmosférica a nivel del mar es de 1,033 kg/cm².

$$Rp = \frac{P+Pi}{Patm} \quad (4)$$

$$Rp = \frac{1,033 + 0,000\ 306}{1,033} = 1,0029$$

Donde:

R_p = Relación de presión

P = Presión de succión del pistón [kg/m²]

P_i = Presión de interferencia [kg/m²]

P_{atm} = Presión atmosférica [kg/m²]

Siendo este valor la interferencia de presión cuando se compara con la presión atmosférica. La amplitud de la onda puede ser tan grande que en un sistema de escape puede haber relaciones de presión mayores a 3. (FUNES, 2010)

2.12 Velocidad teórica del gas en el conducto de admisión

El volumen del gas que circula por el múltiple de admisión es directamente proporcional al volumen aspirador por el pistón. Designando la siguiente ecuación: (FUNES, 2010)

$$Vp * Sp = Vg * Sc \quad (5)$$

Donde:

V_p = Velocidad media del pistón [m/s]

S_p = Superficie del pistón [m²]

S_c = Sección del conducto de admisión [m²]

V_g = Velocidad del gas por la admisión [m/s]

2.13 Velocidad teórica del aire sobre la válvula de admisión

La velocidad en el asiento de la válvula de admisión viene directamente relacionada con la velocidad media del pistón, la superficie del pistón y la superficie de paso del fluido. (FUNES, 2010)

$$V_g = \frac{V_p \cdot S_p}{F_p} \quad (6)$$

Donde:

V_g = Velocidad del gas [m/s]

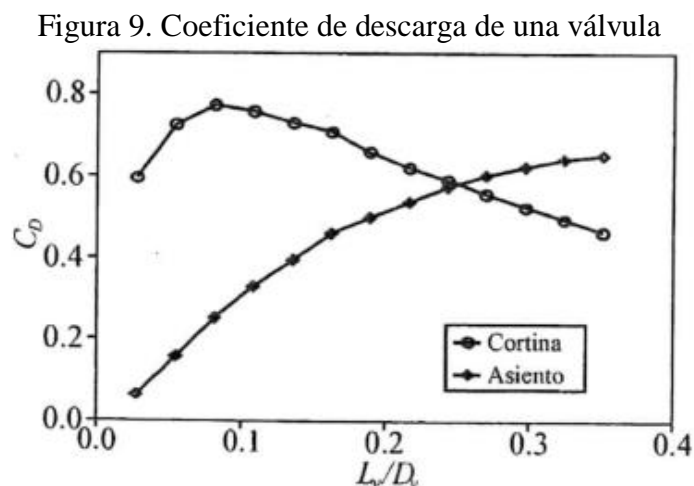
V_p = Velocidad media del pistón [m/s]

S_p = Superficie del pistón [m²]

F_p = Sección de paso del fluido [m²]

2.13.1 Sección de paso del fluido a través de la válvula. La válvula cuando está cerrada acopla en su asiento cónico herméticamente interrumpiendo el paso de la mezcla desde el conducto de admisión hacia la cámara de compresión permitiendo la combustión de los gases ingresados impidiendo las fugas desde la cámara de compresión hacia los conductos de admisión y escape respectivamente, cuando la válvula de admisión abre descubre una sección que se conoce como sección de paso de válvula o sección de cortina.

Debido al estrechamiento de la vena fluida a su paso por la válvula se define un coeficiente de descarga C_p , que se muestra en la ilustración siguiente:



Fuente: Motores de combustión interna alternativos. Payri y Desantes. 2011

Donde:

L_v = Levantamiento de la válvula [m]

D_v = Diámetro de la válvula [m]

La sección de paso del flujo depende del levantamiento y de la configuración del flujo que resulte, con lo que se puede conocer la sección efectiva de la válvula al paso del flujo, por medio de la expresión: (PAYRI, y otros, 2011)

$$F_p = C_d * \frac{\pi D_v^2}{4} \quad (7)$$

Donde:

C_d = Coeficiente de descarga

D_v = Diámetro de la válvula [m/s]

F_p = Sección de paso del flujo [m²]

2.14 Velocidad media del pistón

La velocidad media del pistón se encuentra directamente relacionada con la carrera del pistón y el número de revoluciones del motor la puede encontrar mediante la siguiente formula: (FUNES, 2010)

$$V_p = \frac{s * n}{30} \quad (8)$$

Donde:

V_p = Velocidad media del pistón [m/s]

n = revoluciones del motor

s = carrera del pistón [m]

2.15 Masa de aire teórica aspirada por el motor

En el ciclo Otto tenemos un tiempo de admisión, que es donde se produce la aspiración del motor, la cual se define por el diámetro del cilindro y la carrera de pistón, los cuales

forman un volumen el cual va a ser llenado por la masa de aire que ha sido aspirada. Se parte de la fórmula de la densidad de un fluido la misma que dice que la densidad es directamente proporcional a la masa e inversamente proporcional al volumen:

$$\delta = \frac{m}{v} \quad (9)$$

Donde:

δ = Densidad del aire. [Kg/m³]

m = Masa de aire. [Kg]

v = Volumen de aire. [m³]

2.16 Método de elementos finitos para el análisis de flujo de aire

2.16.1 *Origen y naturaleza del flujo dentro de un motor de combustión interna.* El funcionamiento del motor es claramente no estacionario. En consecuencia, los procesos de flujo que tienen lugar en los conductos de admisión y de escape de los motores tienen un carácter intrínsecamente no estacionario.

Por lo tanto, se trata de un fenómeno cuasi-periódico ("oscila" una y otra vez mostrando cada cierto tiempo un aspecto similar al que tuvo el sistema previamente.) (PAYRI, y otros, 2011)

2.17 Plataforma de diseño SolidWorks

Figura 10. SolidWorks logotipo



Fuente: http://www.aiaaucf.com/solidworks_workshops.html

El software de diseño de SOLIDWORKS es tan sencillo como potente y permite que cualquier empresa pueda hacer sus ideas realidad y hacerse con mercados globales.

Las soluciones de SOLIDWORKS® se centran en la forma en que trabaja a diario, con un entorno de diseño en 3D integrado e intuitivo que abarca todos los aspectos del desarrollo del producto y que ayuda a maximizar la productividad del diseño y la producción.

Más de 2 millones de diseñadores e ingenieros de todo el mundo usan SOLIDWORKS para hacer realidad sus diseños, desde los dispositivos más innovadores hasta innovaciones para conseguir un futuro mejor. (DASSAULT SYSTEMS)

2.18 Plataforma de simulación ANSYS Workbench

Figura 11. Ansys Logotipo



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

La plataforma Ansys Workbench es la columna vertebral para ofrecer un sistema de simulación global e integrada. Da acceso a datos multi-físicos y a nivel de sistema que antes no podrían alcanzarse. Los departamentos de tecnologías de la información hacen realidad una mayor fiabilidad, menores costes de soporte y un coste total de propiedad.

A menudo, el comportamiento de los fluidos es poco intuitivo, por lo que es difícil, si no imposible, predecir el impacto de los flujos de fluidos en su producto. Las tecnologías de simulación ANSYS CFD permiten a los ingenieros optimizar el rendimiento de los productos que tienen que ver con los flujos de reacción de (hornos, reformadores, motores de combustión interna, turbinas de gas, etc.). (ANSYS)

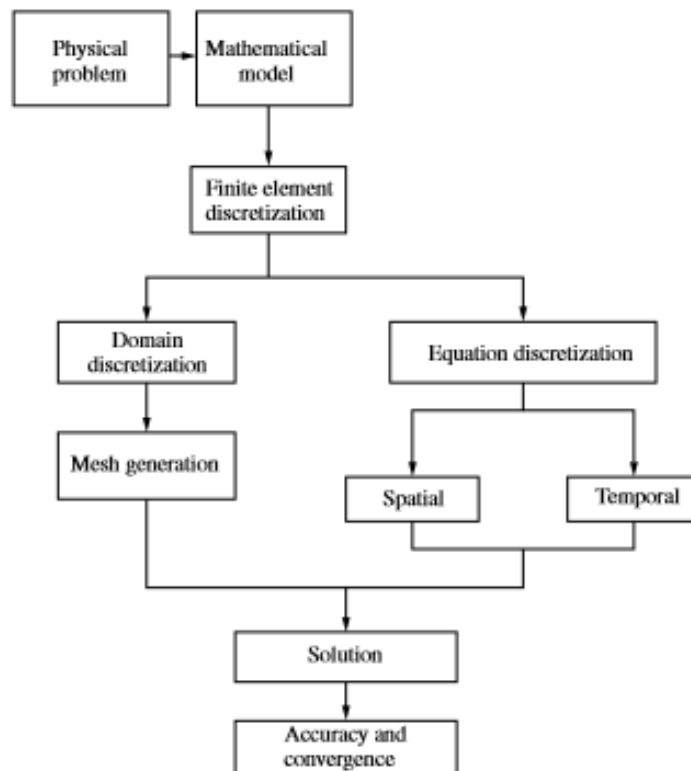
2.19 Método de elementos finitos

El método de los elementos finitos es una herramienta numérica para determinar soluciones aproximadas a una amplia clase de problemas de ingeniería y en la industria debido a su diversidad y flexibilidad como herramienta de análisis. A menudo es necesario obtener soluciones numéricas aproximadas para problemas industriales complejos, en los que las soluciones exactas de forma cerrada son difíciles de obtener. (ROLAND W, y otros, 2004)

2.19.1 Metodología de resolución de un fenómeno. Un modelo numérico para un problema comienza con el modelo físico del problema, donde una parte del modelo se ocupa de la discretización del dominio y la otra lleva a cabo la aproximación discreta de las ecuaciones diferenciales parciales. Mediante la combinación de ambos, se logra la solución numérica al problema. La solución de un problema continuo por el método de los elementos finitos se aproxima mediante el siguiente proceso, paso a paso. (ROLAND W, y otros, 2004)

La exactitud de la solución se determina si el programa llega a la convergencia esperada, y según el método iterativo que ha sido escogido, bien sea por el programa (por defecto) o alguno escogido por el usuario.

Figura 12. Diagrama de resolución de un problema mediante CFD



Fuente: Fundamentals of the Finite Element Method for Heat and Fluid Flow. Roland W, Lewis, Perumal, Nithiarasu y Kankanhalli N, Seetharamu. 2004

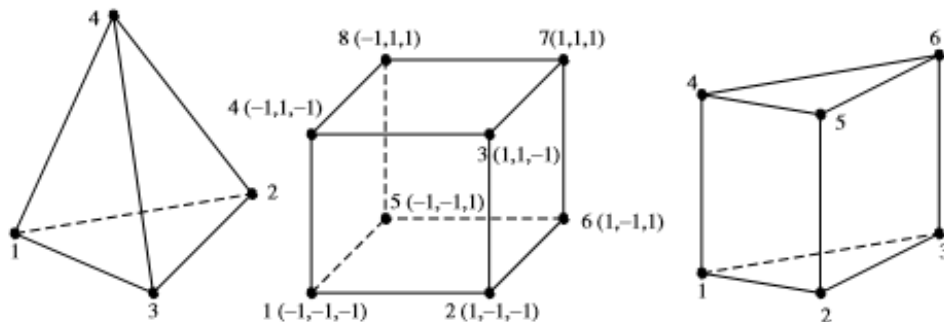
El número de nodos empleados para formar un elemento depende del tipo de elemento (o función de interpolación). De esa forma se genera una malla, la cual se compone de los elementos y nodos necesarios para solucionar el problema. (ROLAND W, y otros, 2004)

2.19.1.1 Elementos tridimensionales. La cantidad de datos necesarios para establecer

el dominio computacional y condiciones de contorno se vuelven significativamente mayor en tres dimensiones que para problemas unidimensionales y bidimensionales. Por tanto, es obvio que aumenta la cantidad de trabajo / coste computacional por una medida considerable.

Por lo tanto, los elementos tridimensionales deben ser utilizados apropiadamente. El tetraedro y los elementos en forma de ladrillo hexaedros se desarrollan en esta sección, que son extensiones del triángulo lineal y elementos cuadriláteros en dos dimensiones. (ROLAND W, y otros, 2004)

Ilustración 2.1 Elementos tridimensionales: Tetraedro, hexaedro y prisma.



Fuente: Fundamentals of the Finite Element Method for Heat and Fluid Flow. Roland W, Lewis, Perumal, Nithiarasu y Kankanhalli N, Seetharamu. 2004

2.19.1.2 *Leyes de gobierno para Flujo de fluidos y transferencia de calor.* Las ecuaciones matemáticas que gobiernan el flujo de fluido representan las leyes de conservación de la física:

- La masa de un fluido se conserva.
- La velocidad de cambio de impulso es igual a la suma de las fuerzas sobre las partículas de un fluido (segunda ley de Newton).
- La velocidad de cambio de la energía es igual a la suma de la tasa de calor.

Además de la velocidad y del trabajo realizado sobre una partícula de fluido (primera ley de termodinámica).

El fluido será considerado como continuo. Para el análisis de los flujos de fluidos a escalas

de longitud macroscópicas (digamos 1 micras y más grandes) la estructura molecular de la materia y los movimientos moleculares pueden ser ignorados. Se describe el comportamiento del fluido en términos de propiedades macroscópicas, tales como la velocidad, la presión, densidad y temperatura, y sus derivados de espacio y tiempo. (H K, y otros, 2007)

2.20 Qué es CFD

Dinámica de fluido computacional o CFD es el análisis de los sistemas de flujo de fluidos, transferencia de calor y fenómenos asociados tales como las reacciones químicas por medio de la simulación por ordenador.

Los códigos CFD se estructuran en torno a los algoritmos numéricos que se pueden abordar problemas de flujo de fluidos. Con el fin de proporcionar un fácil acceso a su poder resolver todos los paquetes comerciales de CFD incluyen interfaces de usuario sofisticadas para introducir parámetros del problema y examinar los resultados. Por lo tanto, todos los códigos contienen tres elementos principales: un pre-procesador, un programa de solución (solver) y un post-procesador. (H K, y otros, 2007)

2.20.1 Pre-procesador. El pre-procesamiento consiste en la entrada de un problema de flujo para un programa de CFD por medio de una interfaz amigable para el operador y la posterior transformación de esta entrada en una forma adecuada para su uso por el editor de resolución.

Las actividades de los usuarios en la etapa de pre-tratamientos se refieren a:

- Definición de la geometría de la región de interés: el cómputo del dominio.
- Generación de rejilla - la subdivisión del dominio en una serie de menor tamaño, que no se solapan subdominios: una rejilla (o malla) de las células (o volúmenes de control o elementos)
- Selección de los fenómenos físicos y químicos que necesitan ser modelada.
- Definición de las propiedades del fluido

- Especificación de las condiciones de contorno adecuado que coinciden o con tocar el dominio frontera.

2.20.2 *Solver (programa de solución).* Hay tres corrientes distintas de las técnicas de solución numérica: diferencia finita, de elementos finitos y métodos espectrales. Deberían ser los únicos concernientes con el método de volúmenes finitos, una formulación de diferencias finitas especial que es central a los códigos CFD mejor establecidos como: CFX / ANSYS, fluido, PHOENICS y STAR-CD. A grandes rasgos el algoritmo numérico incluye los pasos siguientes:

- Integración de las ecuaciones de gobierno del flujo de fluidos (finito) sobre todo el dominio de control de volúmenes.
- Discretización - conversión de las ecuaciones integrales resultantes en un sistema de ecuaciones algebraicas.
- Solución de las ecuaciones algebraicas por un método iterativo.

2.20.3 *Post-procesador.* Al igual que en pre-procesamiento, una enorme cantidad de trabajo de desarrollo ha tomado lugar recientemente en el campo de post-procesamiento. Debido a la creciente popularidad de la ingeniería, muchos de los cuales tienen capacidades gráficas excepcionales, los principales paquetes de CFD están ahora equipados con visualización de datos con herramientas versátiles. Éstas incluyen:

- Planos del vector.
- Línea de sombra y gráficos de contorno.
- Gráficas de superficie en 2D y 3D.
- Rastreo de partículas.
- Ver la manipulación (traslación, rotación, escalado, etc.).
- Color de salida PostScript. (H K, y otros, 2007)

CAPITULO III

3. MODELADO Y SIMULACIÓN DE LOS ELEMENTOS

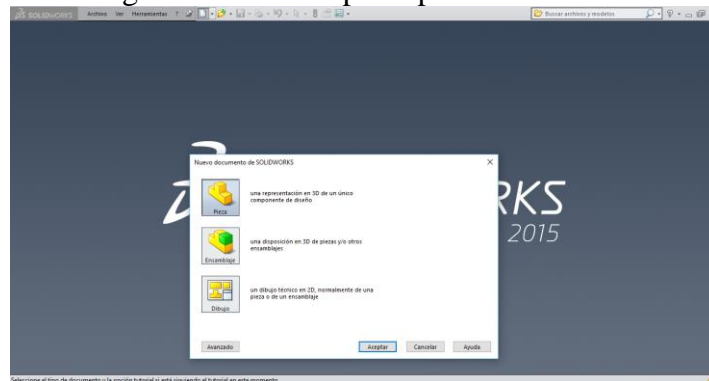
Se procedió a utilizar la plataforma SolidWorks para crear los elementos en modelado 3D y extraer el interior de los conductos de admisión y escape, la cámara de combustión y el volumen del cilindro para posteriormente simularlo en la plataforma Ansys y determinar los fenómenos ocurridos con el aire.

3.1 Modelado de elementos principales en SolidWorks

3.1.1 Primeros pasos.

- Abrir el programa y escoger la opción nuevo/pieza.

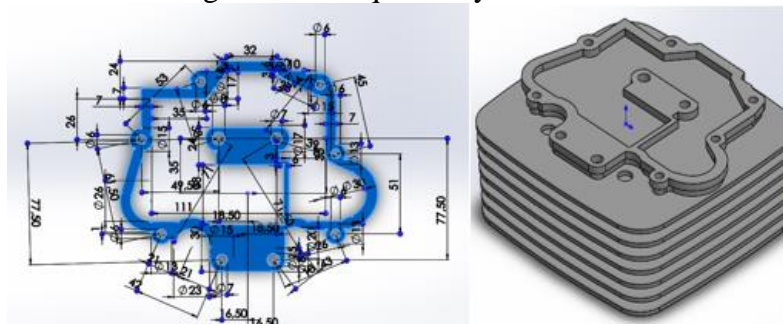
Figura 13. Interfaz principal. SolidWorks.



Fuente: El Autor.

- Escoger de entre los tres planos, alzado, planta o lateral para realizar el croquizado. Realizar las operaciones para llegar al solido final.

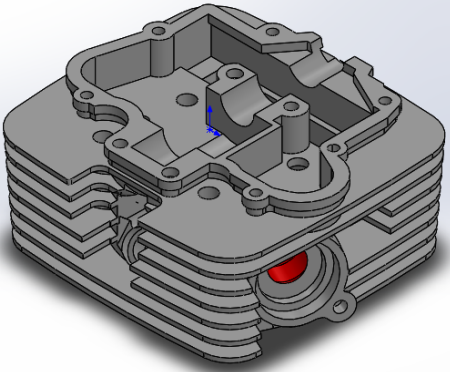

Figura 14. Croquizado y extrusión.



Fuente: El Autor

3.1.2 Modelado de elementos principales. Se modeló la válvula de admisión y la culata como elementos de partida para la extracción de la geometría del flujo.


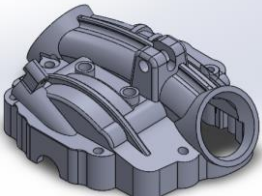
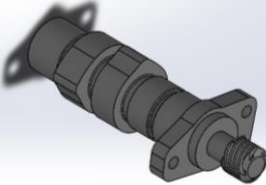
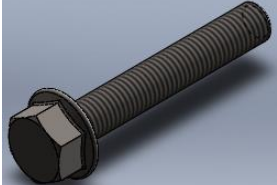
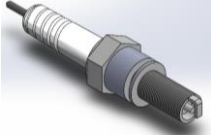
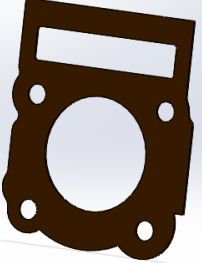

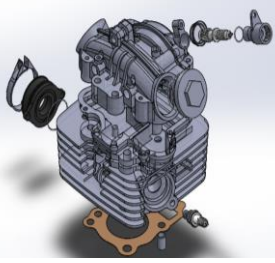
Tabla 3. Modelado de Elementos Principales.

| | |
|---|---|
|  |  |
| Modelo de cabezote | Modelo de válvula de admisión. |

Fuente: El Autor.

3.1.3 Modelo de elementos secundarios. Se modeló todos los elementos que influyen en el funcionamiento de la culata, tapa de la culata y los elementos restantes para la extracción del fluido interno.

Tabla 4. Modelado de elementos secundarios.

| | | | |
|---|---|--|---|
|  |  |  |  |
| Abrazadera | Tapa de válvulas | Árbol de levas | Perno |
|  |  |  |  |
| Bujía | Empaque de cabezote | Válvula de escape | Vista en explosión de los componentes |

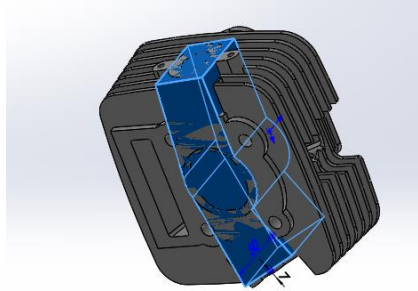
Fuente: El Autor.

3.2 Extracción del fluido interno de los elementos en estudio

3.2.1 Extracción de fluido de cabezote. Se utilizaron las herramientas existentes en la plataforma SolidWorks. Hasta llegar a la geometría final de flujo de aire.

- Proceder de la siguiente manera: extruir saliente/base, de manera que encierre las partes a estudiar, desactivar la opción fusionar resultado para no provocar conflictos geométricos que puedan echar a perder el resultado final.

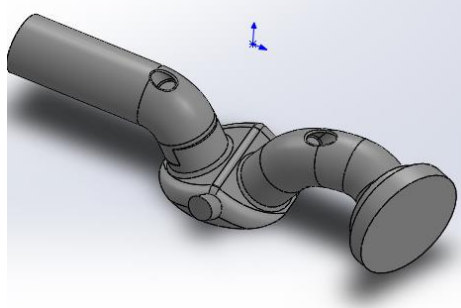
Figura 15. Extrusión para extracción de fluido.



Fuente: El Autor.

- Utilizar la operación combinar, seguidamente de eliminar sólidos y eliminar caras, hasta obtener el fluido.

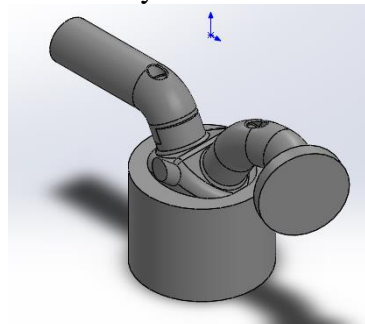
Figura 16. Extracción de fluido, puertos.



Fuente: El Autor.

- Hacer clic en la operación extruir saliente/base y coquizar un círculo para realizar un cilindro con los valores de diámetro y carrera correspondientes al motor en estudio.

Figura 17. Extrusión y fusión del fluido y cilindro.



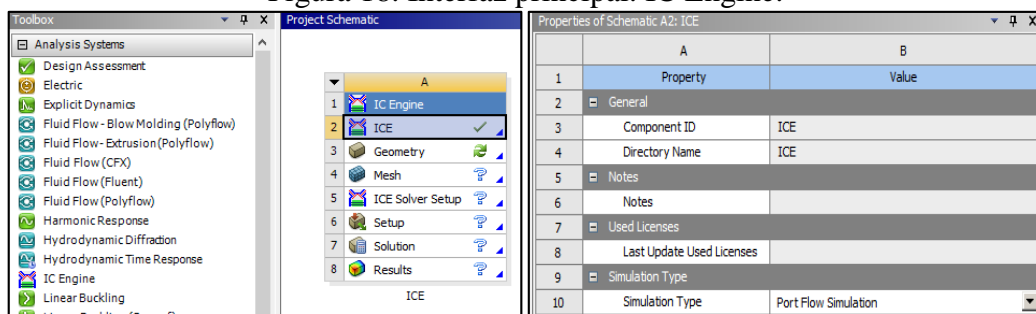
Fuente: El Autor.

- Guardar el/los elementos a importar desde la plataforma SolidWorks haciendo clic en: Guardar como/escoger el formato de salida como “. STEP”.

3.3 Importación y simulación del modelo en Ansys

- Abrir la plataforma Ansys Workbench luego elegir el complemento IC Engine. Hacer clic en la pestaña ICE y en la ventana de propiedades elegir Simulation Type: Port Flow Simulation, como se muestra en la figura.

Figura 18. Interfaz principal. IC Engine.

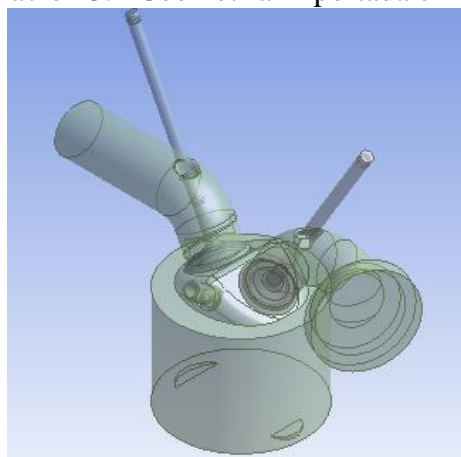


Fuente: El Autor.

3.3.1 Desing Modeler. Es la interfaz primaria del complemento IC Engine, donde importamos la geometría 3D generada anteriormente donde el programa reconocerá los elementos presentes.

- Hacer doble clic en la pestaña Geometry y esperar a que se abra la ventana “Desing Modeler”. Hacer clic en File/Import External Geometry File. Buscar la geometría con la extensión: “.STEP”, posteriormente hacer clic en Generate.

Ilustración 3.1 Geometría importada en Ansys



Fuente: El Autor.

3.3.1.1 *Input Manager*. Se encarga de dar a conocer al computador de los elementos presentes en el estudio.

- Hacer clic en input manager / Cylinder Faces y elegir la cara que corresponde al cilindro.
- Hacer clic en la casilla Post Planes Dist. From Ref. e ingresar los valores siguientes:

0.5mm: para determinar la luz en el PMS y la parte inferior de la culata, en otras palabras, es el espacio entre la unión de los cuerpos y el empaque de la culata. 48.8mm: corresponde a la carrera total del pistón.

Figura 19. Input Manager

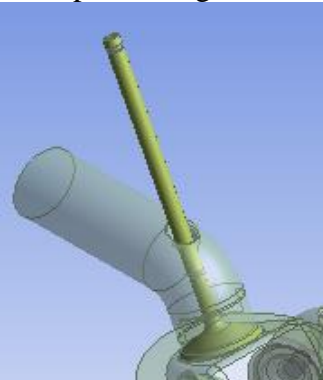
| Details of InputManager2 | |
|---|----------------|
| Name | InputManager2 |
| Cylinder Faces | 3 Faces |
| Symmetry Face Option | No |
| Post Planes Dist. From Ref. | 0.5; 48.0 (mm) |
| IC Valves Data 1 (RMB) | |
| Valve Type | InValve |
| Valve | 1 Body |
| Valve Seat | 1 Face |
| <input checked="" type="checkbox"/> FD1, Valve Lift | 0,5 mm |

Fuente: El Autor.

- Desplegar la casilla IC Valves Data 1 (RMB). Hacer clic en Valve Type y verificar que este en InValve. Hacer clic en Valve, seleccionar la válvula de admisión correspondiente y hacer clic en Apply.

Figura 20. Válvula de admisión. Input Manager.

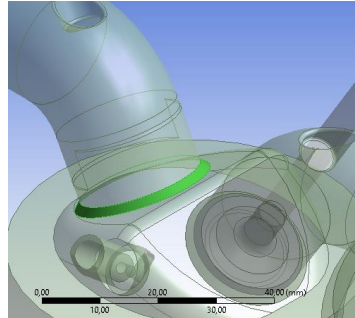
| IC Valves Data 2 (RMB) | |
|---|---------|
| Valve Type | ExValve |
| Valve | 1 Body |
| Valve Seat | 1 Face |
| <input checked="" type="checkbox"/> FD2, Valve Lift | 0,1 mm |
| IC Inlet Plenum 1 (RMB) | |
| Inlet/(Plenum Inlet) Faces | 1 Face |
| Plenum Type | None |
| IC Outlet Plenum (RMB) | |
| Outlet Plenum Option | No |
| Outlet Plenum Faces | 1 Face |



Fuente: El Autor.

- Hacer clic en la casilla Valve Seat, elegir el asiento de la válvula (para esto se debe ocultar, hacer clic derecho y escoger Hide o presionar la tecla F9), dar clic en Apply.

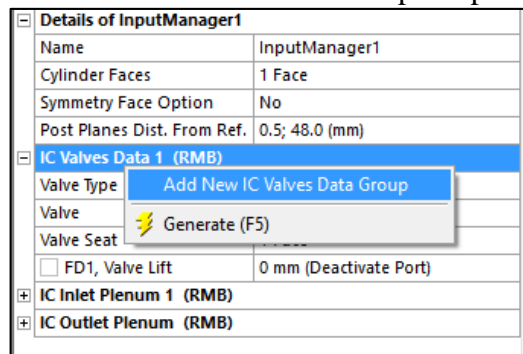
Figura 21. Asiento de Válvula de Admisión. Input Manager



Fuente: El Autor.

- Hacer clic derecho sobre IC Valves Data 1 (RMB), escoger la opción Add New IC Valves Data Group, seguidamente hacer clic en Valve Type, escoger ExValve y repetir el paso anterior.

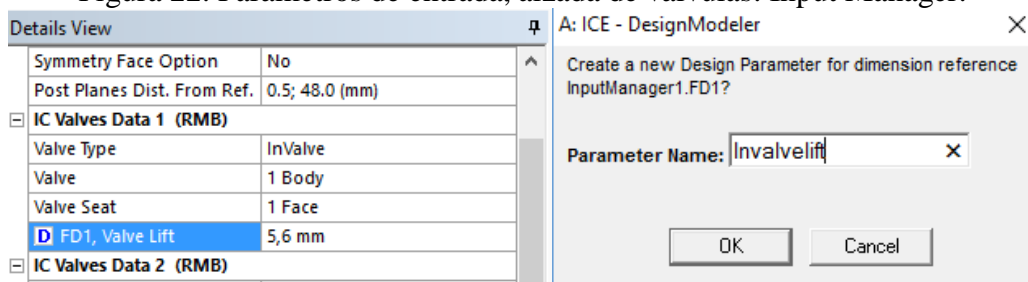
Ilustración 3.2 Añadir válvula de escape. Input Manager



Fuente: El Autor.

- Colocar los valores correspondientes a la alzada de cada válvula, hacer clic en el cuadro para programarlo como parámetros de entrada en el estudio y poder cambiar datos desde la interfaz principal de Ansys Worckbench.

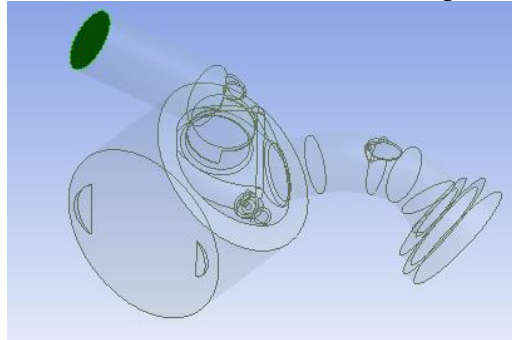
Figura 22. Parámetros de entrada, alzada de válvulas. Input Manager.



Fuente: El Autor.

- Desplegar la pestaña IC Inlet Plenum 1 (RMB), y en la opción Inlet/ (Plenum Inlet) Faces. Elegir la cara correspondiente al ingreso del conducto de admisión/Apply.

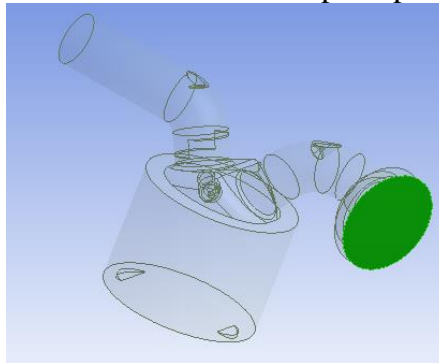
Figura 23. Cara conducto de admisión. Input Manager.



Fuente: El Autor.

- Desplegar IC Outlet Plenum (RMB), en la opción Outlet Plenum Option escoger No, finalmente en la opción Outlet Plenum Faces, elegir la cara correspondiente a la salida del conducto de escape/Apply.

Figura 24. Cara conducto de escape. Input manager.



Fuente: El Autor.

- Hacer clic en el recuadro Decompose. Revisar que las partes sean las correctas.

Tabla 5. Puertos de flujo. Decompose

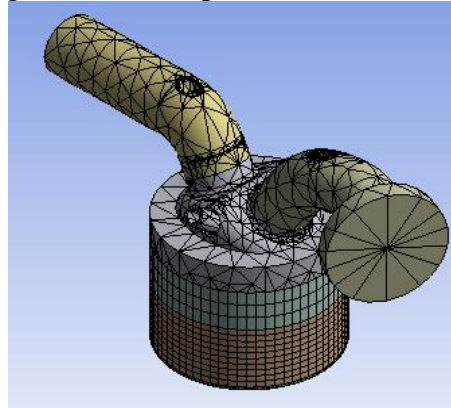
| | | |
|--------------------|------------------|--------------------|
| | | |
| Puerto de Admisión | Puerto de escape | Puerto del fluido. |

Fuente: El Autor.

3.3.2 Meshing. Es el segundo paso a configurar; en esta parte del proceso de simulación el programa genera la malla que gobernará la geometría para que el Solver pueda interpretar el modelo y poder ejecutar el modelo matemático de solución.

- Hacer doble clic sobre la pestaña Mesh, hacer clic sobre la pestaña Generate.

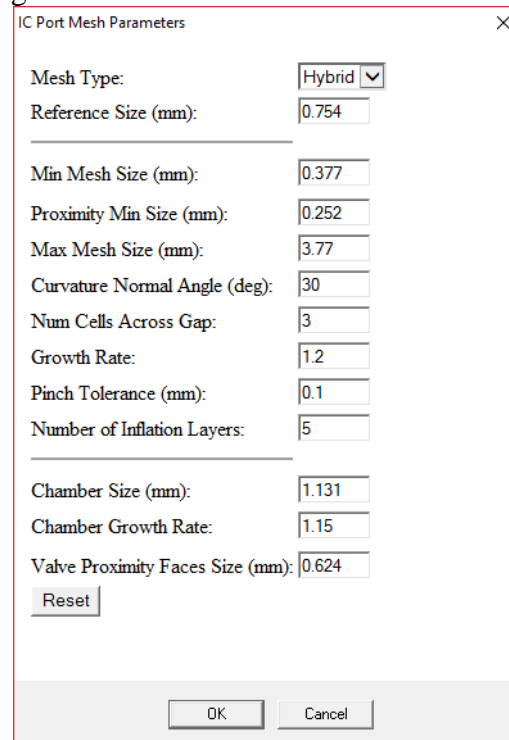
Figura 25. Malla por Defecto. Meshing.



Fuente: El Autor

- Realizar un mejoramiento de la malla haciendo clic sobre IC Setup Mesh, editar las medidas máximas y mínimas de los elementos de la malla hasta obtener una aproximación a una malla homogénea. Hacer clic en Generate.

Figura 26. Parámetros de mallado. Meshing.

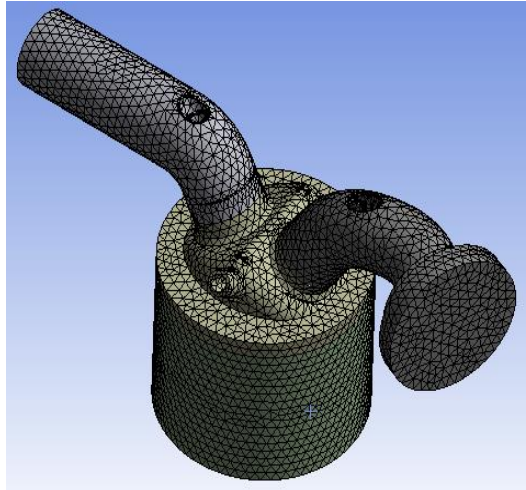


| Parameter | Value |
|---------------------------------|--------|
| Mesh Type | Hybrid |
| Reference Size (mm) | 0.754 |
| Min Mesh Size (mm) | 0.377 |
| Proximity Min Size (mm) | 0.252 |
| Max Mesh Size (mm) | 3.77 |
| Curvature Normal Angle (deg) | 30 |
| Num Cells Across Gap | 3 |
| Growth Rate | 1.2 |
| Pinch Tolerance (mm) | 0.1 |
| Number of Inflation Layers | 5 |
| Chamber Size (mm) | 1.131 |
| Chamber Growth Rate | 1.15 |
| Valve Proximity Faces Size (mm) | 0.624 |

Fuente: El Autor

- Verificar que el mejoramiento haya sido efectivo en la nueva malla. Salir de la interfaz y Hacer clic en Update.

Figura 27. Mallado mejorado. Meshing.

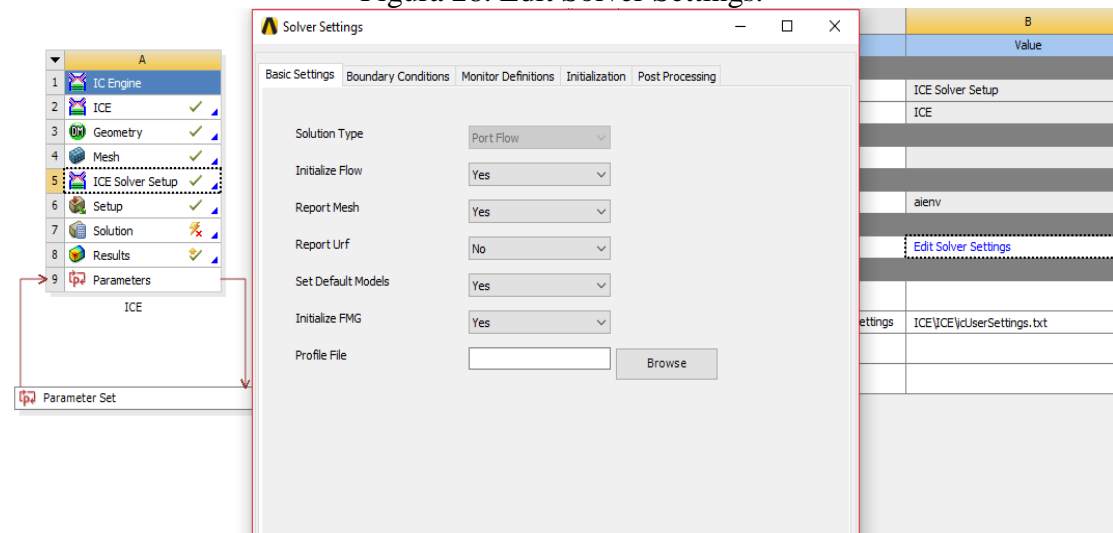


Fuente: El Autor

3.3.3 ICE Solver Setup. Esta interfaz nos mostrará todos los parámetros que hayamos ingresado en todos los pasos anteriores y definirá cuáles de ellos queremos que se inserten en los resultados.

- Hacer clic sobre la pestaña ICE Solver Setup, luego en la ventana de propiedades dar clic en Edit Solver Settings, verificar los datos que hemos ingresado anteriormente y los que queremos exportar en el reporte final.

Figura 28. Edit Solver Settings.

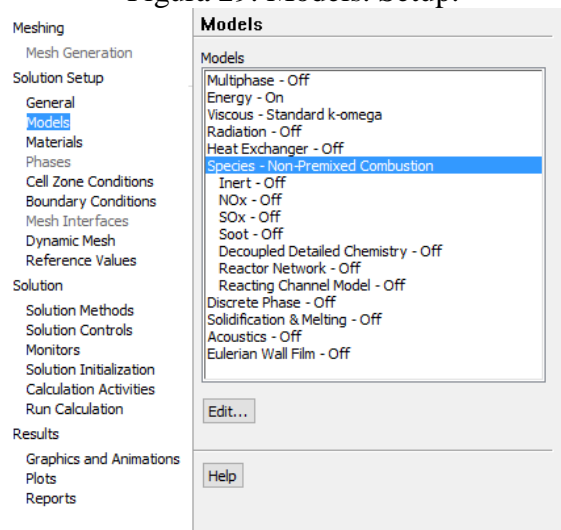


Fuente: El Autor.

3.3.4 Setup. Es el tercer paso y el más importante dentro de la simulación, donde debemos ingresar todos los parámetros de entrada y salida que queremos visualizar como resultados.

- Hacer doble clic sobre la pestaña Setup / Fluent Launcher elegir el número de procesadores y la tarjeta de video para optimizar la memoria computacional para ejecutar la simulación, clic en ok.
- Dar clic en Models y añadir especies no premezcladas de combustión en la cual el programa añade por defecto gasolina, de la misma manera se pueden añadir más especies, si quisiéramos simular con otro tipo de combustible, o ciertas adiciones no comunes que algunos motores están sujetos.

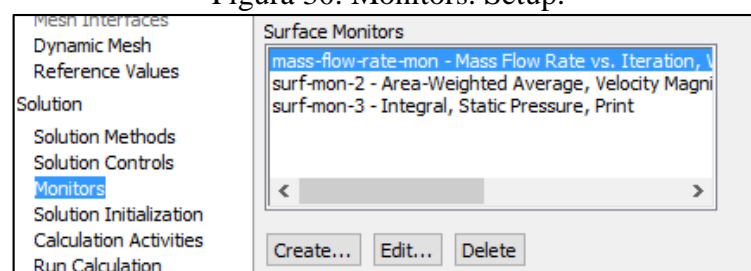
Figura 29. Models. Setup.



Fuente: El Autor.

- Dar clic en “Monitors” para poder crear diversos y crear los monitores que queremos que se añadan en el informe.

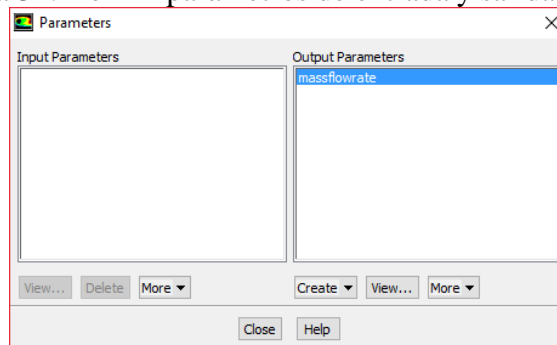
Figura 30. Monitors. Setup.



Fuente: El Autor.

- Hacer clic en define/parameters y definir los parámetros de entrada y salida que quisiéramos que el solver del programa nos muestre en la interfaz y en el reporte final.

Figura 31. Definir parámetros de entrada y salida. Setup.

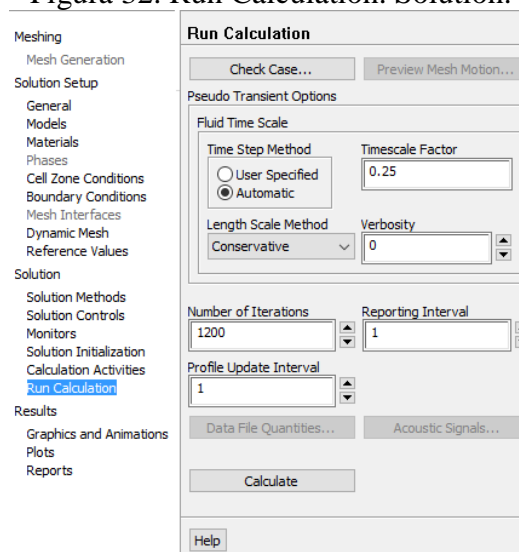


Fuente: El Autor

3.3.5 *Solution.* Es la parte final de la simulación donde se puede ejecutar el proceso de iteración para generar los resultados.

- Dar clic en Run calculation para definir el número de iteraciones mínimo 1200 para obtener buenos resultados, luego presionar calculate.

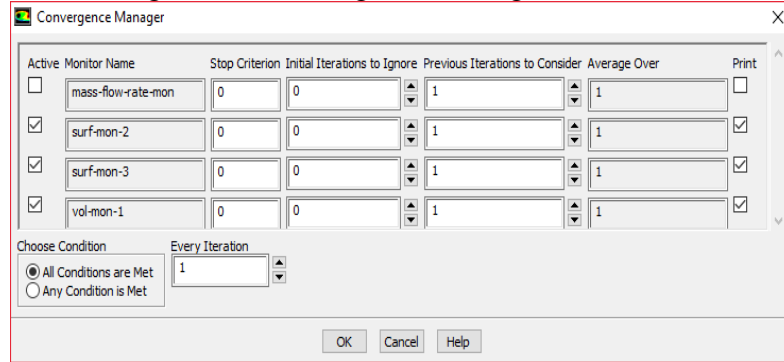
Figura 32. Run Calculation. Solution.



Fuente: El Autor

- Hacer doble clic en la pestaña Solution, luego en monitors/convergence manager y dar clic en los monitores que hemos creado para que se puedan imprimir en el reporte.

Figura 33. Convergence Manager. Solution.

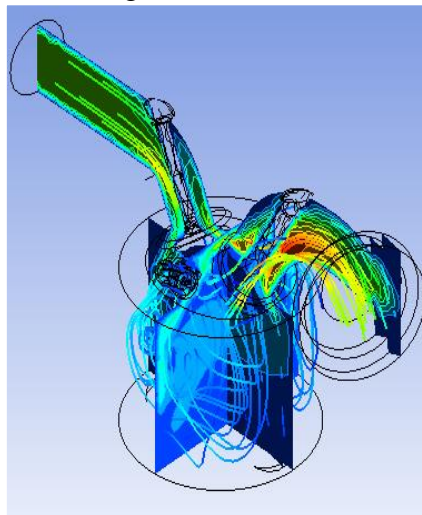


Fuente: El Autor

3.3.6 Results. Es la interfaz que nos muestra el post-procesado de la simulación y nos muestra los monitores y parámetros que hemos generado anteriormente, añadido a los resultados que el programa nos permite obtener.

- Hacer clic en la pestaña Results para crear los planos y líneas de corriente del flujo de aire en cada puerto. En este paso es donde se muestran todos los resultados obtenidos de la simulación.

Figura 34. Results.



Fuente: El Autor

CAPITULO IV

4. ANALISIS DEL ESTUDIO Y RESULTADOS

Se ha desarrollado diferentes estudios con diferentes alzadas de las válvulas de admisión y escape. Los parámetros los podemos encontrar haciendo doble clic sobre la pestaña “parameters” que se crearán según se los programa y se reflejan en la figura 35.

Figura 35. Visualización de parámetros de entrada y salida.

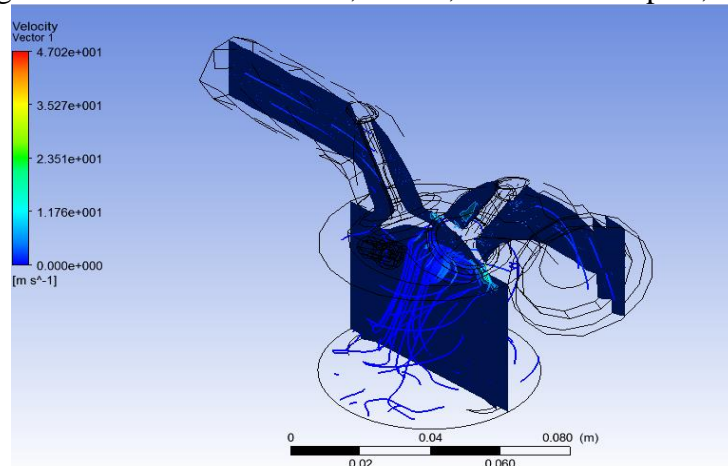
| Outline of Schematic A9: Parameters | | | | | Table of Design Points | | | |
|-------------------------------------|----------------------|---------------------|----------------|--------------------|------------------------|---------|------------------|------------------|
| | A | B | C | D | | A | B | C |
| 1 | ID | Parameter Name | Value | Unit | 1 | Name | P1 - invalvelift | P2 - exvalvelift |
| 2 | Input Parameters | | | | 2 | Units | mm | mm |
| 3 | ICE (A1) | | | | 3 | Current | 5,62 | 0,1 |
| 4 | P1 | invalvelift | 5,62 | mm | 4 | DP 1 | 4 | 1 |
| 5 | P2 | exvalvelift | 0,1 | mm | 5 | DP 2 | 2 | 2 |
| * | New input parameter | New name | New expression | | 6 | DP 3 | 1 | 3 |
| 7 | Output Parameters | | | | 7 | DP 4 | 0,5 | 4 |
| 8 | ICE (A1) | | | | 8 | DP 5 | 1 | 4,99 |
| 9 | P3 | massflowrate | -0,00075847 | kg s ⁻¹ | 9 | DP 6 | 5,62 | 4,99 |
| 10 | P4 | intake_massflowrate | 0,00077273 | kg s ⁻¹ | * | | | |
| * | New output parameter | | New expression | | | | | |

Fuente: El Autor

4.1 Gráficas de velocidades del flujo de aire y turbulencia

4.1.1 Parámetro inicial (Current). Alzada de la válvula de admisión 5,62 mm; alzada en la válvula de escape 4,99 mm. En el parámetro inicial se puede distinguir que *la velocidad* del fluido es relativamente baja, de la misma manera se puede observar que las líneas de turbulencia son bajas y están incidiendo en la parte media del cilindro. La velocidad máxima del aire es de 47,02 m/s

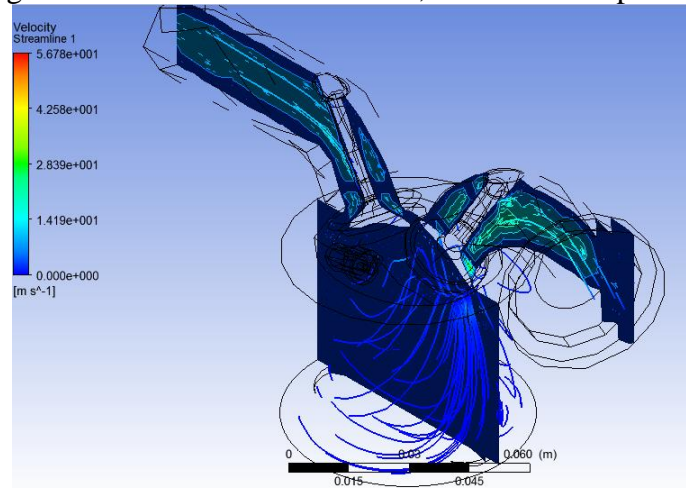
Figura 36. Alzada admisión 5,62 mm, alzada de escape 0,1 mm



Fuente: El Autor

4.1.2 *Parámetro 1 (Dp1).* Alzada de la válvula de admisión 4 mm; alzada en la válvula de escape 1 mm. Dentro de estas características de apertura de válvulas se puede determinar que la velocidad del gas dentro del conducto de admisión se ha elevado a 56,7 m/s y la turbulencia en el cilindro también.

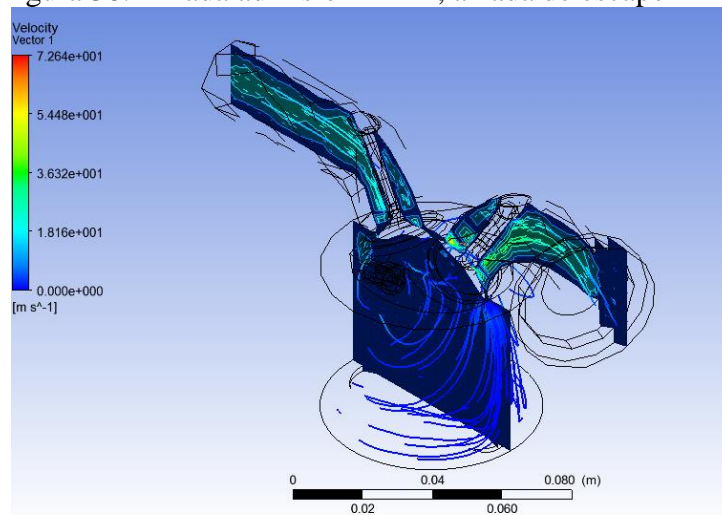
Figura 37. Alzada admisión 4 mm, alzada de escape 1 mm



Fuente: El Autor

4.1.3 *Parámetro 2 (Dp2).* Alzada de la válvula de admisión 2 mm; alzada en la válvula de escape 2 mm. La figura nos muestra una alzada de válvulas igual, por lo tanto, la velocidad del gas se acerca al valor de la máxima 76,2 m/s y la turbulencia dentro del cilindro se ve seriamente aumentada, en esta fase se determina que las válvulas no necesariamente deben estar en su punto máximo de alzada para permitir la mayor velocidad del gas y llenado de cilindros, sino el mayor tiempo posible abiertas.

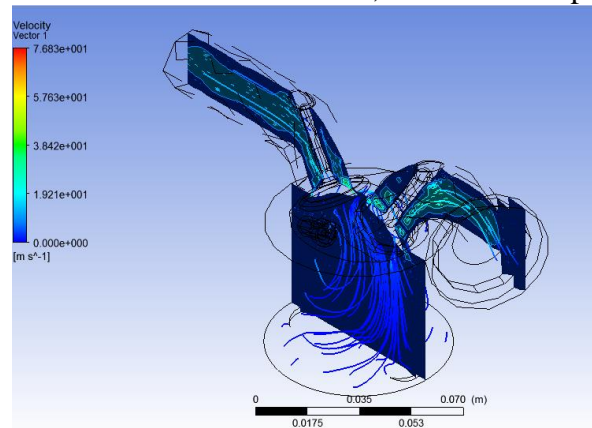
Figura 38. Alzada admisión 2 mm, alzada de escape 2 mm



Fuente: El Autor

4.1.4 *Parámetro 3 (Dp3).* Alzada de la válvula de admisión 1 mm; alzada en la válvula de escape 3 mm. En este parámetro se puede definir claramente que el comportamiento del fluido que ingresa por el conducto de admisión hacia el cilindro depende mucho de la apertura de las válvulas, en este caso se observa que la válvula de escape se encuentra más abierta que la de admisión y la velocidad del gas es la máxima 76,8 m/s. Las líneas de turbulencia muestran que el aire está siendo empujado hacia la pared del cilindro.

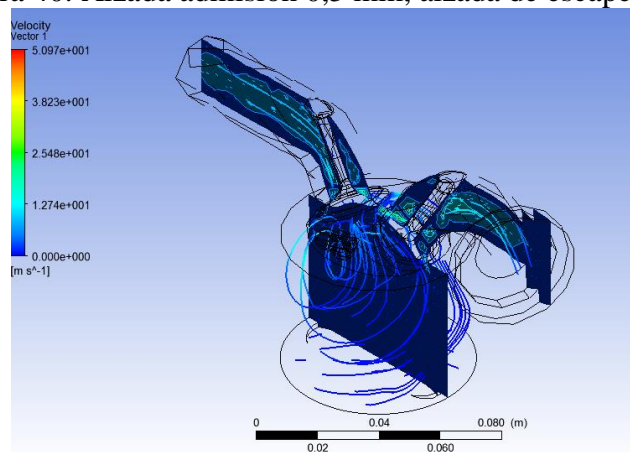
Figura 39. Alzada admisión 1 mm, alzada de escape 3 mm



Fuente: El Autor

4.1.5 *Parámetro 4 (Dp4).* Alzada de la válvula de admisión 0,5 mm; alzada en la válvula de escape 4 mm. La válvula de admisión se encuentra casi cerrada, por tanto, se determina que la velocidad del gas ha bajado con respecto al parámetro anterior, esto define que debe haber un balance entre las alzadas de la válvula de admisión y escape para mantener un flujo adecuado, si disminuimos la sección de paso del fluido por la válvula de admisión obtendremos un aumento de turbulencia notorio.

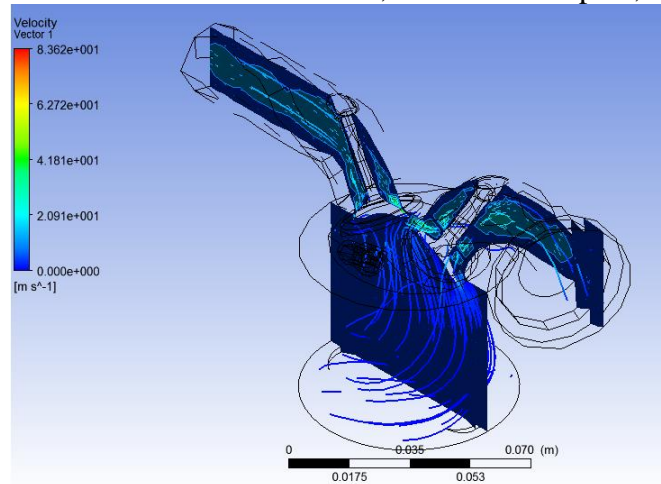
Figura 40. Alzada admisión 0,5 mm, alzada de escape 4 mm



Fuente: El Autor

4.1.6 *Parámetro 5 (Dp5).* Alzada de la válvula de admisión 1 mm; alzada en la válvula de escape 4,99 mm. En este caso tenemos la válvula de escape totalmente abierta, lo que produce un aumento en la velocidad de los gases en el escape 83,62 m/s, el gas que entra de forma turbulenta hacia el cilindro a remover la masa de gases quemados que se encuentra dentro para expulsarla por el conducto de escape.

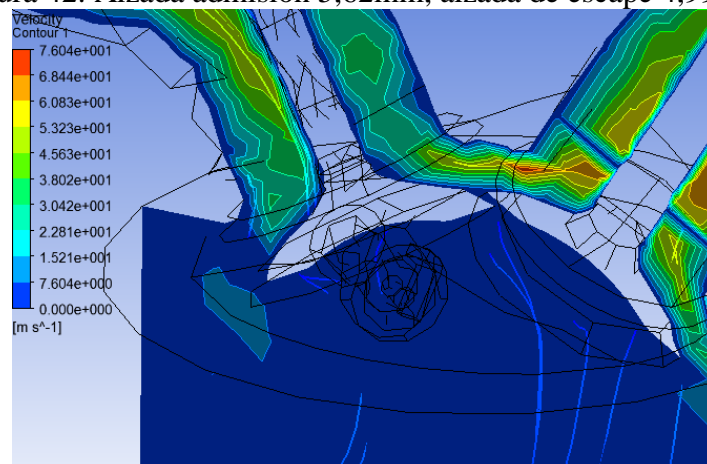
Figura 41. Alzada admisión 1mm, alzada de escape 4,99mm.



Fuente: El Autor

4.1.7 *Parámetro 6. Alzada máxima (Dp6).* Alzada de la válvula de admisión 4 mm; alzada en la válvula de escape 1 mm. La figura 42 muestra que la velocidad del gas en alzada máxima de las válvulas de admisión y escape es similar al parámetro 2 sustentando que debe existir un equilibrio en las aperturas de las válvulas para que el flujo del aire mejore, de este parámetro parten los cálculos de simulación y las comparaciones con los cálculos teóricos donde la velocidad de entrada del gas por el conducto de admisión es 76,04 m/s.

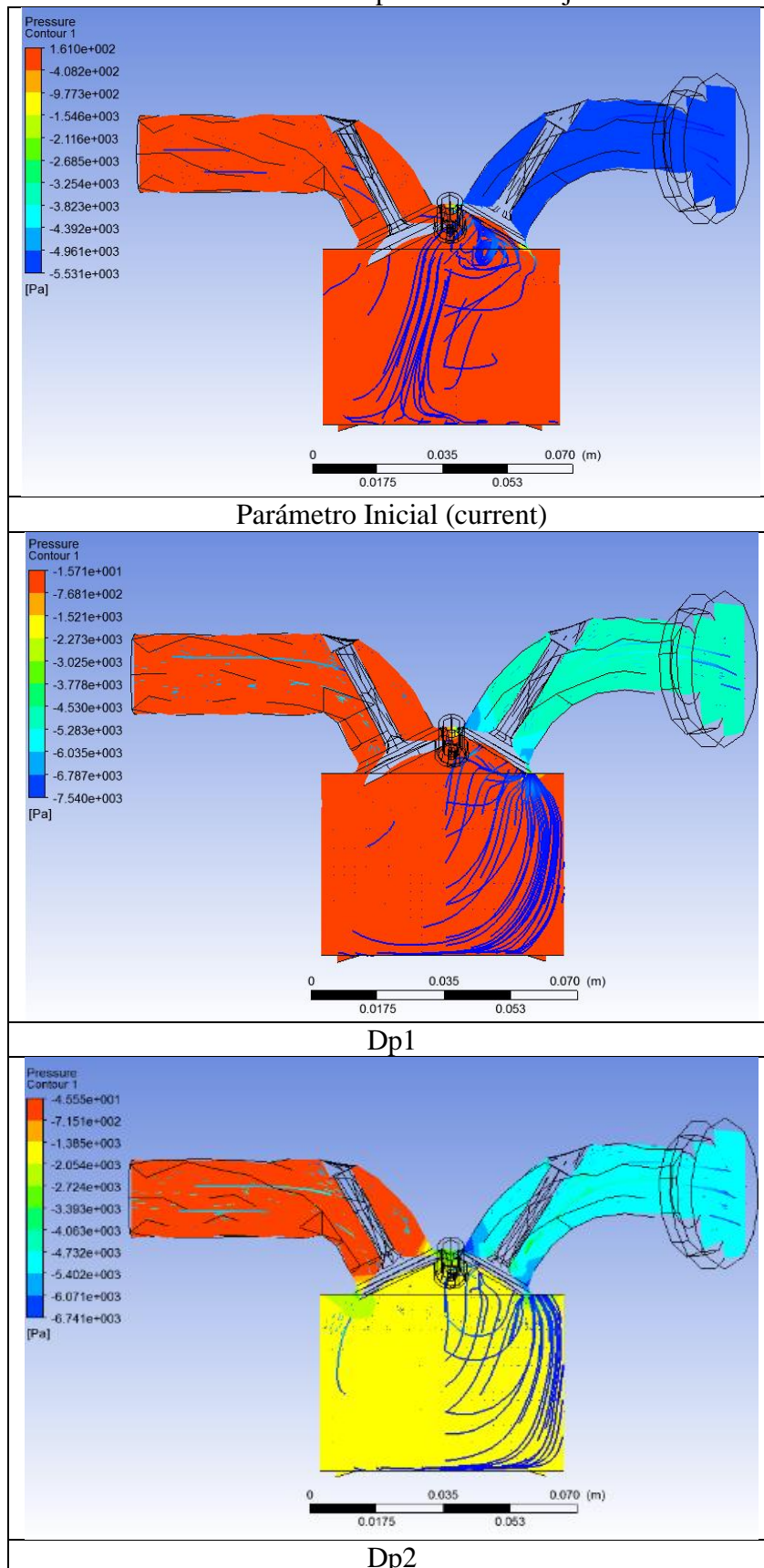
Figura 42. Alzada admisión 5,62mm, alzada de escape 4,99mm.

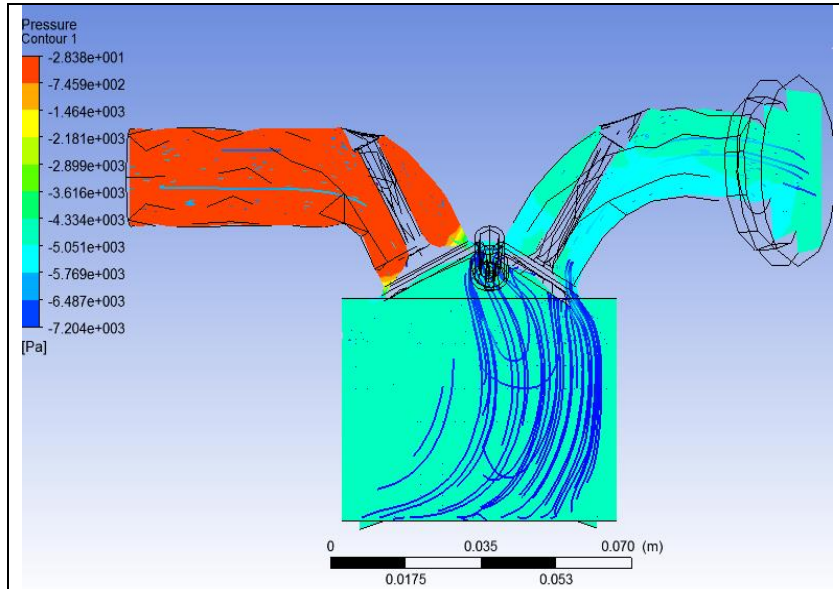


Fuente: El Autor

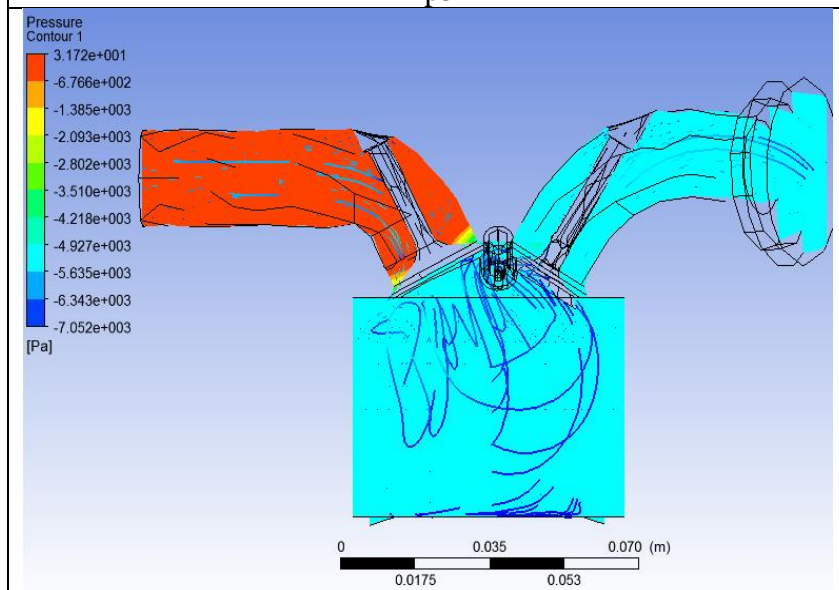
4.2 Graficas de la presión en el flujo de aire

Tabla 6. Graficas de la presión en el flujo de aire.

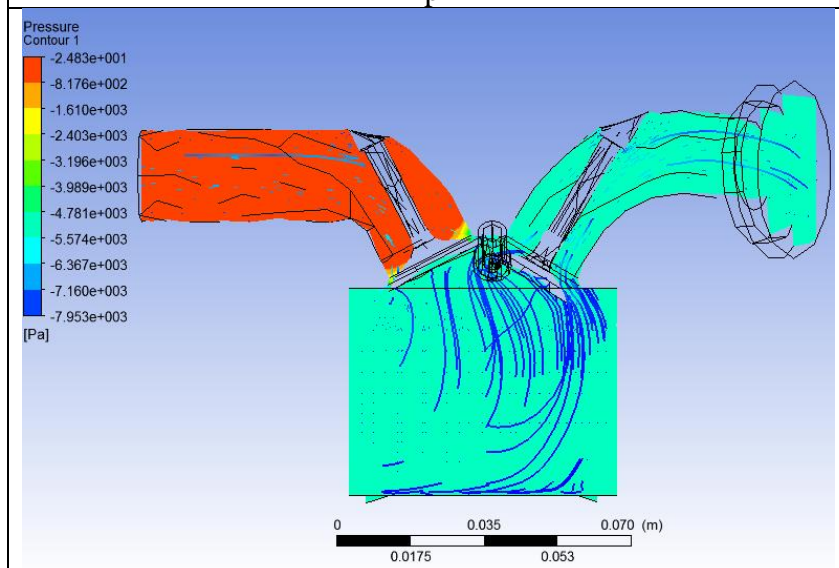




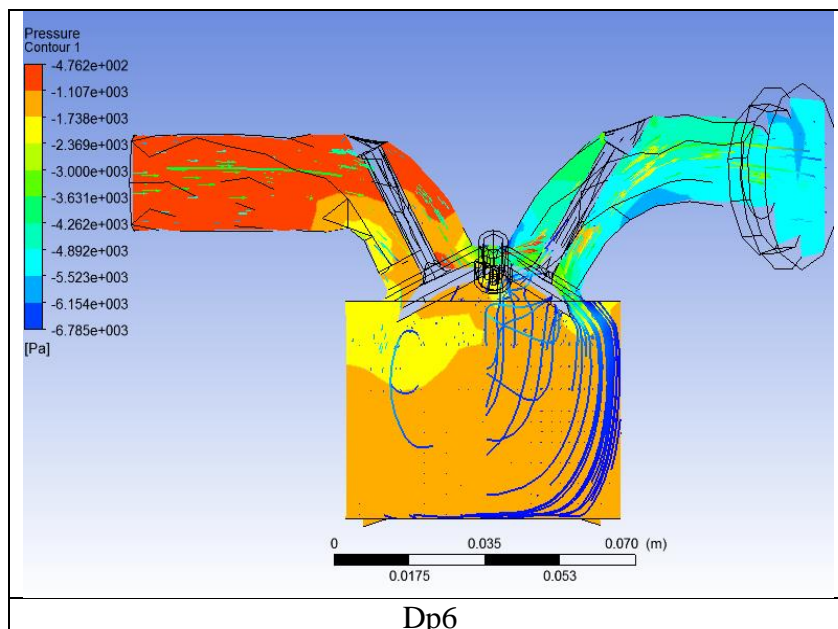
Dp3



Dp4



Dp5



Fuente: El Autor

La tabla hace referencia al comportamiento de la presión en los distintos parámetros de funcionamiento de las válvulas, siendo de referencia el parámetro 6 (Dp6). Se aprecia que la presión va disminuyendo conforme las válvulas van ascendiendo a su punto máximo de alzada, o más bien al cruce valvular. Se puede verificar que existe una depresión por efecto de la succión del pistón con un valor de 476.2 Pa que nos servirá de referencia para cálculos posteriores.

4.3 Promedio de flujo de masa de aire

Figura 43. Parámetro de salida. Flujo de aire. Simulación

| Name | P1 - invalvelift | P2 - exvalvelift | P3 - massflowrate |
|---------|------------------|------------------|--------------------|
| Units | mm | mm | kg s ⁻¹ |
| Current | 5,62 | 0,1 | -0,00060634 |
| DP 1 | 4 | 1 | -0,005084 |
| DP 2 | 2 | 2 | -0,0075997 |
| DP 3 | 1 | 3 | -0,0052009 |
| DP 4 | 0,5 | 4 | -0,0029494 |
| DP 5 | 1 | 4,99 | -0,0052645 |
| DP 6 | 5,62 | 4,99 | -0,015823 |

Fuente: El Autor.

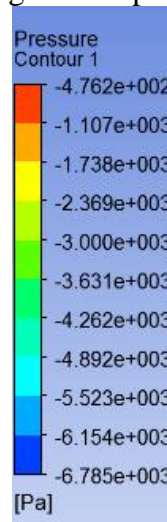
La tabla muestra el ingreso de aire en el conducto de admisión el cual se mantiene relativo a las aperturas de válvulas, en el parámetro 6 (DP6), donde se define el flujo máximo de

aire en la alzada máxima de las válvulas de admisión y escape dando como resultado 15.823 g/s de flujo másico de aire.

4.4 Análisis de la relación de presión de ondas

Se tomó el valor que genera el vacío del pistón al bajar al PMI y que se muestra en los resultados obtenidos de la simulación de la tabla 9 en el parámetro Dp6.

Figura 44. Presión generada por succión del pistón.



Fuente: El Autor.

La ilustración nos muestra que está ocurriendo una aspiración de 476,2 Pa por efecto de la succión del pistón.

4.4.1 *Relación de presión de ondas.* Se debe sumar la presión que genera la succión del pistón a la presión atmosférica y esta sería la presión que queremos estudiar para identificar si existe interferencia entre ondas de compresión y expansión.

Datos:

$$P = 476,2 \text{ Pa} = 0,0348 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_i = 0,000306 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_{\text{atm}} = 1.033 \text{ kg/cm}^2$$

$$Rp = \frac{(1,033 + 0,0348) + 0,000306}{1,033} = 1,0034$$

Se puede determinar que existen ondas de amplitud finita, pero están muy cerca del límite de interferencia que es $1,0029 \text{ kg/cm}^2$, por lo tanto, no afecta significativamente a la respiración del motor y por ende al rendimiento volumétrico.

4.5 Cálculo de datos teóricos

4.5.1 *Velocidad media del pistón.* Se toma los datos de la ficha técnica de la motocicleta y la ecuación (8) mencionada del capítulo 2.

Datos:

$$n = 9000$$

$$s = 0,0488 \text{ m}$$

$$V_p = \frac{0,0488 * 9000}{30}$$

$$V_p = 14,64$$

4.5.2 *Superficie del pistón.* Se parte de la fórmula del área de una circunferencia tomando los datos de la ficha técnica del motor.

Datos:

$$D_p = 57 \text{ mm}$$

$$S_p = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$S_p = \frac{\pi(0,057)^2}{4}$$

$$S_p = 0,0025$$

4.5.3 *Sección del conducto de admisión.* Se parte de la fórmula del área de una circunferencia debido a que el conducto de admisión tiene forma cilíndrica.

Datos:

$$d = 23 \text{ mm.}$$

$$S_c = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$S_c = \frac{\pi(0,023)^2}{4} = 0,00041$$

4.5.4 *Velocidad del gas por el conducto de admisión.* Se parte de la ecuación (5) para lo cual se toman los datos anteriormente calculados.

$$V_g = \frac{14,64 * 0,0025}{0,00041} = 89,26$$

4.5.5 *Sección de paso del fluido a través de la válvula.* Se toman los datos de la figura 9 y la ecuación (7) mencionados en el segundo capítulo.

Datos:

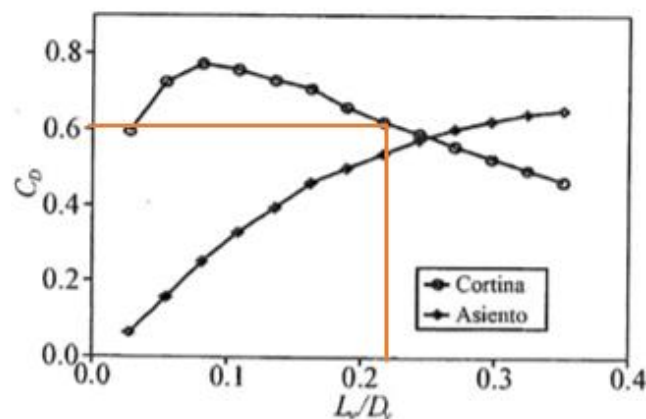
$$D_v = 2,55\text{cm}$$

$$D = 0,5\text{cm}$$

$$L_v = 0,562\text{cm}$$

$$A = 45^\circ.$$

$$\frac{L_v}{D_v} = \frac{0,562\text{cm}}{2,55\text{cm}} = 0,22$$



De la figura 9, se determina que el coeficiente de descarga es 0,6.

$$F_p = 0,6 * \frac{\pi(2,55)^2}{4} = 3,06$$

4.5.6 *Velocidad teórica del aire sobre la válvula de admisión.* Se determina el valor

a partir de la ecuación (5).

$$Vg = \frac{Vp * Sp}{Fp} = \frac{14,64 * 0,0025}{0,000 306} = 119.6$$

4.6 Cálculo del rendimiento volumétrico

4.6.1 *Masa de aire teórica aspirada por el motor.* Se tomó como referencia la ecuación de la densidad de un fluido. Además, se toma el valor de la cilindrada de la ficha técnica de la motocicleta.

Datos:

v = volumen (cilindrada) = 124cc

δ = densidad del aire = 1,2 kg/m³

$$m_t = \delta * v$$

$$m_t = 1,2 * 0,000124 = 0,000 149$$

4.6.2 *Masa de aire real aspirada por el motor.* Se asume que la masa aspirada real es el valor que nos muestra la simulación, por tanto, se toma como referencia los datos arrojados por la simulación de la figura 43 en el parámetro 6 (Dp6). Se debe convertir el valor de flujo másico 0,015 823 kg/s en masa aspirada en un solo ciclo.

$$m_r = 0,015 823 \frac{Kg}{s} * \frac{60s}{9500rev} * \frac{2rev}{1ciclo}$$

$$m_r = 0,000 193Kg$$

Datos:

$m_t = 0,000 149$ kg

$m_r = 0,000 193$ kg

$$\eta_v = \frac{0,000 149}{0,000 193} = 0,772$$

El motor en estudio está utilizando el 77% del aire aspirado para convertirlo en energía.

4.7 Numero de Reynolds

4.7.1 *Numero de Reynolds en el conducto de admisión.* Se toma el resultado de la velocidad teórica del gas en el conducto de admisión y la ecuación (2).

Datos:

$$v = 89,26 \text{ m/s}$$

$$\eta = 1,825 \cdot 10^{-5} \text{ kg/(m.s)}$$

$$D = 0,0023 \text{ m}$$

$$\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

$$Re = \frac{vD\rho}{\eta}$$
$$Re = \frac{89,26 * 0,0023 * 1,2}{1,825 * 10^{-5}} = 13\ 346,63$$

El flujo que circula por el conducto de admisión es turbulento

4.7.2 *Numero de Reynolds en el asiento de válvula.* Se toma el resultado de la velocidad teórica del gas en el asiento de la válvula y la ecuación (2).

Datos:

$$v = 119,6 \text{ m/s}$$

$$\eta = 1,825 \cdot 10^{-5} \text{ kg/(m.s)}$$

$$D = 0,0023 \text{ m}$$

$$\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

$$Re = \frac{vD\rho}{\eta}$$
$$Re = \frac{119,6 * 0,0023 * 1,2}{1,825 * 10^{-5}} = 18\ 087,45$$

El flujo que circula por el asiento de válvula es turbulento.

CAPITULO VI

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Las simulaciones se llevaron a cabo con el complemento IC Engine que es una combinación de Fluent y CFX para el flujo de aire dentro del conducto y válvula de admisión. El mallado del fluido es de tipo estático, es decir, que se debían ingresar parámetros de alzadas de válvulas con los cuales el programa crea estudios nuevos porque la malla no se autogenera.

Se constató que la mayor turbulencia generada es cuando se disminuye la sección de paso del flujo por la válvula de admisión; es decir, cuando la válvula de admisión está acercándose a su alzada mínima, es aquí donde la velocidad del aire se eleva característicamente por el efecto Venturi producido en ese instante.

El estudio mediante CFD proporcionó acerca de la velocidad del gas según las alzadas de válvulas observando que la velocidad máxima se da cuando el motor está en cruce obteniendo un valor de 76,04 m/s.

Por medio de la simulación se logró determinar que el rendimiento volumétrico del motor es de 0,73. Es decir, el 73% del volumen aspirado es convertido en energía.

5.2 Recomendaciones

Se debe considerar que la versión educativa limita la cantidad de nodos y elementos para las simulaciones, por lo que no se pueden hacer simulaciones que exijan cantidades elevadas de elementos discretizados y se exhorta adquirir una licencia de usuario completa.

El estudio demanda de mucha memoria computacional y sería conveniente utilizar equipos sofisticados para no tener inconvenientes de memoria computacional.

Los resultados de la simulación no van a ser instantáneos por lo que se debe planificar correctamente el tiempo que se va a demorar la computadora resolviendo el problema físico.

Se debe tomar en cuenta la calidad superficial en el interior del conducto para así obtener menos pérdidas de carga del motor.

Tomar en cuenta la sección de paso del flujo a través del asiento de la válvula para así poder elevar la velocidad del flujo al pasar el aire por el asiento de válvula.

BIBLIOGRAFIA

ANSYS. Ansys Workbench Platform. [En línea] [Citado el: 14 de Julio de 2016.]
<http://www.ansys.com/es-ES/Products/Platform>.

BURL, Jeff B. *A state model for air-fuel ratio*. s.l. :
http://www.ece.mtu.edu/ee/faculty/burl/papers/af_ratio.pdf.

ÇENGEL, Yunus A. y BOLES, Michael A. 2011. *Termodinámica*. s.l. : McGraw-Hill Companies, Inc., 2011. ISBN: 978-607-15-0743-3.

DASSAULT SYSTEMS. SolidWorks. [En línea] [Citado el: 14 de Julio de 2016.]
<http://www.3ds.com/es/productos-y-servicios/solidworks/>.

DÍAZ BONIFAZ, Rodrigo. 1987. *Termodinámica Automotriz*. Riobamba : Editorial Pedagógica "Freire", 1987.

FUNES, Carlos A. 2010. *Motores para Competición: Diseño y Preparación*. Cordova, Argentina : Registro de propiedad intelectual, 2010.

H K, Versteeg y W, Malalasekera. 2007. *An Introduction to Computational Fluid Dynamics - The Finite Volume Method*. s.l. : Pearson Education Limited , 2007. 978-0-13-127498-3.

MOTT, Robert L. 2006. *Mecánica de Fluidos*. México : Pearson, 2006. 970-26-0805-8.

PAYRI, Francisco y DESANTES, José María. 2011. *Motores de Combustión Interna Alternativos*. España : Reverte, 2011. 9788429148022.

ROLAND W, Lewis, PERUMAL, Nithiarasu y KANKANHALLI N, Seetharamu. 2004. *Fundamentals of the Finite Element Method for Heat and Fluid Flow*. United Kindong : Wiley, 2004. 0-470-84788-3.

Simulación del flujo de gas en ductos de escape de motores de combustión interna. Primera parte: aspectos teóricos. **MANTILLA, Juan Miguel, FALLA, Camilo Andrés y GÓMEZ, Jorge Arturo.** 2009. Colombia : s.n., 2009, Ingeniería e Investigación.

SUZUKI COLOMBIA. Suzuki Motor de Colombia. [En línea] [Citado el: 17 de Enero de 2016.] <http://www.suzuki.com.co/motocicletas/gn-125-326>.

SUZUKI PERÚ. Suzuki Motors Perú. [En línea] [Citado el: 25 de Enero de 2016.] <http://www.todomotos.pe/suzuki-gn-125h-peru>.

PLANOS