



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“ANÁLISIS DEL FLUJO DE AIRE EN EL MÚLTIPLE
DE ADMISIÓN DE UN MOTOR”**

REA CABEZAS ANA FRANCISCA

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:
INGENIERA MECÁNICA

RIOBAMBA – ECUADOR

2011

Epoch
Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

CONSEJO DIRECTIVO

Junio, 08 de 2011

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

ANA FRANCISCA REA CABEZAS

Titulada:

“ANÁLISIS DEL FLUJO DE AIRE EN EL MÚLTIPLE DE ADMISIÓN DE UN MOTOR”

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

INGENIERA MECÁNICA

Ing. Geovanny Novillo A.
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Rodrigo Díaz
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Jorge Lema
ASESOR DE TESIS

Ing. Gilberto Zabala
ASESOR DE TESIS

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: ANA FRANCISCA REA CABEZAS

TÍTULO DE LA TESIS: “ANÁLISIS DEL FLUJO DE AIRE EN EL MÚLTIPLE DE ADMISIÓN DE UN MOTOR”

Fecha de Examinación: Junio, 08 del 2011

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
ING. CARLOS SANTILLÁN (Presidente Trib. Defensa)			
ING. RODRIGO DÍAZ (Director de Tesis)			
ING. JORGE LEMA (Asesor)			
ING. GILBERTO ZABALA (Asesor)			

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

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal quien certifica al Consejo Directivo que las condiciones de la defensa se han cumplido.

f) Presidente del Tribunal

SUMARIO

El presente trabajo de tesis "Análisis del flujo de aire en el múltiple de admisión de un motor" se fundamenta en la necesidad de conocer el comportamiento del flujo de aire a través de los ductos que conducen el mismo hacia los cilindros del motor.

Esta investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Motores de Combustión Interna de la Facultad de Mecánica en la ESPOCH. La metodología utilizada para el desarrollo de la tesis fue la construcción y pruebas de un múltiple, para la obtención de los datos de presión y análisis de los resultados obtenidos así como una modelación matemática del flujo de combustible.

La investigación puso de manifiesto que las presiones del flujo de aire a través de los ductos del múltiple de admisión, varían en función del diámetro, así como en función de la posición de los ductos con respecto a la ubicación de la garganta.

SUMMARY

The present research work on “Air Flow Analysis in a motor admission system” is based on the need of knowing the air flow behavior through out ducts which connect the motor cylinders.

This investigation was conducted at the motor laboratory of internal combustion in the School of Mechanical Engineering at ESPOCH. The methodological process employed on this thesis development was as follows: An admission system was constructed for obtaining air flow pressure data; obtained result analyses, as well as a fuel flow mathematical modeling.

This investigation showed that the air flow pressure through multiple system ducts vary according to diameter; as well as the ducts positioning function respect to its throttle placement.

TABLA DE CONTENIDOS

CAPÍTULO		PÁGINA
1.	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	
1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Justificación.....	2
1.3	Objetivos.....	3
1.3.1	Objetivo general.....	3
1.3.2	Objetivos específicos.....	3
2.	MARCO TEÓRICO	
2.1	El múltiple de admisión y sus características.....	4
2.1.1	Introducción.....	4
	
2.1.2	Eficiencia del múltiple de admisión.....	5
2.1.3	Diseño de los caños de alimentación.....	5
2.1.4	Características del múltiple de admisión.....	6
2.2	Partes de un sistema simple de admisión.....	8
2.2.2	Esquema del múltiple de admisión.....	8
2.2.2	Descripción de los elementos que conforman el múltiple de admisión.....	9
2.2.3	Sistema de admisión de aire.....	11
2.3	Características del flujo en el múltiple de admisión.....	11
2.4	El aire atmosférico.....	13
2.5	Parámetros que influyen en el servicio que presta el carburador.....	14
2.6	Ecuación de	15

	estado.....	
2.7	Volumen del múltiple de admisión.....	15
2.8	Masa de combustible.....	16
2.9	Flujo de masa de aire.....	16
2.10	Cilindrada tota.....	17
2.11	Rendimiento volumétrico.....	17
2.12	Densidad teórica.....	17
2.13	Flujo real de aire.....	18
2.14	Masa teórica de aire aspirado.....	18
2.15	Balance de masa em el colector de admisión.....	19
2.16	Presión en el colecto.....	19
2.17	Dinámica de la velocidad del cigüeñal.....	20
2.18	Dinámica de inyección de combustible.....	20

3. MODELACIÓN MATEMÁTICA DEL FLUJO DE COMBUSTIBLE

3.1	Generalidades.....	22
	...	
3.2	Construcción del modelo matemático a aplicar.....	24
3.2.1	Creación del diagrama modelo.....	25
3.2.2	Seleccionar un bloque para el input.....	25
3.2.3	Seleccionar un bloque operador.....	26
3.2.4	Seleccionar un bloque para el output.....	28
3.2.5	Conectar los bloques con señales.....	29
3.2.6	Seleccionar los parámetros de simulación.....	29
3.2.7	Seleccionar los parámetros de simulación.....	30

3.2.8	Correr la simulación.....	31
3.2.9	Resultados de la simulación.....	31

4. PRUEBAS Y CÁLCULOS

4.1	Prueba en el múltiple de admisión.....	33
4.2	Instrumentación del laboratorio de motores.....	36
4.2.1	Cálculo de la masa aire requerida.....	38
4.2.2	Flujo de masa de aire.....	38
4.2.3	Cálculo el flujo de masa de aire.....	39
4.2.4	Cilindrada parcial.....	39
4.2.5	Masa teórica de aire.....	40
4.2.5.1	Masa teórica que ocupa el volumen del múltiple original.....	40
4.2.5.2	Masa teórica que ocupa el volumen del múltiple construido.....	40
4.2.6	Densidad del aire.....	41
4.2.7	Flujo de aire que ingresa al motor.....	41
4.2.7.1	Flujo de aire en el múltiple.....	42
4.2.8	Aire que ingresa al múltiple.....	42
4.2.9	Tiempo de ingreso de aire al múltiple.....	42
4.2.10	Caudal del múltiple de admisión.....	42

5. RESULTADOS OBTENIDOS

5.1	Discusión de resultados.....	43
5.1.1	Análisis de las gráficas obtenidas.....	43

¡Error!

Marcador no definido.

6.	ANÁLISIS ECONÓMICO	
6.1	Máquinas y herramientas utilizadas.....	49
6.1.1	Operaciones de construcción en taller mecánico..... ¡Error! Marcador no definido.	50
6.1.2	Cursograma sinóptico de construcción..... ¡Error! Marcador no definido.	51
6.2	Montaje de partes y elementos.....	52
6.3	Costos.....	53
6.3.1	Costos directos..... ¡Error! Marcador no definido.	53
6.3.2	Costos indirectos.....	54
6.3.3	Costo total.....	55
7	CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES	
7.1	Conclusiones.....	56
7.2	Recomendaciones.....	57

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRAFÍA

LINKOGRAFÍA

APÉNDICES

ANEXOS

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.

1.1 Antecedentes.

La geometría del múltiple de admisión es de gran importancia en los motores de combustión interna modernos debido a su influencia directa en la eficiencia volumétrica y en las características del flujo de entrada al cilindro, lo que repercute en el desempeño integral del motor, sobre todo en lo relacionado con su potencia, consumo de combustible y emisiones contaminantes.

En la actualidad se lo denomina colector de admisión ya que además de canalizar los gases frescos de admisión hacia las válvulas situadas en la culata; son propicios a la creación de fenómenos vibratorios y acústicos de gran importancia. En el caso de los conductos de admisión, las vibraciones afectan de manera directa al rendimiento volumétrico y en consecuencia a la potencia máxima que el motor pueda desarrollar. [1]

Los diferentes comportamientos del flujo de aire en un colector de admisión pueden ser observados y analizados mediante gráficas obtenidas en una modelación matemática con la ayuda de programas como MATLAB y una de sus aplicaciones denominada SIMULINK.

1.2 Justificación.

La aplicación de una modelación y simulación matemática para analizar el comportamiento del fluido que ingresa al múltiple de admisión es de gran ayuda, ya que el comportamiento del fluido varía según el diseño interno y el material de cada múltiple de admisión.

El acabado superficial en un múltiple de admisión es de gran importancia ya que es por dicha superficie por donde se desplaza la mezcla aire – combustible lo que origina pérdidas de carga.

El flujo en el sistema de admisión no es permanente por la naturaleza misma de los procesos del motor. Además, en general es turbulento y presenta variaciones cíclicas de alta frecuencia, lo que complica su estudio teórico y hace que en el campo experimental se tengan que aplicar técnicas de medición que, además de obstruir lo menos posible al flujo, muestren una buena resolución espacial y temporal.

El largo y la forma del múltiple de admisión influyen en el desempeño de un motor. La eficiencia de admisión depende en buena parte de los pasajes del múltiple. Utilizando fenómenos naturales, cuando un gas se desplaza velozmente dentro de un tubo, el múltiple de admisión termina por homogeneizar la mezcla que llega al cilindro.

Un múltiple de admisión con pasajes de poco diámetro permite generar alta potencia de motor a bajas revoluciones, en cambio, si al mismo motor se le instala un múltiple con pasajes de mayor diámetro la misma potencia se obtendrá a mayor número de revoluciones.

1.3 Objetivos.

1.3.1 Objetivo general.

- Analizar el flujo de aire en el múltiple de admisión de un motor de combustión interna y la modelación y simulación matemática del flujo de combustible.

1.3.2 Objetivos específicos.

- Analizar la variación de la mezcla aire – combustible que ingresa a un múltiple de admisión original de fábrica con respecto a un múltiple de admisión construido.
- Caracterizar experimentalmente el movimiento del aire en cada uno de los ductos de los múltiples.
- Visualizar el comportamiento de la mezcla aire – combustible a través de las curvas obtenidas experimentalmente y en la modelación y simulación matemática.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 El múltiple de admisión y sus características.

2.1.1 Introducción.

El múltiple de admisión sirve para conducir aire o una mezcla aire – combustible desde el carburador a los cilindros y por ello debe cumplir las siguientes condiciones:

- Mantener la mezcla homogénea y estable durante el trayecto.
- En el caso de los motores con muchos cilindros, alimentarlos de igual manera a todos.[2]

El múltiple de admisión en estudio pertenece a un motor multicilíndrico; de 4 tiempos en donde el fluido está sometido a la influencia recíproca producida por la aspiración de los diversos cilindros de acuerdo con su desfasaje definido por el orden de encendido.

La mezcla que circula por los conductos contiene cierta cantidad de combustible líquido en forma de diminutas gotas. Dichas gotas poseen una inercia mayor que la mezcla gaseosa y, por ello cuando la dirección de la corriente gaseosa se altera bruscamente, las gotitas tienden a mantener su dirección de movimiento. [2]

2.1.2 Eficiencia del múltiple de admisión.

El largo y la forma del múltiple de admisión influyen en el desempeño de un motor. La eficiencia de admisión depende en buena parte de los pasajes del múltiple. Utilizando fenómenos naturales, cuando un gas se desplaza velozmente dentro de un tubo, el múltiple de admisión termina por homogeneizar la mezcla que llega al cilindro.

Un múltiple de admisión con pasajes de poco diámetro permite generar alta potencia del motor a bajas revoluciones, en cambio, si al mismo motor se le instala un múltiple con pasajes de mayor diámetro la misma potencia se obtendrá a mayor número de revoluciones. [3]

2.1.3 Diseño de los caños de alimentación.

La intención del diseñador es disponer de la mayor superficie posible dentro del múltiple, de manera que la gasolina que se adhiere a los pasajes exponga su masa de la forma más extendida posible al flujo de aire y al calor. Un tubo de diámetro circular presenta menos superficie interior que uno de sección cuadrada del mismo ancho y largo. Los múltiples de admisión eficientes combinan en sus ductos secciones circulares y cuadradas. Al contrario de lo que se piensa, las superficies extremadamente lisas y pulidas no favorecen la distribución homogénea de la mezcla.

La gasolina líquida se adhiere con fuerza a esta clase de superficie. [3]

2.1.4 Características del múltiple de admisión.

Primero tenemos que tener en cuenta que los múltiples son extensión de los conductos de válvulas, ya sea de admisión o escape, y podemos realizar algunas modificaciones:

El diámetro interno de los tubos de admisión y escape de cada cilindro deberá corresponderse con el diámetro del conducto de la válvula.

El simple pulido interno de los conductos de válvula y de los tubos de admisión y escape hace que la mezcla aire-combustible en la admisión, y los gases de escape no tengan resistencia en su desplazamiento, mejorando notablemente la velocidad de reacción del motor ya que favorecemos de esta manera la "respiración".

Las curvas de los conductos deben ser lo más suaves posible, y la distancia o recorrido deben ser lo más parecidas posible en todos los cilindros, para que la respiración sea equilibrada; normalmente en motores de serie estos múltiples son piezas que pueden pulirse fácilmente pero que no tienen ese equilibrio entre cilindros, por lo que hay una solución para la admisión y otra para el escape.

Otra opción en la admisión es la colocación de un múltiple que si tenga las características mencionadas, ya sea modificando el de serie y colocando otro de venta comercial; pero también se puede instalar más de un carburador, y vinculando estos a múltiples distintos.

Por ejemplo en un motor de 6 cilindros en línea podemos instalar dos semi-múltiples para alimentar 3 y 3 con dos carburadores; o instalar 3 semi-múltiples para alimentar 2, 2 y 2 con tres carburadores. Las distintas combinaciones son posibles siempre y cuando también sea posible adquirir los elementos necesarios.

Hablando de respiración vamos a decir que los filtros de aire tienen como función primordial evitar que ingrese en los cilindros cualquier partícula de material extraño, por lo tanto es aconsejable no retirarlo si fuera posible, ya que esto tiene como fin prolongar la vida útil del motor y mantener la limpieza del sistema de combustible. Tener presente que solamente el polvo del ambiente que ingresa en el cilindro actúa como una pasta esmeril en el carburador, las válvulas y los cilindros, así que mientras menos cosas extrañas estén dentro del motor mejor; hay variedad de filtros de venta comercial que tienen muy buenas cualidades limpiando el aire que ingresa y no poniendo mayor obstáculo.

El flujo en el sistema de admisión es no permanente por la naturaleza misma de los procesos del motor. Además, en general es turbulento y presenta variaciones cíclicas de alta frecuencia, lo que complica su estudio teórico y hace que en el terreno experimental se tengan que usar técnicas de medición que, además de obstruir lo menos posible al flujo, muestren una buena resolución espacial y temporal. [4]

2.2 Partes de un sistema simple de admisión.

2.2.1 Esquema del múltiple de admisión.

La imagen que sigue representa un simple sistema de admisión y limpieza de aire.

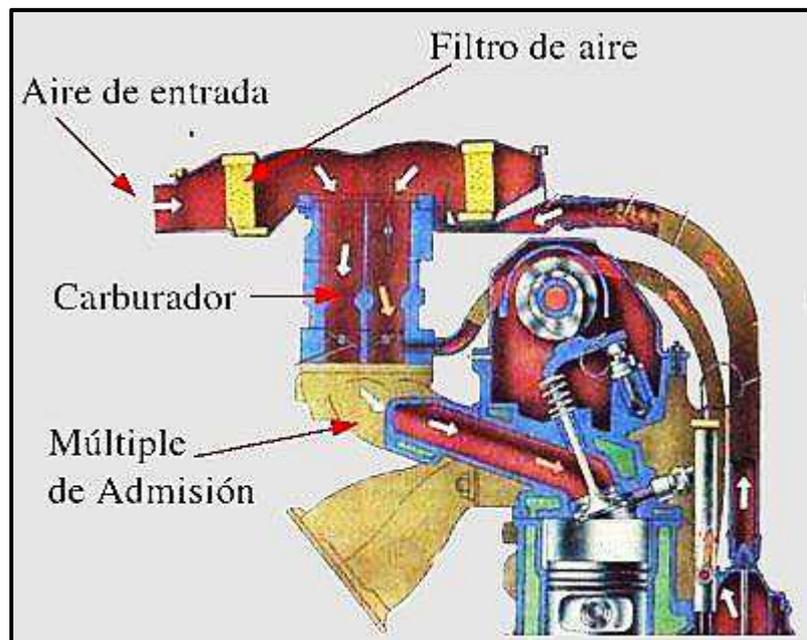


Figura 1. Esquema de un motor en corte[4]

Este es un sistema sin gran complejidad, en él, el aire del exterior entra directamente al filtro acoplado en un extremo del carburador, debajo de este último está el múltiple de admisión que se acopla a un costado del motor, justo en la entrada del conducto que conduce a la válvula de admisión.

Las flechas desde el exterior representan el flujo de aire.

Es común que desde el filtro hasta el exterior exista otro conducto que puede perseguir dos objetivos:

1. Obtener el aire más frío lejos del calentamiento redundante del motor.
2. Darle altura a la entrada, ya que mientras más cerca del suelo el aire tiene más polvo.

Las imágenes que siguen, corresponden a diferentes múltiples de admisión, puede observarse que van desde simples conductos hasta complejos sistemas de tubos. [4]



Figura 2. Diferentes tipos de múltiples de admisión[4]

2.2.2 Descripción de los elementos que conforman el múltiple de admisión.

El conducto de admisión puede ser desde un simple tramo de tubo que tiene en un extremo el filtro de aire y en el otro el acople al motor cerca de las válvulas de admisión para

un pequeño motor Diesel, hasta un complejo y bien diseñado sistema de tuberías que puede dividirse en dos partes:

- Un haz de tubos que se distribuyen en un extremo a los cilindros del motor poli-cilíndrico y que coinciden en el otro en una cavidad común donde se apoya el carburador o la mariposa del sistema de inyección de gasolina conocido como múltiple de admisión.
- Un conducto más o menos tortuoso que trae el aire del exterior al filtro y luego lo acopla a la entrada del carburador o a la mariposa del sistema de inyección.
- Para el caso del motor Diesel, en la mayor parte de los casos no existe mariposa alguna en el sistema de alimentación de aire, por lo que lo común es, que este conducto de admisión comunique el aire exterior con el filtro y luego al múltiple de admisión.

La longitud, forma y diámetro de estos tubos son el resultado de un meticuloso trabajo de experimentación que tiene como objetivo obtener el mejor llenado del cilindro y su modificación nunca se recomienda. Aunque parezca simple, no lo es tanto, estos conductos corresponden a un sistema inter-dependiente y no a la unión de simples piezas, todos ellos hacen un trabajo conjunto que en muchos casos y en determinadas condiciones de funcionamiento, logran llenar el cilindro a presiones mayores que la atmosférica, especialmente en los llamados múltiples de resonancia, donde las ondas de presión generados por el cierre de unas válvulas de admisión llegan a otras, creando una sobre presión que

favorece en mucho el llenado del cilindro. Estos múltiples de resonancia producen una suerte de sobrealimentación del motor.

2.2.3 Sistema de admisión de aire.

Este sistema suministra el aire al motor. El aire que ha sido tomado dentro y limpiado por el purificador de aire, fluye hacia el tanque de compensación de acuerdo con el ángulo de apertura de la válvula del acelerador, luego es distribuido a los cilindros a través de la admisión. En motores con sistema de alimentación a inyección, la cantidad de aire de admisión es detectada por un medidor del flujo de aire ó sensor de vacío a fin de hacer la apropiada mezcla de aire-combustible. El ordenador envía luego señales de inyección de combustible para el sistema de combustible de acuerdo con el volumen de aire de admisión.[5]

2.3 Características del flujo en el múltiple de admisión.

Las líneas del aire, que se extienden desde el motor hasta el exterior, deben diseñarse para velocidades del aire de 50 a 100 pie/s (15 a 30 m/s). Los filtros para aire, para eliminar las partículas de suciedad, reducen el desgaste de los pistones, los anillos y los cilindros. Los silenciadores, que se utilizan a la entrada de las líneas del aire, se combinan con los filtros, con fines automotrices.

Es recomendable precalentar el aire que llega al carburador y controlar su temperatura, ya que se reduce la variación en la densidad del aire y, en consecuencia, tener un mejor

control de la relación de la mezcla, respecto a la economía de combustible y el control de emisiones; asimismo, se minimiza el congelamiento del carburador y se reduce la necesidad de una válvula de traspaso en el múltiple de escape. Debe suministrarse algo de calor para vaporizar el combustible; su precalentamiento es indeseable porque reduce la eficiencia volumétrica, se calienta el carburador y se evapora el combustible en la cámara del flotador; del mismo modo es indeseable, ya que se perderán por vaporización las fracciones ligeras del combustible.

La energía química contenida en el combustible se libera bajo forma de calor cuando el combustible se quema por causa de la presencia del oxígeno del aire. Por consiguiente, se han de introducir en el motor aire combustible. En los motores de encendido por chispa, la mezcla de aire combustible se prepara en el carburador y es luego conducida al cilindro; en los motores de inyección electrónica y encendidos por compresión, la mezcla se realiza directamente en el cilindro, donde el combustible se inyecta después de haber introducido y comprimido el aire.

La mezcla comprimida en la cámara de combustión se transforma, en vapor de agua (H_2O), bióxido de carbono (CO_2) y nitrógeno (N_2). El nitrógeno, gas inerte contenido en el aire, no interviene en la combustión. El vapor de agua producido en la combustión se mantiene por debajo de su temperatura crítica y se comporta como un gas permanente. Entre los productos de la combustión se encuentran también porciones alícuotas de otros gases: monóxido de carbono (CO), hidrógeno (H_2), metano (CH_4) y oxígeno (O_2), en especial

cuando la combustión es incompleta. La cantidad de oxígeno que participa en el proceso está en razón directa del exceso de aire introducido con respecto al necesario para la combustión.

En consecuencia, el fluido operante está formado inicialmente por el aire y el combustible y, después, por el conjunto de gases producidos durante la combustión. Como es natural y evidente, su composición química varía en el curso del ciclo operativo. [5]

2.4 El aire atmosférico.

Una masa de aire seco, está a grosso modo, compuesto de 77 partes de nitrógeno y 23 partes de oxígeno. Contiene además pequeñas cantidades de otros gases, pero se comparten en la combustión, como un gas y puede ser considerado desde el punto de vista automotriz como nitrógeno. [6]

La tabla I nos ofrece una relación catalogada de los gases que se hallan contenidos en el aire.

TABLA I: Propiedades de los gases contenidos en el aire [2]

Elemento	Peso molecular	Proporción en volumen	Peso relativo	Volumen relativo
Oxígeno O₂	32	0,2099	6,717	1
Nitrógeno N₂	28	0,7803	21,861	3,76
Argón A	40	0,0094	0,376	3,76
Anhídrido carbónico CO₂	44	0,0003	0,013	3,76
Aire	-	1,000	28,97	4,76

La proporción en volumen es: 21% para el oxígeno, 79% para el nitrógeno y otros gases.

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 la presión atmosférica y a la temperatura de 273.16 ° K ocupa un volumen de 0.77351 m³. [6]

2.5 Parámetros que influyen en el servicio que presta el carburador.

Un modelo de estado de la relación aire-combustible se deriva de un motor de encendido por chispa. Este modelo se presenta para proporcionar una comprensión básica de las dinámicas que rigen la relación aire-combustible. El proceso real que genera la relación aire-combustible es muy complejo, 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:

1. El aire en el colector de admisión actúa como un gas ideal.
2. La tasa de cambio de la temperatura del aire en el colector de admisión es pequeño.
3. El funcionamiento de los cilindros se pasan 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. [7]

2.6 Ecuación de estado.

El aire en el colector de admisión se modela como un gas ideal y, por tanto, descrito por la ley del gas ideal: [7]

$$P_i V_i = m_i R T \quad (2.1)$$

Donde:

P_i = Presión en el colector de admisión.

V_i = Volumen del colector de admisión.

m_i = Masa de aire en el colector de admisión.

R = Constante de los gases para el aire

T = Temperatura del aire en el colector de admisión.

Esta ley también se puede escribir en términos de la densidad del aire en el colector de admisión ρ_i :

$$\rho_i = \frac{m_i}{V_i} = \frac{P_i}{RT} \quad (2.2)$$

Además, la masa del gas ideal se puede expresar como:

$$m_i = \frac{P_i V_i}{RT} \quad (2.3)$$

2.7 Volumendelmúltiple de admisión.

Para conocer el volumen de cada múltiple de admisión se procede a sellar cada orificio y con una probeta graduada en mililitros llenamos cada uno y así se obtuvieron los siguientes datos:

- Volumendelmúltiple de admisión original: 600cc
- Volumendelmúltiple de admisión construido: 700cc

2.8 Masa de combustible.

La masa de combustible que ingresa a cada cilindro se determina con ayuda de la relación aire-combustible.

$$\alpha = \frac{m_a}{m_c} \quad (2.4)$$

2.9 Flujo de masa de aire.

Para el cálculo del flujo de masa de aire se utiliza la siguiente expresión.[8]

$$\dot{m}_a = 10^{-6} * \frac{\pi * D^2 * K_3}{4} * \sqrt[0,827]{\frac{h_o P_a}{T_a}} * 10^3$$

Es importante indicar que el flujo de masa de aire está expresado en kg / seg.

Asumiendo un coeficiente de descarga : $K_3 = 0.6$

$$\dot{m}_a = 0,00001232 * D^2 \sqrt{\frac{h_o P_a}{T_a}} \quad \left[\frac{Kg}{s} \right] \quad (2.5)$$

En donde:

D = Diámetro del orificio [mm]

h_o =Cabeza a través del orificio [cm H₂O]

P_a =Presión atmosférica [KN/m²]

T_a =Temperatura de aire [°K]

2.10 Cilindrada total (V).

Comúnmente conocida como cilindrada; es el producto de la cilindrada parcial (V_p) por el número de cilindros (i).

$$V = V_p * i \quad (2.6)$$

2.11 Rendimiento volumétrico (η_v).

Es la relación entre la cantidad de aire realmente aspirada en el cilindro y la que teóricamente debe haber sido aspirada.

$$\eta_v = \frac{m_r}{V \cdot \delta_t} = \frac{m_r}{m_t} \quad (2.7)$$

Donde:

m_r = Masa real del aire.

m_t = Masa teórica.

V_p = Volumen parcial.

δ_t = Densidad teórica.

2.12 Densidad teórica.

$$\delta_t = \frac{1}{v_t} = \frac{m_t}{V_p} \quad (2.8)$$

Donde:

δ_t = Densidad teórica del aire.

v_t = Volumen específico.

2.13 Flujo real de aire.

$$\dot{m}_r = \frac{m_r}{t} \quad (2.9)$$

Donde:

t = tiempo

2.14 Masa teórica de aire aspirado (m_t).

La masa teórica de aire que es aspirada en el cilindro y que ocupa la cilindrada parcial (V_p), se calcula con la ecuación de estado:

$$m_t = \frac{P_1 V_p}{RT_1} \quad (2.10)$$

Donde:

P_1 = Presión del aire aspirado en el cilindro.

V_p = Cilindrada parcial.

T_1 = Temperatura del aire aspirado en el cilindro.

O con la siguiente relación:

$$m_t = V_p \delta_t \quad (2.11)$$

Donde:

V_p = Cilindrada parcial.

δ_t = Densidad teórica del aire.

2.15 Balance de masa en el colector de admisión.

El balance de masa en el colector de admisión está descrita por la siguiente ecuación:

[9]

$$\dot{m}_{múltiple} = \dot{m}_{garganta} - \dot{m}_{motor} \quad (2.12)$$

Donde:

$\dot{m}_{múltiple}$ = Flujo neto de aire en el colector.

$\dot{m}_{garganta}$ = Flujo de masa que debe entrar en el colector a través de la válvula reguladora.

\dot{m}_{motor} = Flujo de masa a la salida del colector, entrando así en los cilindros del motor.

2.16 Presión en el colector.

La presión en el colector del múltiple $P_{múltiple}$ se calcula a partir de la ecuación de estado.[10]

$$P_{múltiple} = \frac{m_{múltiple} * R * T_{múltiple}}{V_{múltiple}} \quad (2.13)$$

Donde:

R = Constante del aire.

$m_{múltiple}$ = Masa de aire en el múltiple.

$T_{múltiple}$ = Temperatura del aire en el múltiple.

$V_{múltiple}$ = Volumen del múltiple.

2.17 Dinámica de la velocidad del cigüeñal.

La velocidad de giro se obtiene sobre la base de la conservación de la energía de rotación del cigüeñal. [11]

$$n = -\frac{1}{I_n} \left(P_f(p_i, n) + P_p(p_i, n) + P_b(n) \right) + \frac{1}{I_n} H_u \eta_i(p_i, n, \lambda) \dot{m}_f(t - \Delta\tau_d) \quad (2.14)$$

Donde:

P_f = Poder de la fricción.

P_p = Potencia de bombeo.

p_i = Presión en el múltiple.

n = Velocidad del cigüeñal.

P_b = Energía de la carga.

η_i = Rendimiento.

λ = Relación aire – combustible.

Tanto el poder de la fricción P_f y la potencia de bombeo P_p están relacionados con la presión en el múltiple p_i y la velocidad del cigüeñal n . La energía de la carga P_b es una función de la velocidad de giro n . El rendimiento η_i indicado es una función de la presión del múltiple p_i , la velocidad de giro n y la relación de aire y combustible λ . [11]

2.18 Dinámica de inyección de combustible

De acuerdo a los experimentos de identificación de Hendrick con el motor encendido por chispa, la dinámica del flujo de combustible se podría describir con las siguientes ecuaciones obtenidas al aplicar transformadas de Laplace. [11]

El modelo se basa en el seguimiento del flujo de másico de combustible.

$$\dot{m}_{ff} = \frac{1}{\tau_f} (-\dot{m}_{ff} + X_f \dot{m}_{fl}) \quad (2.15)$$

$$\dot{m}_{fv} = (1 - X_f) \dot{m}_{fl} \quad (2.16)$$

$$\dot{m}_f = \dot{m}_{fv} + \dot{m}_{ff} \quad (2.17)$$

Donde:

τ_f = Constante de tiempo para la evaporación del combustible.

X_f = Proporción del combustible que se deposita en el colector de admisión, \dot{m}_{ff} o cerca de las válvulas de admisión, \dot{m}_{fv} .

Estos parámetros son el punto de funcionamiento dependiente y por lo tanto el modelo no es lineal, a pesar de su forma lineal, lo que podría ser expresado aproximadamente en términos de los estados del modelo como:[11]

$$\tau_f(p_i, n) = 1.35 \times (-0.672n + 1.68) \times (p_i - 0.825)^2 + (-0.06 \times n + 0.15) + 0.56 \quad (2.18)$$

$$X_f(p_i, n) = -0.277p_i - 0.055n + 0.68 \quad (2.19)$$

CAPÍTULO III

3. MODELACIÓN MATEMÁTICA DEL FLUJO MÁSSICO

3.1 Generalidades.

Simulink proporciona un entorno gráfico al usuario que facilita enormemente el análisis, diseño y simulación (de control, electrónicos, etc.), al incluir una serie de rutinas que resuelven los cálculos matemáticos de fondo, junto con una sencilla interfaz para su uso. Proporciona un entorno de usuario gráfico que permite dibujar los sistemas como diagrama de bloques tal y como se haría sobre un papel.

El conjunto de componentes incluidos junto al programa Simulink, incluye bibliotecas de fuentes de señal, dispositivos de presentación de datos, sistemas lineales y no lineales, conectores y funciones matemáticas. En caso de que sea necesario, se pueden crear nuevos bloques a medida por el usuario.

Simulink es una herramienta interactiva que sirve para planear, simular, y para el análisis dinámico, de los sistemas multifunción, que nos permite con precisión describir, simular, evaluar, y definir la conducta de un sistema a través de la norma y las bibliotecas de bloques personalizadas. Los modelos de Simulink tienen el acceso directo a MATLAB, mientras nos proporcionan el funcionamiento flexible y un rango extenso de análisis.

A breves rasgos Simulink permite:

- Dibujar elementos y conexiones en una ventana gráfica. Las conexiones indican el recorrido de las señales de un elemento a otra.
- Los elementos se los extrae de la biblioteca del propio Simulink, e inclusive se pueden crear nuevos elementos.
- Los resultados se obtienen como salida de algunos elementos, pudiéndose almacenar, ver gráficamente, etc.
- Los datos o señales de entrada pueden obtenerse de salidas de variables especiales, del disco o de variables utilizadas en MATLAB.

Para la definición del modelo, Simulink dispone de diferentes herramientas. Cada una de ellas dispone de bloques que pueden ser copiados en la pantalla del modelo utilizando el mouse o ratón.

Las principales herramientas con sus bloques respectivos son:

- **Continuos:** integradores, derivadores, función de transferencia, retardo de transporte, memorias, etc.
- **Discretos:** funciones de transferencia discreta, filtros digitales, ZOH, espacio de estado discreto, etc.
- **Matemática:** sumadores, ganancias, funciones trigonométricas, matrices, etc.

- **Fuentes:** escalón unitario, seno, ruido blanco, variables desde un archivo matemático, generadores de señales, etc.
- **No-lineales:** switches, relees, etc.
- **Señales y sistemas:** entradas y salidas; multiplexores para varias entradas y/o salidas y para vectores.
- **Salidas:** displays, osciloscopios, salidas a archivos, o al espacio de trabajo.

3.2 Construcción del modelo matemático a aplicar

Para la construcción del modelo matemático y para un diseño adecuado del múltiple de admisión se debe seguir los siguientes pasos:

Como punto de partida se construye el modelo matemático en Simulink que interprete la utilización de las siguientes ecuaciones aplicando transformadas de Laplace:

$$\ddot{m}_{ff} = \frac{1}{\tau_f} (-\dot{m}_{ff} + X_f \dot{m}_{fi}) \quad (2.15)$$

La transformada de Laplace que resulta de la ecuación (2.15) es:

$$\ddot{m}_{ff}(s) = -\frac{1}{\tau_f} \dot{m}_{ff}(s) + \frac{1}{\tau_f} X_f \dot{m}_{fi}(s)$$

De la ecuación (2.16) se obtiene:

$$\dot{m}_{fv} = (1 - X_f) \dot{m}_{fi}$$

$$\dot{m}_{fv}(s) = (1 - X_f) \dot{m}_{fi}(s)$$

Las ecuaciones anteriormente descritas al adicionarse y ser modeladas nos dan como resultado el flujo másico de combustible.

En esta ecuación hay que reemplazar los valores obtenidos en nuestra investigación que están tabulados y se encuentran en los anexos adjuntos. Con estos datos tenemos las condiciones iniciales a aplicar en nuestras ecuaciones.

3.2.1 Creación del diagrama modelo

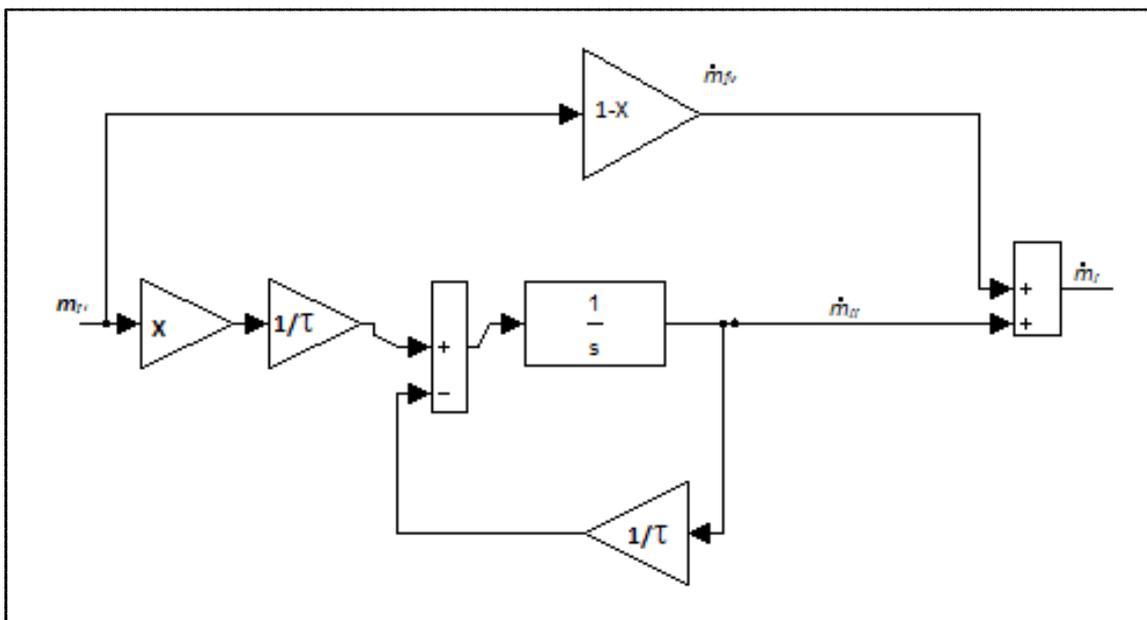
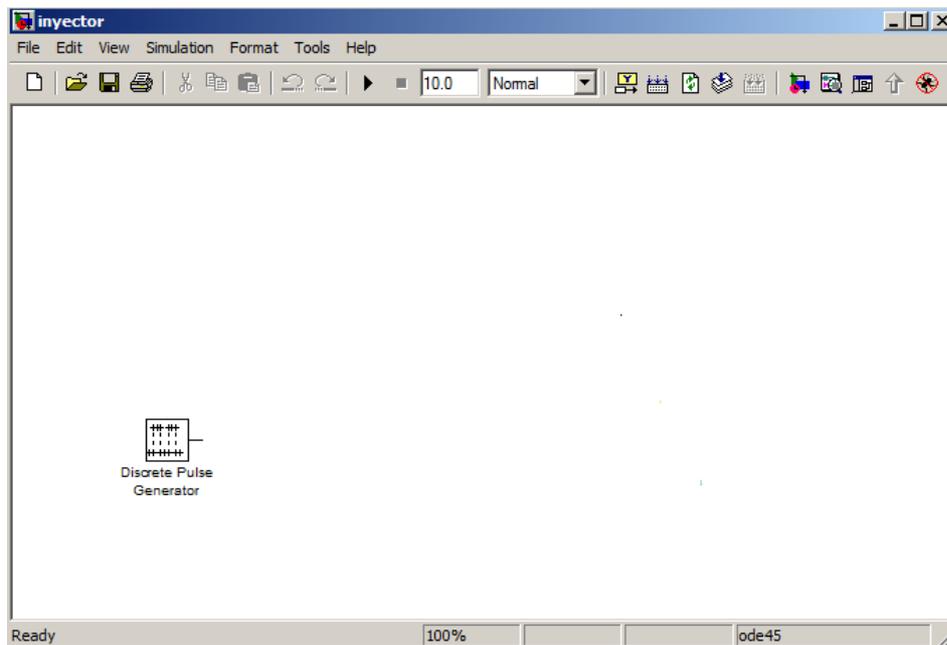


Figura3: Diagrama del modelo matemático

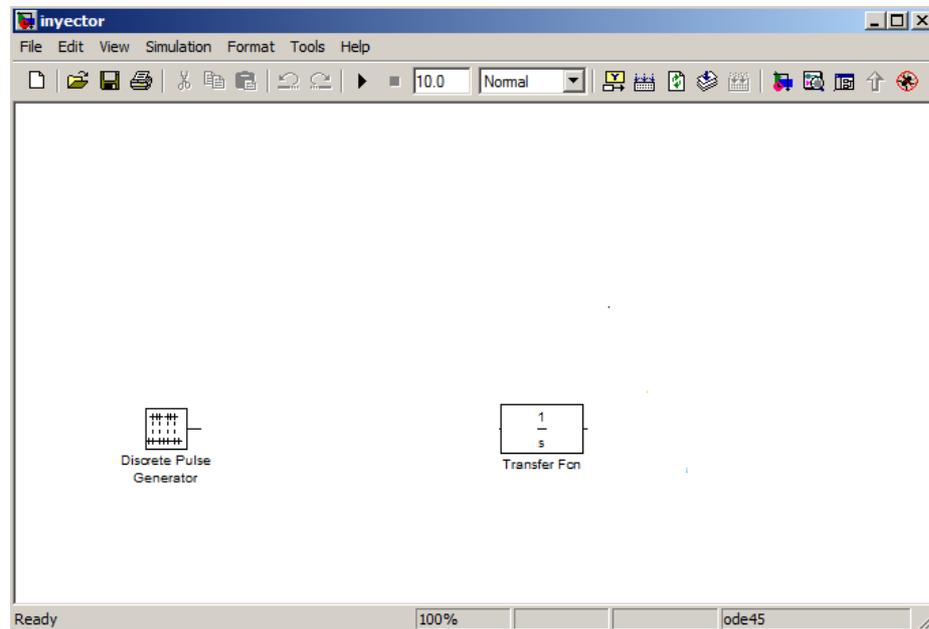
3.2.2 Seleccionar un bloque para el input

Arrastrar el bloque “Discrete Pulse Generator” desde la librería “Discrete” hasta la ventana de trabajo.

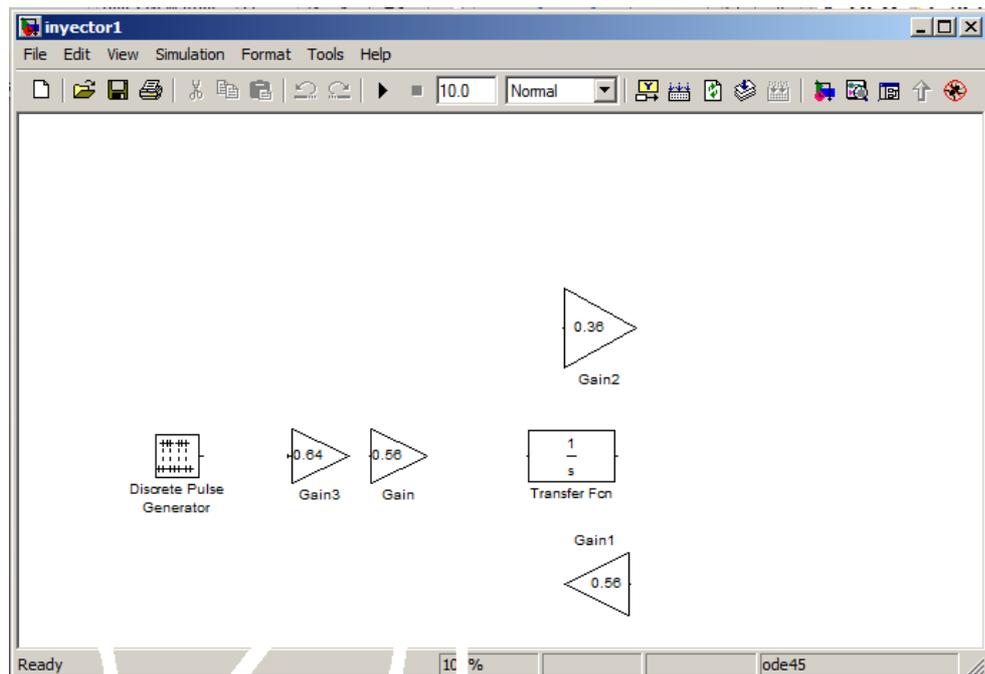


3.2.3 Seleccionar un bloque operador

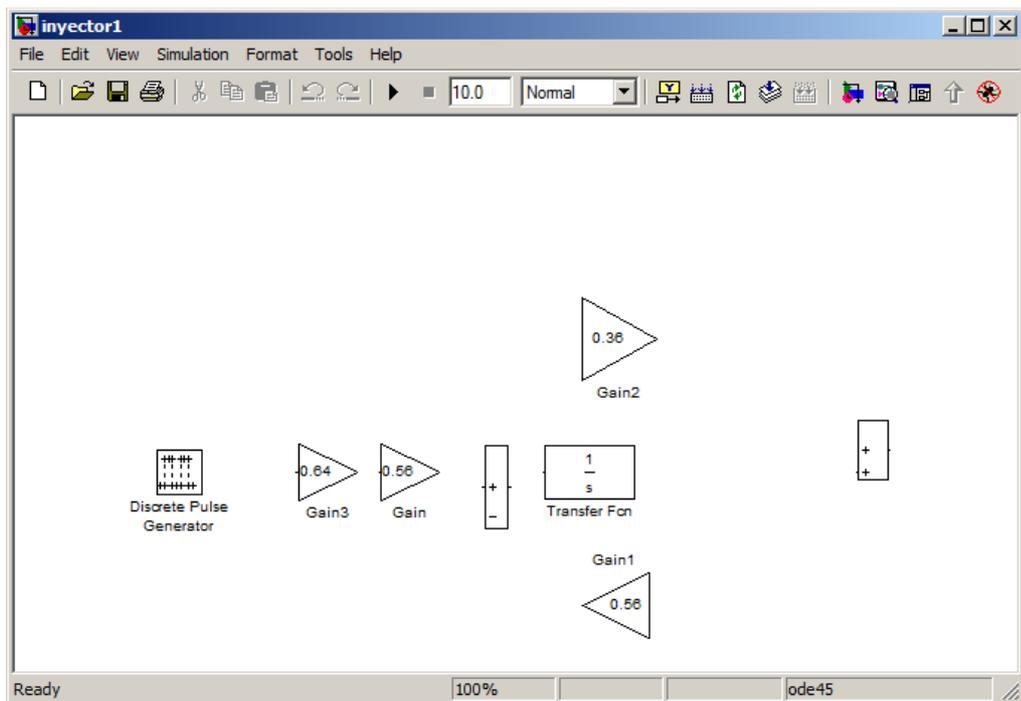
Arrastrar un bloque “Transfer Fon” desde la librería “Continous” hasta la ventana de trabajo.



Arrastrar un bloque “Gain”, “Gain 1”, “Gain 2”, “Gain 3” desde la librería “Mathoperations” hasta la ventana de trabajo.

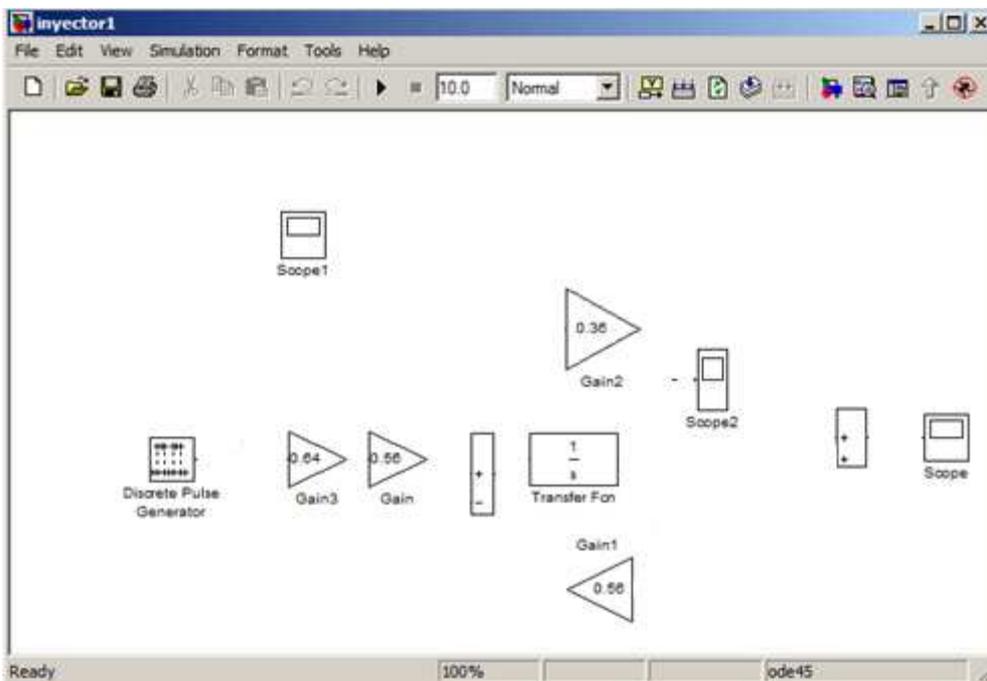
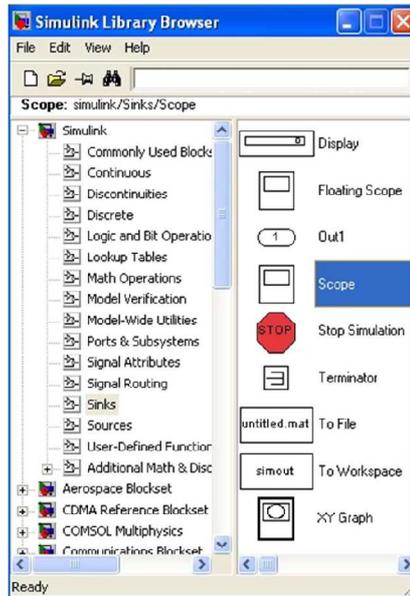


Arrastrar un bloque “Subtract” y “Add”, desde la librería “Mathoperations” hasta la ventana de trabajo.



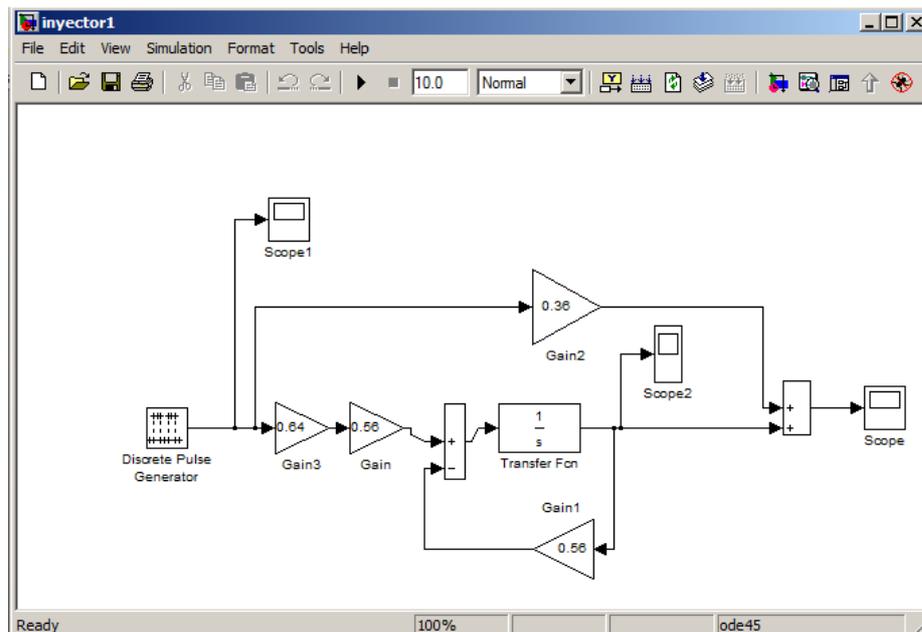
3.2.4 Seleccionar un bloque para el output

Arrastrar el bloque “Scope”, “Scope 1” y “Scope 2”, desde la librería “Sinks” hasta la ventana de trabajo



3.2.5 Conectar los bloques con señales

- Ubicar el cursor en el puerto de salida (>) del bloque “*Discrete Pulse Generator*”
- Arrastrar desde el puerto de salida del bloque “*Discrete Pulse Generator*” hasta el puerto de entrada del bloque “*Gain 3*”
- Arrastrar desde la salida del bloque “*Gain 3*” hasta la entrada del bloque “*Subtract*”
- Luego continuamos uniendo cada uno de los bloques desde puerto de salida puerto de entrada de cada uno de ellos de nuestro modelo matemático.
- Las flechas indican la dirección de la señal.



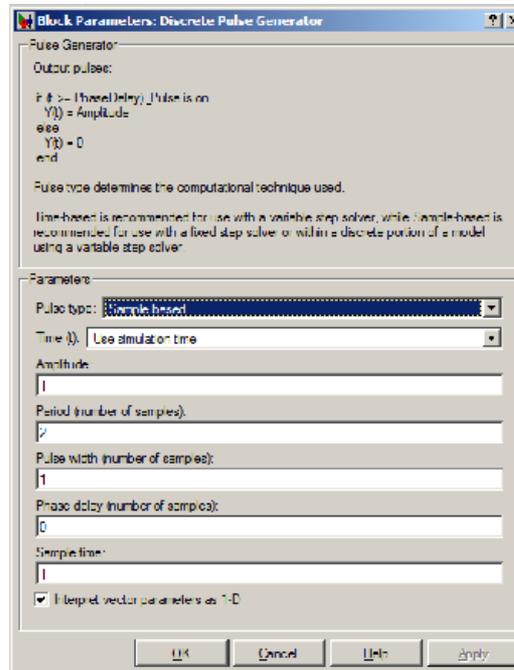
3.2.6 Seleccionar los parámetros de simulación

Debemos hacer doble click en el bloque “Discrete Pulse Generator” e ingresar:

Amplitud = 1

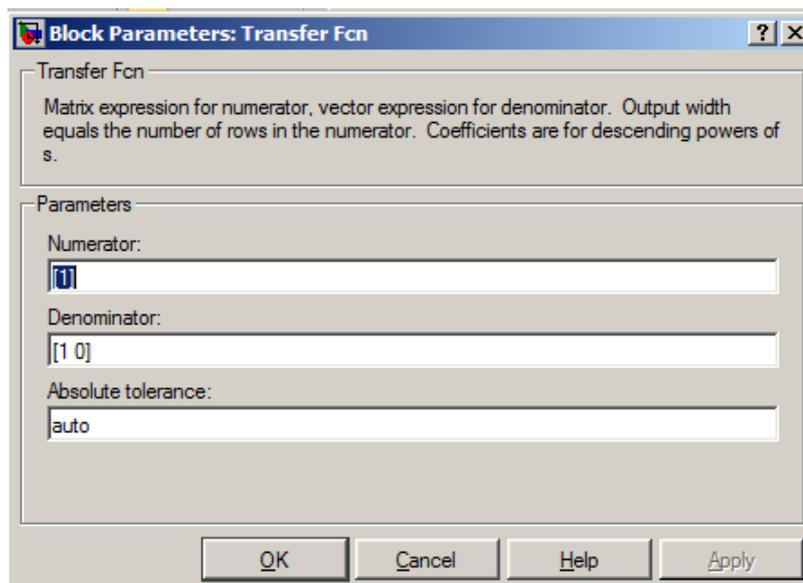
Frecuencia = 2

Se forma así el input deseado:



3.2.7 Seleccionar los parámetros de simulación

Doble clic en el bloque “Transfer Fcn” e ingresar la condición inicial = 1

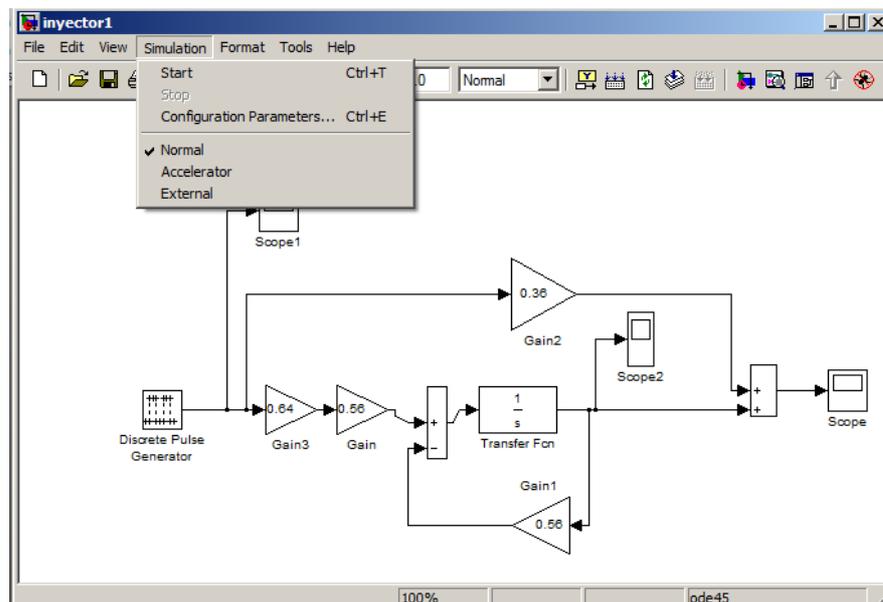


Así continuamos seleccionando los parámetros de cada uno de los bloques que conforman nuestro modelo.

Es importante indicar que el ingreso de datos para la simulación del modelo matemático se lo realiza de manera manual dando clic en cada uno de los operadores utilizados en la modelación.

3.2.8 Correr la simulación.

En la ventana de trabajo, click en “Simulation” y seleccionar “Start”

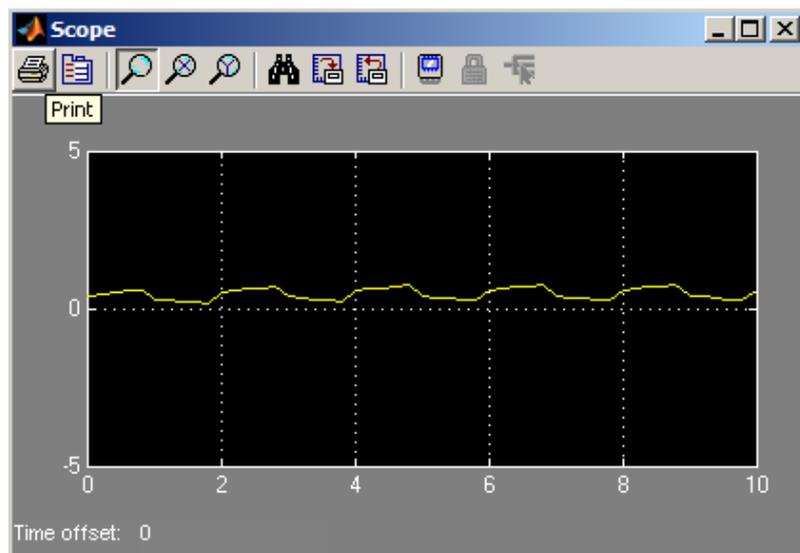


Otra forma es hacer click en el signo



3.2.9 Resultados de la simulación

Hacer doble clic en el bloque “Scope”



Se visualiza el output en la ventana Scope

Como síntesis de la modelación y simulación matemática se puede concluir que:

En la gráfica se visualiza una curva homogénea de similar período en donde se muestra que el comportamiento de la mezcla aire - combustible dentro del múltiple de admisión es uniforme en cada uno de los conductos.

El modelo predice adecuadamente el efecto de las variables de operación sobre el comportamiento de la mezcla.

Para mayor precisión del modelo se podría incluir los mecanismos de transporte de energía y resolver la dinámica de fluidos.

CAPÍTULO IV

4. PRUEBAS Y CÁLCULOS

4.1 Prueba en el múltiple de admisión.

El modelo del múltiple de admisión sujeto a estudio, tiene la forma que se muestra a continuación en la figura 3.

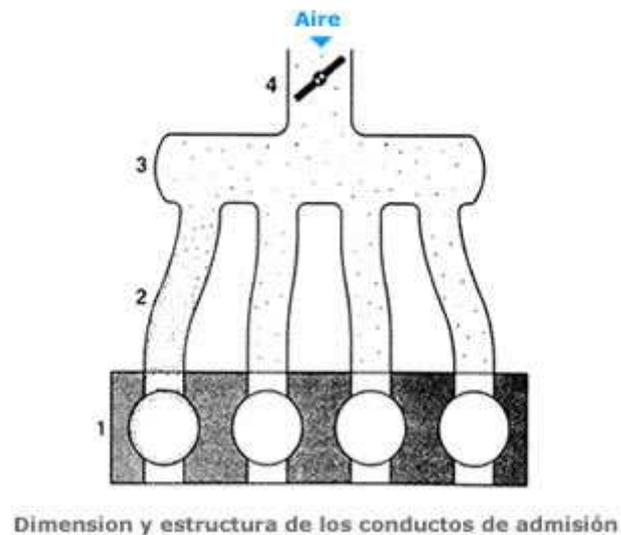


Figura 4: Modelo propuesto [5]

El experimento se realizó montando primero el múltiple original en el cabezote y luego el construido con la misma forma pero de mayor diámetro de los ductos, cada uno de estos múltiples de admisión en cada uno de sus ductos tiene tres orificios en la parte inferior

con su respectivo acople para la medición de presión, y en la parte superior tiene un solo orificio, con su respectivo tapón para la toma de la velocidades correspondiente a cada posición de la polea de la distribución , cada uno de estos múltiples se acoplan al cabezote del motor de combustión interna arrastrado, es decir, que opera sin combustión y accionado mediante un motor eléctrico. El régimen de giro del motor se mantiene constante a 725 rpm y su cilindrada unitaria es de 400 cc, con este motor no se pudo tomar datos por la rapidez del cierre a apertura de válvulas. Por lo cual fue necesario el uso de una palanca y proceder a señalar puntos de referencia en la polea de la distribución cada 45° , y para cada ángulo de giro realizar la toma de datos.



Figura5: Arreglo experimental

Como se observa en el gráfico 2, el banco de tubos que se encuentra en parte delantera, que es el que nos ayudó a medir la presión en el corredor de cada uno de los cilindros, y cada manguera va conectado a cada corredor del múltiple, ya que en cada uno de estos corredores se tiene tres tomas de datos en diferentes puntos, como también con la ayuda

de un Datametrics que se observa en el gráfico 4 se realizó la toma de datos de la otra variable que es la velocidad; esto se hace en base a unos orificios en cada corredor del múltiple con su respectivo tapón.

Para todo este experimento se siguió el siguiente procedimiento:

1. Se verifica que todas las conexiones eléctricas, y de mangueras estén correctamente conectadas y funcionando.
2. Luego en cada conducto del banco de tubos se colocó 5 cc de agua.
3. Se tomó lecturas referenciales sin poner en funcionamiento el alimentador de aire (blower).
4. Como siguiente punto se prendió el alimentador de aire y se observó la variación en la altura de líquido en el banco de tubos, con referencia a las lecturas iniciales.
5. Luego se destapó cada corredor para tomar la lectura correspondiente a la velocidad, en cada uno de los ductos, en este caso es un motor de 4 cilindros.
6. Como siguiente paso se giró la polea de la distribución cada 45° en sentido horario; con ayuda de la palanca de fuerza.
7. De esta forma se tomó los datos y se procedió a repetir los pasos 5 y 6, hasta que polea regrese a su punto inicial; es decir cuando complete los 360° de giro.
8. Todo este procedimiento se realizó 15 veces para que los datos sean más exactos y se acerquen a la realidad.
9. Y por último se cambió de múltiple de admisión, colocando el fabricado y se repite todos los pasos anteriormente mencionados hasta obtener los datos exactos.

10. Se tabulan los datos y luego se realizó las gráficas correspondientes para obtener las respectivas curvas.

4.2 Instrumentación del laboratorio de motores.

Los ensayos se han realizado en el laboratorio de Motores de combustión interna de la ESPOCH en la Facultad de Mecánica. En el gráfico se muestra esquemáticamente la instalación.



Figura 6: Banco de pruebas medir flujo de aire en el múltiple de admisión.

El banco de ensayos está equipado con un blower el mismo que ayuda a alimentar el múltiple de admisión de aire, al mismo tiempo está conectado por medio de una banda de distribución un motor eléctrico a través de la polea de distribución, que permite el movimiento

del árbol de levas y con esto se sincroniza la apertura y cierre de las válvulas ya sea de escape o de admisión.

Para medir la cantidad de caudal de aire que ingresa en cada cilindro se utilizó un banco de tubos el mismo que se muestra en el gráfico 2, en el cual por diferencia de alturas obtenemos una cantidad aproximada de caudal de aire que ingresa a cada cilindro, y con estos datos se obtuvo los diferentes resultados.

Con el uso de un Datametric se realizó la toma de velocidades en cada uno de los ductos, el cual se muestra en el gráfico 4.



Figura 7: Medidor de velocidad (Datametric)

4.2.1 Cálculo de la masa aire requerida.

Con la ayuda de la ecuación 2.5 encontramos la masa de aire requerida en el cilindro para la combustión.

TABLA II: Características del motor Chevrolet Cóndor

DATOS	VALORES
Cilindrada(V)	1600 cc
#Revoluciones (n)	900 rpm
Número de cilindros (i)	4
Número de tiempos (z)	4
Diámetro (D)	34 mm
Cabeza a través del orificio (h_0)	2,25 cm H ₂ O
Presión atmosférica (P_a)	10,5 Psi
Temperatura del aire (T_a)	288°K

4.2.2 Flujo de masa de aire.

Para calcular el flujo de masa de aire (\dot{m}_a) que ingresa al múltiple de admisión realizo los siguientes cálculos:

Transformo la presión atmosférica (P_a) 10,5 Psi a KN/m².

$$P_a = 0,7384 \frac{Kg}{cm^2} * 0,980665 \frac{bar}{\frac{Kg}{cm^2}} * 1000 \frac{mbar}{bar} * \frac{1mmH_2O}{0,098mbar} * \frac{9,8Pa}{1mmH_2O} * \frac{KPa}{1000Pa}$$

$$P_a = 72,41KPa = 72,41 \frac{KN}{m^2}$$

4.2.3 Cálculo el flujo de masa de aire (\dot{m}_a).

Para el múltiple original:

$$\dot{m}_a = 0,00001232 * D^2 \sqrt{\frac{h_o P_a}{T_a}}$$

$$\dot{m}_a = 0,00001232 * (34mm)^2 \sqrt{\frac{2,25cmH_2O * 72,41 \frac{KN}{m^2}}{288^\circ K}}$$

$$\dot{m}_a = 10,71 \frac{gr}{seg} = 0,01071 \frac{Kg}{seg} = m_{garganta}$$

Para el múltiple construido:

$$\dot{m}_a = 0,00001232 * (36mm)^2 \sqrt{\frac{2,25cmH_2O * 72,41 \frac{KN}{m^2}}{288^\circ K}}$$

$$\dot{m}_a = 12 \frac{gr}{s}$$

4.2.4 Cilindrada parcial.

Cálculo de la cilindrada parcial de motor en base a la ecuación(2.6):

$$V_p = \frac{V}{i}$$

$$V_p = \frac{1600cm^3}{4}$$

$$V_p = 400cm^3$$

4.2.5 Masa teórica de aire (m_t).

$$m_t = \frac{PV_p}{RT}$$

$$m_t = \frac{0,7384 \frac{Kg}{cm^2} * 400cm^3}{29,269 \frac{Kgm}{Kg^{\circ}K} * 288^{\circ}K^{\circ} * \frac{100cm}{1m}}$$

$$m_t = 0,0003503Kg$$

4.2.5.1 Masa teórica que ocupa el volumen del múltiple original.

$$(V_{multiple}=600cm^3).$$

$$m_{tmult} = \frac{P_{multiple}V_{multiple}}{RT}$$

$$m_{tmult} = \frac{600cm^3 * 0,66294 \frac{Kg}{m^2} * \frac{1m^3}{(100cm)^3}}{29,269 \frac{Kgm}{Kg^{\circ}K} * 288^{\circ}K}$$

$$m_{tmult} = 0,00000004718Kg$$

4.2.5.2 Masa teórica que ocupa el volumen del múltiple construido.

$$(V_{multiple}=700cm^3).$$

$$m_{tmult} = \frac{P_{multiple}V_{multiple}}{RT}$$

$$m_{tmult} = \frac{700cm^3 * 0,66294 \frac{Kg}{m^2} * \frac{1m^3}{(100cm)^3}}{29,269 \frac{Kgm}{Kg^{\circ}K} * 288^{\circ}K}$$

$$m_{tmult} = 0,00000005505Kg$$

4.2.6 Densidad del aire.

$$\delta = \frac{m_{t.cilindro}}{V_p}$$

$$\delta = \frac{0,0003503Kg}{400cm^3 * \left(\frac{1m}{100cm}\right)^3}$$

$$\delta = 0,87575 \frac{Kg}{m^3}$$

$$\delta = \frac{m_{t.multiple}}{V_{multiple}}$$

$$\delta = \frac{0,00004718gr}{600cm^3} = 0,0000007863 \frac{gr}{cm^3}$$

$$\delta = 0,0007863 \frac{Kg}{cm^3}$$

4.2.7 Flujo de aire que ingresa al motor.

$$\dot{m}_{motor} = \delta \cdot \frac{\eta_v V_p n}{4\pi}$$

$$\dot{m}_{motor} = 0,87575 \frac{Kg}{m^3} * \left(\frac{1m}{100cm}\right)^3 * \frac{0,7 * 400cm^3 * 94,2 \frac{rad}{seg}}{4\pi} = 0,001839 \frac{Kg}{seg}$$

$$\dot{m}_{motor} = 1,839 \frac{gr}{seg}$$

4.2.7.1 Flujo de aire en el múltiple.

$$\dot{m}_{multiple} = \dot{m}_{garganta} - \dot{m}_{motor}$$

$$\dot{m}_{multiple} = 0,01071 \frac{Kg}{seg} - 0,001839 \frac{Kg}{seg}$$

$$\dot{m}_{multiple} = 0,012549 \frac{Kg}{seg}$$

4.2.8 Aire que ingresaalmúltiple.

$$\delta_{múltiple} = \frac{\dot{m}_{múltiple}}{\dot{V}_{múltiple}}$$

$$\delta_{múltiple} = \frac{0,012549 \frac{Kg}{seg}}{0,00007863 \frac{Kg}{m^3}}$$

$$\delta_{múltiple} = 159,59 \frac{m^3}{seg}$$

4.2.9 Tiempo de ingreso de aire almúltiple.

$$t_{múltiple} = \frac{m_{tmúltiple}}{m_{garganta}}$$

$$t_{múltiple} = \frac{0,00000004718Kg}{0,01071 \frac{Kg}{seg}} = 0,0000044seg$$

$$t_{cilindro} = \frac{0,0003503Kg}{0,001839 \frac{Kg}{seg}} = 0,19048seg$$

4.2.10 Caudal delmúltiple de admisión.

$$V_{múltiple} = V_{múltiple} * t_{múltiple}$$

$$V_{múltiple} = 159,59 \frac{m^3}{seg} * \left(\frac{100cm}{1m} \right)^3 * 0,0000044seg$$

$$V_{múltiple} = 702,19cm^3$$

CAPÍTULO V

5. RESULTADOS OBTENIDOS

5.1 Discusión de resultados

5.1.2 Análisis de las gráficas obtenidas.

En las entradas de cada uno de los ductos se analizó el ingreso del flujo de aire dando como conclusión que el flujo resulta unidireccional. Esto se hizo tanto en el múltiple de admisión original del motor, como en el construido que tiene la misma forma, pero con diferente diámetro del ducto, así como distinto espesor de las paredes y diferente material.

Se realizó perforaciones en el ingreso a cada cilindro; para la toma de datos de velocidad cada 45° de acuerdo al giro del árbol de levas, y por último se realizó tres perforaciones en cada entrada del múltiple de admisión para tomar la diferencia de alturas de presión.

De este análisis tenemos, una gran diferencia entre el múltiple de admisión original y el construido, ya que existe una variación en el tamaño de las curvas en relación con el múltiple original del fabricado, ya que existe mayor velocidad en un conducto más grande. Esto se puede verificar en las figuras 4 y 5, que están graficadas de acuerdo a las tablas que se encuentran adjuntas en el apéndice E.

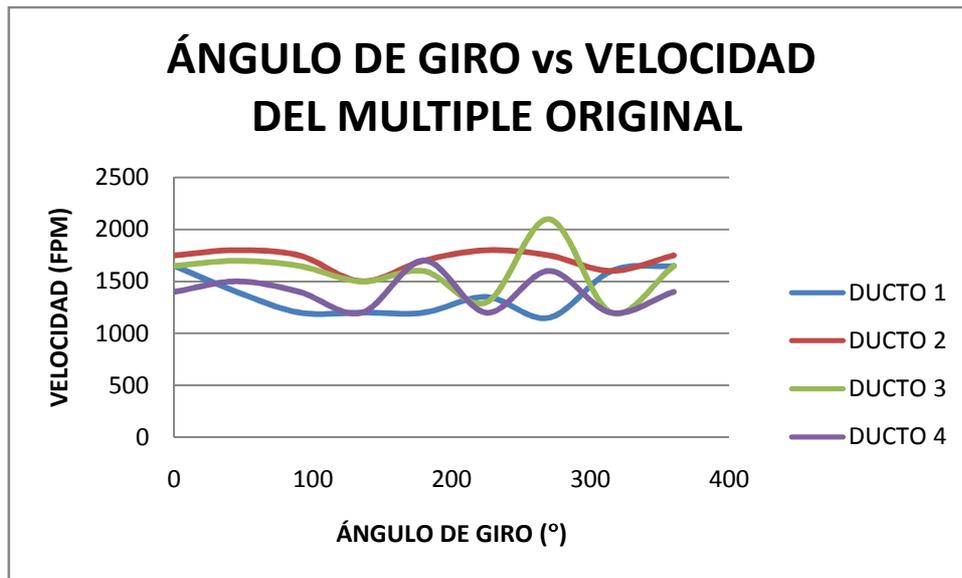


Figura 8: Componente en x del Ángulo de giro vs la velocidad del múltiple de admisión original

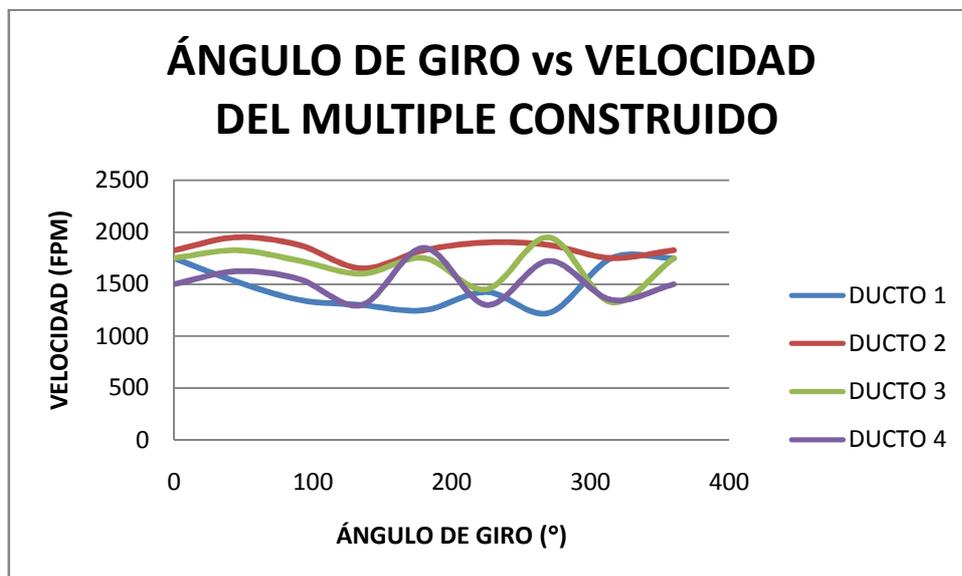


Figura 9: Componente en x del Ángulo de giro vs la velocidad del múltiple de admisión construido

Una vez realizada la toma de datos de presión con ayuda del banco de tubos, por diferencia de alturas se obtuvo los siguientes datos presentados en las siguientes tablas, y que caracterizamos en las siguientes gráficas, independientemente para cada uno de los ductos.

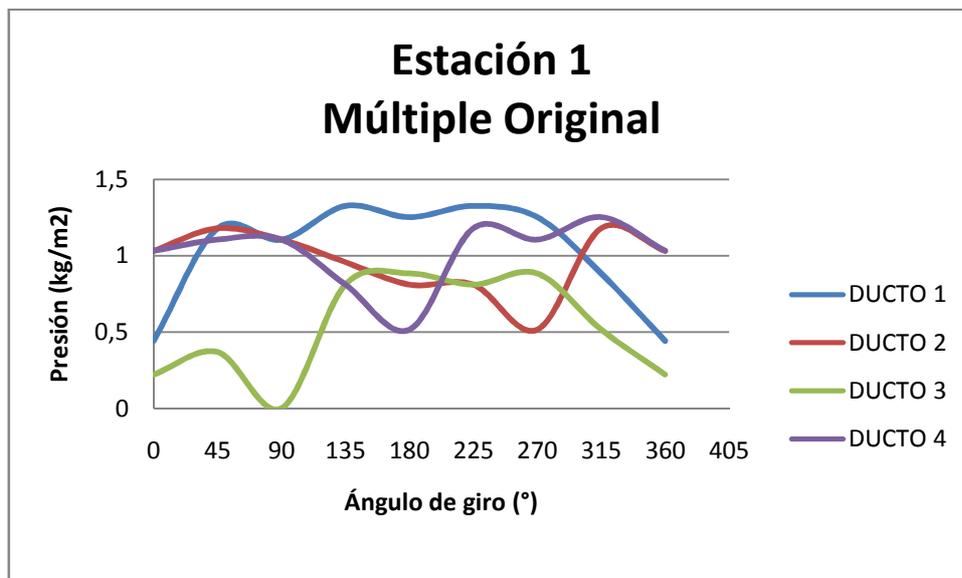


Figura 10: Componente en x del ángulo de giro vs presión del múltiple de admisión original en la entrada de la estación 1.

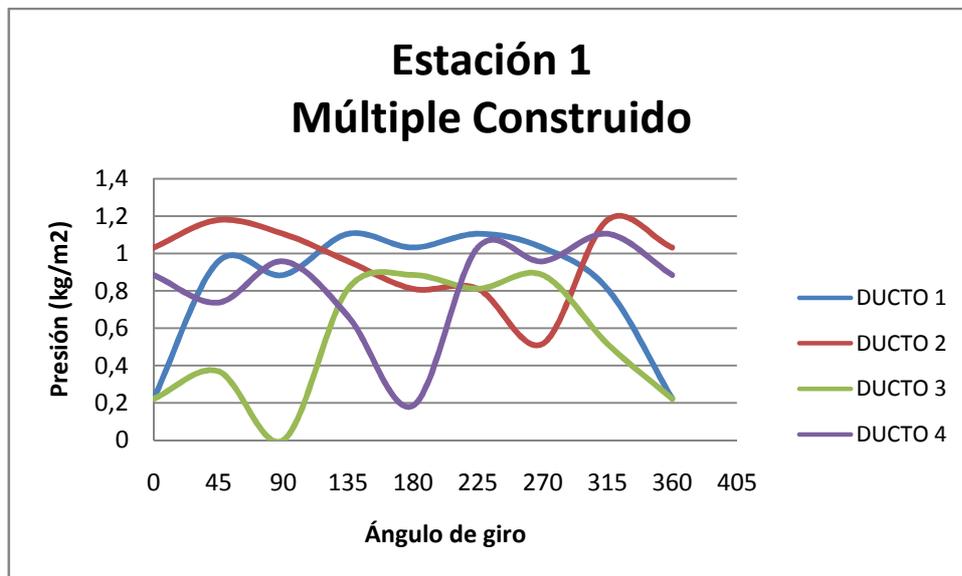


Figura 11: Componente en x del ángulo de giro vs presión del múltiple de admisión construido en la entrada de la estación 1.

Como apreciación de las gráficas se pueden decir que:

La presión con la que ingresa el aire al múltiple de admisión construido es menor con respecto a la presión del múltiple original debido a que su diámetro es mayor.

En el ducto 2 y 3 se aprecia una relación de igualdad en los datos obtenidos en los dos múltiples, ya que la garganta del múltiple se encuentra encima del ducto.

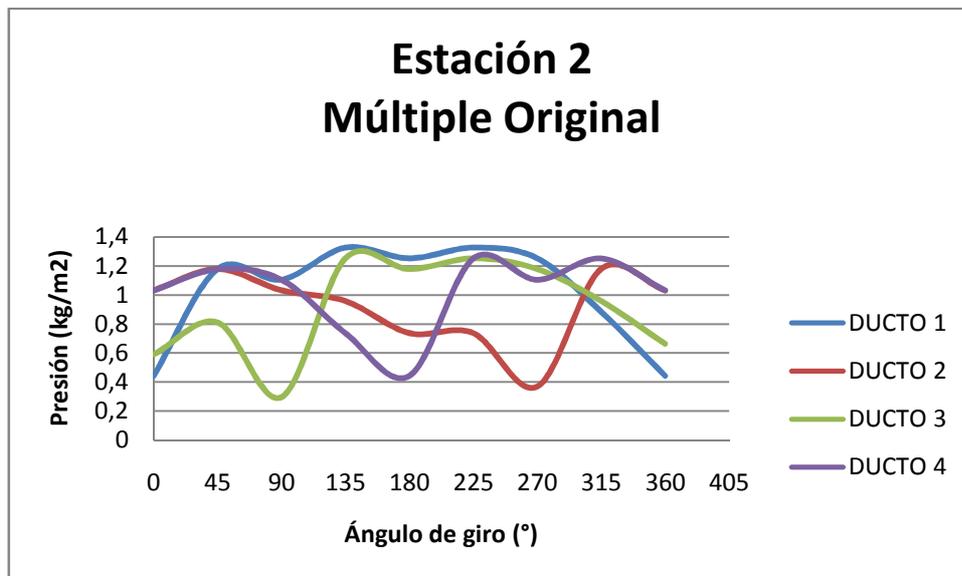


Figura 12: Componente en x del ángulo de giro vs presión del múltiple de admisión original en la entrada de la estación2.

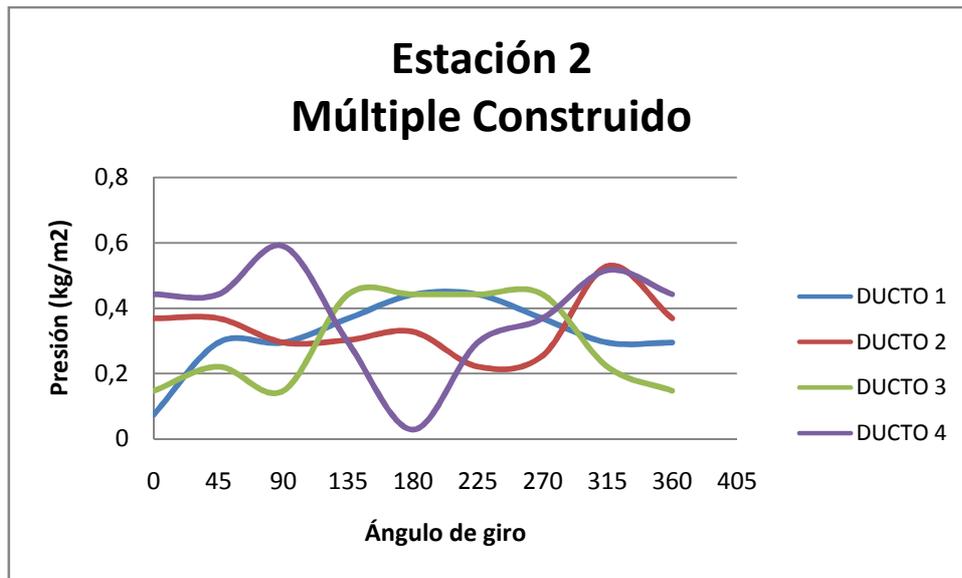


Figura 13: Componente en x del ángulo de giro vs presión del múltiple de admisión construido en la entrada de la estación 2.

En la estación 2 la presión en el múltiple de admisión construido tiende a partir desde cero, en cambio en el múltiple de admisión original se mantiene con un valor de presión mayor a cero.

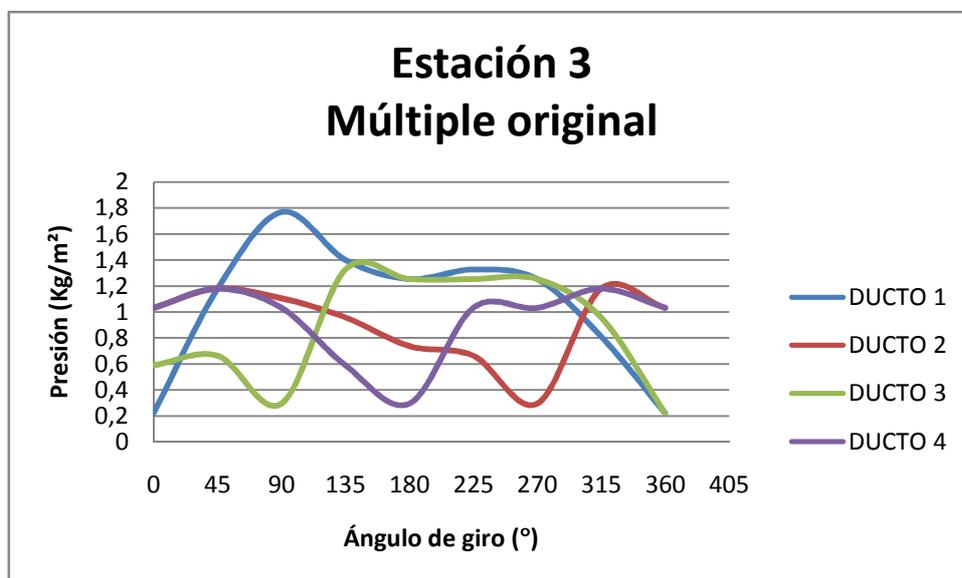


Figura 14: Componente en x del ángulo de giro vs presión del múltiple de admisión original en la entrada de la estación 3.

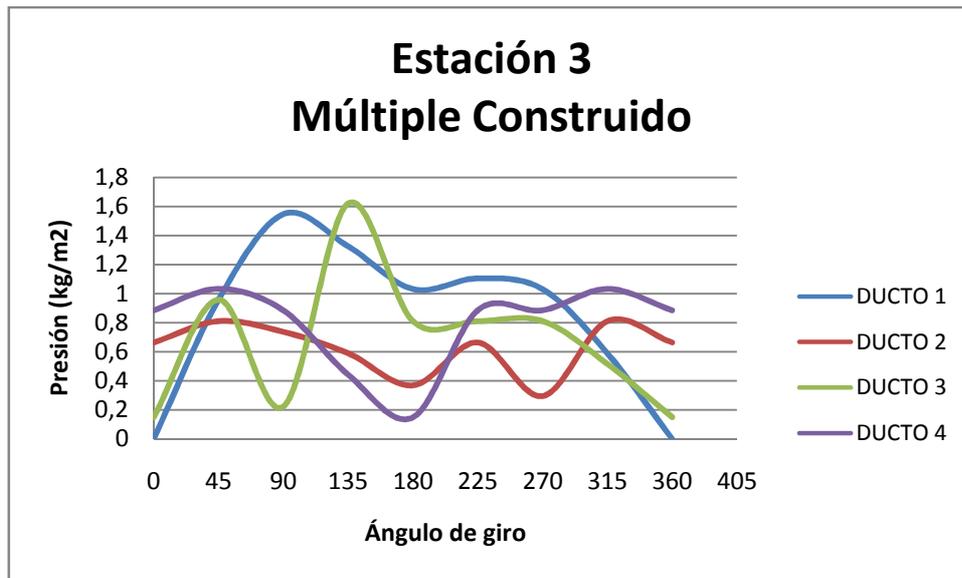


Figura 15: Componente en x del ángulo de giro vs presión del múltiple de admisión construido en la entrada de la estación 3.

En la estación 3 la presión del múltiple de admisión construido parte desde cero ya que el flujo en esta sección se estimaría que es de manera más directa con respecto a las dos estaciones analizadas anteriormente; debido a que a diferentes presiones se obtiene diferentes velocidades, por lo tanto se tiene diferente caudal.

CAPÍTULO VI

6. ANÁLISIS ECONÓMICO.

A continuación se detalla los costos directos e indirectos que implica la construcción de un múltiple de admisión, así como el costo total para su elaboración.

6.1 Máquinas y herramientas utilizadas.

Las características de las máquinas y herramientas empleadas se citan a continuación:

TABLA III Máquinas y equipos utilizados en la construcción

DESIGNACIÓN	MÁQUINAS Y EQUIPOS	ESPECIFICACIONES
M1	Esmeríl	Potencia: 2HP Velocidad: 2850rpm
M2	Amoladora	Potencia del motor: 1/3HP Velocidad: 1750rpm
M3	Taladro de pedestal	Potencia del motor: 1/2HP Gama de velocidades: (220-2120rpm) Avance vertical de la mesa: 700mm Giro de la mesa: 180°
M4	Torno	Velocidad: 3600rpm
M5	Soldadora Eléctrica	Tensión: 220V Capacidad: 360A
M6	Soplete	Potencia: 1HP

TABLA IV Herramientas y accesorios empleados en la construcción

DESIGNACION	HERRAMIENTA
H1	Flexómetros
H2	Escuadras
H3	Rayador
H4	Entenalla
H5	Calibradores
H6	Sierra de arco
H7	Limas
H8	Llaves
H9	Martillo
H10	Brocas
H11	Tijeras metálicas
H12	Alicate
H13	
H14	Otros
H15	

6.1.1 Operaciones de construcción en taller mecánico.**TABLA V Operaciones tecnológicas durante la construcción**

ELEMENTO/MATERIAL	OPERACIÓN TECNOLÓGICA	TIEMPO HORAS
Múltiple de Admisión	1. Trazado de cada ducto	0.10
	2. Corte de tubos para ductos	0.10
	3. Trazado de ducto principal	0.10
	4. Corte de tubos para el plenum	0.30
	5. Soldadura del múltiple	0.30
	6. Pulido del múltiple	0.50
	7. Taladrado de agujeros para toma de datos	0.40
	8. Roscado de agujeros	1.20
	9. Pintado	0.10
	10. Secado al ambiente	2.00
Total		5.1

6.1.2 Cursograma sinóptico de construcción.

La simbología empleada es la siguiente:

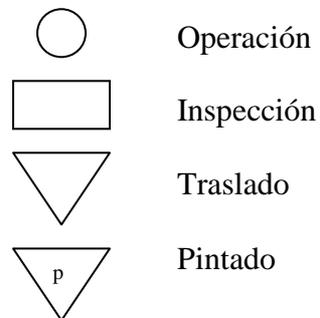


Figura 16: Simbología del Cursograma

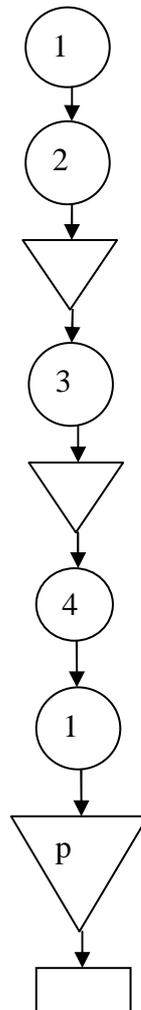


Figura 17: Cursograma sinóptico de la construcción

6.2. Montaje de partes y elementos.

Todos los tiempos empleados para el montaje se los registran a continuación:

TABLA VI Tiempos utilizados durante el montaje

Operación	Tiempo (horas)
1. Traslado de elementos al sitio de trabajo	1
2. Empotrar en cabezote en el banco de prueba	1
3. Empotrar el motor eléctrico en el banco de pruebas	0.2
4. Empotrar el flower en el banco de pruebas	0.5
5. Montaje y alineación de la banda distribución	0.3
6. Instalación de sistema de mangueras	2
7. Instalación del sistema control eléctrico	1
8. Colocación de bomba de agua banco de tubos	0.3
9. Reajuste y limpieza en general del equipo	1
Total:	13.5

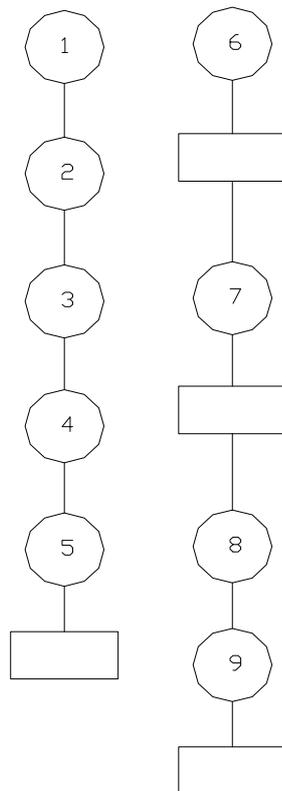


Figura 18: Cursograma sinóptico de montaje

6.3 Costos

6.3.1 Costos directos.

TABLA VII Costos de materiales

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Tubo redondo	1	10.15	10.15
Tubo cuadrado	1	12.15	12.15
Cable flexible #16 (m)	6	0.25	1.50
Switch ON-OFF 3F.30A c/enclave	1	4.19	4.19
Suelda AGA 6011 (lbs)	2	1.40	2.80
Disco de corte NORTON	2	2.80	5.60
Sierras	1	1.00	1.00
Banda de la distribución	1	12.50	12.50
Blower	1	10.00	10.00
Manguera flexible de 2"	1	12.50	12.50
Neplos de cobre	12	0.50	6.00
Tapones machos	4	0.50	2.00
Vinchas metálicas	2	0.65	1.30
Pintura ¼ (Galones)	1	18.0	18.0
Canaletas	1	1.40	1.4
Total	37	87.99	101.09

TABLA VIII. Costos de equipos y herramientas

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Soldadora	2	10.0	20.0
Compresor	1	16.0	16.0
Herramientas manuales	1	15.0	15.0
Torno	1	5.0	5.0
Total	7	46.0	56.0

TABLA IX Costos mano de obra

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Mecánico	4	1.51	6.04
Ayudante	4	1.36	5.44
Total	8	2.87	11.48

TABLA X. Costo de transporte

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Fletes al taller	4	2	8

Costo total directo es igual a la suma de los costos mencionados anteriormente.

$$\text{Costo total directo} = 101.09 + 56 + 11.48 + 8 = 176.57$$

6.3.2 Costos indirectos.

TABLA XI. Costo indirectos

DESCRIPCIÓN	PORCENTAJE
Fiscalización	4%
Seguros	3%
Gas, agua, luz, teléfono	4%
Construcciones provisionales	0%
Utilidad	8%
Ingeniero Residente	6%
Total	25%

Los costos indirectos y utilidades son igual al 25% de los costos directos.

$$\text{Costo indirecto} = 44.14$$

6.3.3 Costo total.

Costo total = Costos directos + Costos indirectos

$$\text{Costo total} = 176.57 + 44.14 = 220.71$$

CAPÍTULO VII

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones.

- El aire que ingresa al cilindro en cada instante está en relación directa con el rendimiento volumétrico; el mismo que a su vez es inversamente proporcional a la densidad del aire que está en función de la altitud.
- Los caudales que se han medido tanto en el múltiple original como en el construido serán los que ingresen al cilindro cuando se produce la apertura de las válvulas de admisión y dichos múltiples estén montados en el motor.
- Los resultados de la simulación muestran el buen acuerdo con las mediciones experimentales realizadas, indicando que el flujo de combustible ingresa de manera proporcional a cada ducto del múltiple de admisión.

7.2 Recomendaciones.

- Todas las uniones existentes en el sistema de admisión deben ser completamente herméticas, es decir no debe existir fuga o ingreso de aire, ya que esto produciría una variación en la cantidad de aire que ingresa a los ductos.
- En la construcción del múltiple de admisión, se debe tener en cuenta la longitud de entrada de aire, ya que la misma debe ser lo más corta posible; además hay que tomar en cuenta el acabado, el diámetro y su curvatura, para lograr una circulación continua del aire dentro de los ductos hasta el ingreso al cilindro.
- Para obtener mejor precisión del modelo matemático recomendaría incluir los mecanismos de transporte de energía para resolver la dinámica de fluidos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] MARTÍNEZ, H G. Manual Práctico del Automóvil. Edición MMVIII. Madrid: Rotabook, 2008 pp. 29 - 31
- [2] GIACOSA, D. Motores Endotérmicos. 3^{ra} Edición, Barcelona: Editorial Científico-Médica, 1970 pp. 371 – 373
- [3] [www.todomotores.cl/competicion/multiplede admisión](http://www.todomotores.cl/competicion/multiplede%20admisión)
- [4] <http://racing.ec/foro/index.php?topic=49227>
- [5] <http://www.thejefengine.net/wp-content/upload/ADMISION.pdf>
- [6] DÍAZ, RODRIGO F. Motores de Combustión Interna. 1^{ra} Edición, Riobamba: Editorial Pedagógica “Freire”, 1987 pp. 118
- [7] www.ece.mtv.edu/ee/faculty/burl/papers/af_ratio.pdf
- [8] PLINT, M A. Instructional Tests And Experiments On Internal Combustion Engines. England 2^{da} Edición, England: BUN-CA, 1999 pp. 32
- [9] www.modelingdieselspecificcomponents.org/pdf.
- [10] DÍAZ, RODRIGO F, Termodinámica Automotriz. 1^{ra} Edición, Riobamba: ECOPYCENTER 2010 pp 221 220
- [11] <http://www.dspace.esoch.edu.ec>

BIBLIOGRAFÍA

MARTÍNEZ, H G. Manual Práctico del Automóvil. Edición MMVIII. Madrid: Rotabook, 2008.

GIACOSA, D. Motores Endotérmicos. 3^{ra} Edición, Barcelona: Editorial Científico-Médica, 1970.

DÍAZ, RODRIGO F. Motores de Combustión Interna. 1^{ra} Edición, Riobamba: Editorial Pedagógica “Freire”, 1987.

PLINT, MA. Instructional Tests And Experiments On Internal Combustion Engines. England 2^{da} Edición, England: BUN-CA, 1999

DÍAZ, RODRIGO F, Termodinámica Automotriz. 1^{ra} Edición, Riobamba: ECOPYCENTER 2010

LINKOGRAFÍA

MÚLTIPLE DE ADMISIÓN

[www.todomotores.cl/competicion/multiplede admisión](http://www.todomotores.cl/competicion/multiplede%20admisión)

2010-11-12

FUNCIONAMIENTO DEL MÚLTIPLE DE ADMISIÓN

<http://racing.ec/foro/index.php?topic=49227>

2010-11-12

MODELACIÓN MATEMÁTICA

<http://www.raco.cat/index.php/ReportMetodosNumericos/article/viewfile/68914/1015>

2010-11-12

FUNCIONAMIENTO DE LOS MOTORES

http://www.scribd.com/doc/15932125/tipos_de_motores_funcionamiento

2011-01-06

ECUACIONES QUE GOBIERNAN EN EL COLECTOR DE ADMISIÓN

<http://www.thejefengine.net/wp-content/upload/ADMISION.pdf>

2011-01-06

DINÁMICA DE LA VELOCIDAD DEL CIGÜEÑAL Y DE LA INYECCIÓN DE

COMBUSTIBLE

<http://www.dspace.espace.edu.ec>

2011-01-06

APÉNDICES

APÉNDICE A

Fotografía del equipo para el análisis del flujo de aire en el múltiple de admisión.



APÉNDICE B

Fotografías de orificios para la toma de datos

a. Orificios para la toma de velocidades.



b. Orificios con sus respectivas mangueras para toma de datos presión.



APÉNDICE C

Fotografías del alimentador (Blower) de aire y del múltiple construido.

a. Alimentador de aire



b. Múltiple de admisión construido.



APÉNDICE D

Tabla de resumen de los resultados obtenidos en el banco de tubos

a. Tabla de datos del múltiple original.

ÁNGULO DE GIRO	ESTADO	CILINDRO 1			CILINDRO 2			CILINDRO 3			CILINDRO 4		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
0	ON 1	0.0174	0.0116	0.0087	0.0261	0.0232	0.0232	0.0406	0.0406	0.0406	0.0406	0.0406	0.0406
45	ON	0.0464	0.0435	0.0464	0.0319	0.0319	0.0261	0.0464	0.0464	0.0464	0.0435	0.0464	0.0464
90	ON 2	0.0435	0.0377	0.0696	0.0377	0.0116	0.0116	0.0435	0.0406	0.0435	0.0435	0.0435	0.0406
135	ON	0.0522	0.0493	0.0551	0.0174	0.0493	0.0522	0.0377	0.0377	0.0377	0.0319	0.029	0.0232
180	ON 4	0.0493	0.0464	0.0493	0.0522	0.0464	0.0493	0.0319	0.029	0.029	0.0203	0.0174	0.0116
225	ON	0.0522	0.0493	0.0522	0.0493	0.0493	0.0493	0.0319	0.029	0.0261	0.0464	0.0493	0.0406
270	ON 3	0.0493	0.0464	0.0493	0.0522	0.0464	0.0493	0.0203	0.0145	0.0116	0.0435	0.0435	0.0406
315	ON	0.0348	0.0319	0.0319	0.0493	0.0377	0.0377	0.0464	0.0464	0.0464	0.0493	0.0493	0.0464
360	ON 1	0.0174	0.0116	0.0087	0.0261	0.0261	0.0232	0.0406	0.0406	0.0406	0.0406	0.0406	0.0406

b. Tabla de datos del múltiple construido.

ÁNGULO DE GIRO	ESTADO	CILINDRO 1			CILINDRO 2			CILINDRO 3			CILINDRO 4		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
0	ON 1	0.0087	0.0029	0	0.0087	0.0058	0.0058	0.0261	0.0145	0.0261	0.0348	0.0174	0.0348
45	ON	0.0377	0.0116	0.0377	0.0145	0.0087	0.0377	0.0319	0.0145	0.0319	0.029	0.0174	0.0406
90	ON 2	0.0348	0.0116	0.0609	0	0.0058	0.0087	0.029	0.0116	0.029	0.0377	0.0232	0.0348
135	ON	0.0435	0.0145	0.0522	0.0319	0.0174	0.0638	0.0232	0	0.0232	0.0261	0.0116	0.0174
180	ON 4	0.0406	0.0174	0.0406	0.0348	0.0174	0.0319	0.0174	0.0029	0.0145	0.0725	0.0116	0.0058
225	ON	0.0435	0.0174	0.0435	0.0319	0.0174	0.0319	0.0174	0	0.0116	0.0406	0.0116	0.0348
270	ON 3	0.0406	0.0145	0.0406	0.0348	0.0174	0.0319	0.0087	0.0087	0.0261	0.0377	0.0145	0.0348
315	ON	0.0319	0.0116	0.0232	0.0203	0.0087	0.0203	0.0319	0.0638	0.0319	0.0435	0.0203	0.0406
360	ON 1	0.0087	0.0116	0	0.0087	0.0058	0.0058	0.0261	0.0145	0.0261	0.0348	0.0174	0.0348

APÉNDICE E

Tabla de resumen de los resultados obtenidos en el Datametric (Velocidades en FPM)

a. Tabla de datos del múltiple original.

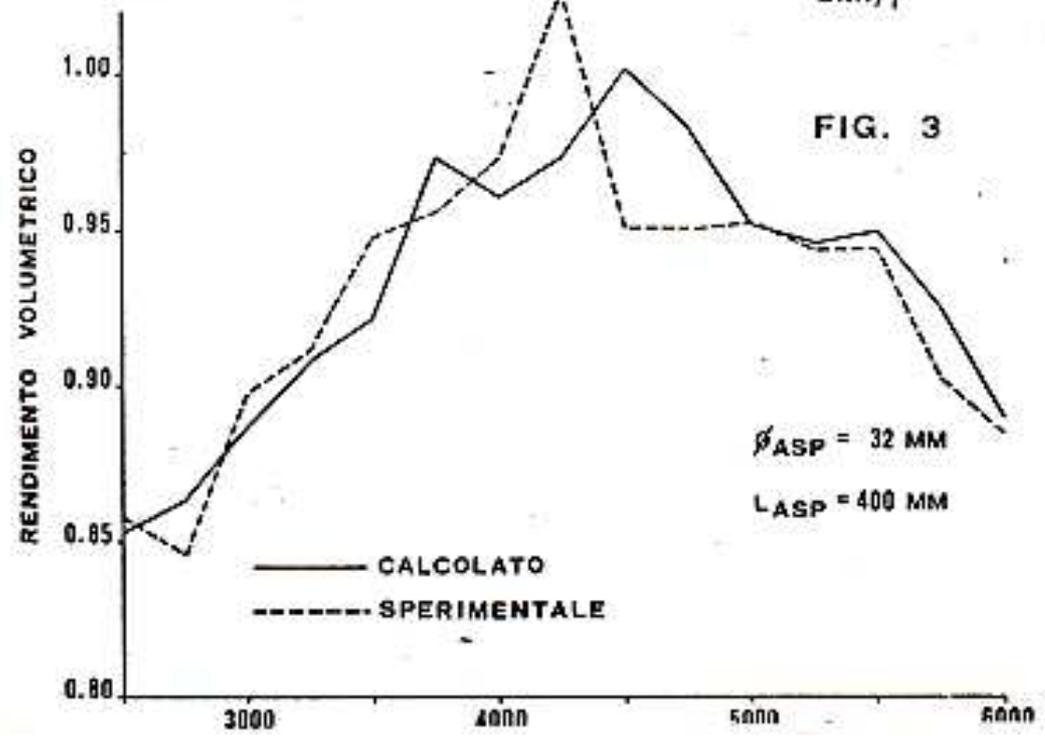
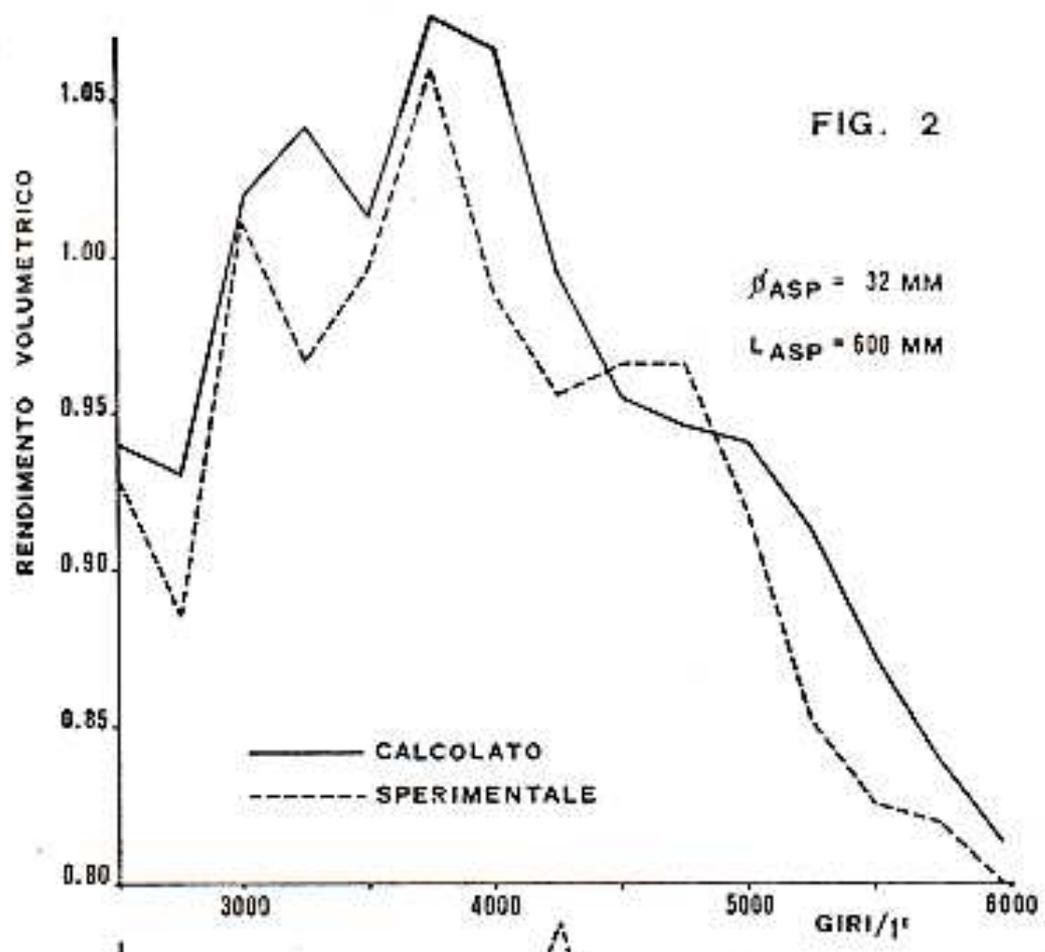
ÁNGULO DE GIRO (°)	DUCTO 1	DUCTO 2	DUCTO 3	DUCTO 4
0	1650	1750	1650	1400
45	1400	1800	1700	1500
90	1200	1750	1650	1400
135	1200	1500	1500	1200
180	1200	1700	1600	1700
225	1350	1800	1300	1200
270	1150	1750	2100	1600
315	1600	1600	1200	1200
360	1650	1750	1650	1400

b. Tabla de datos del múltiple construido.

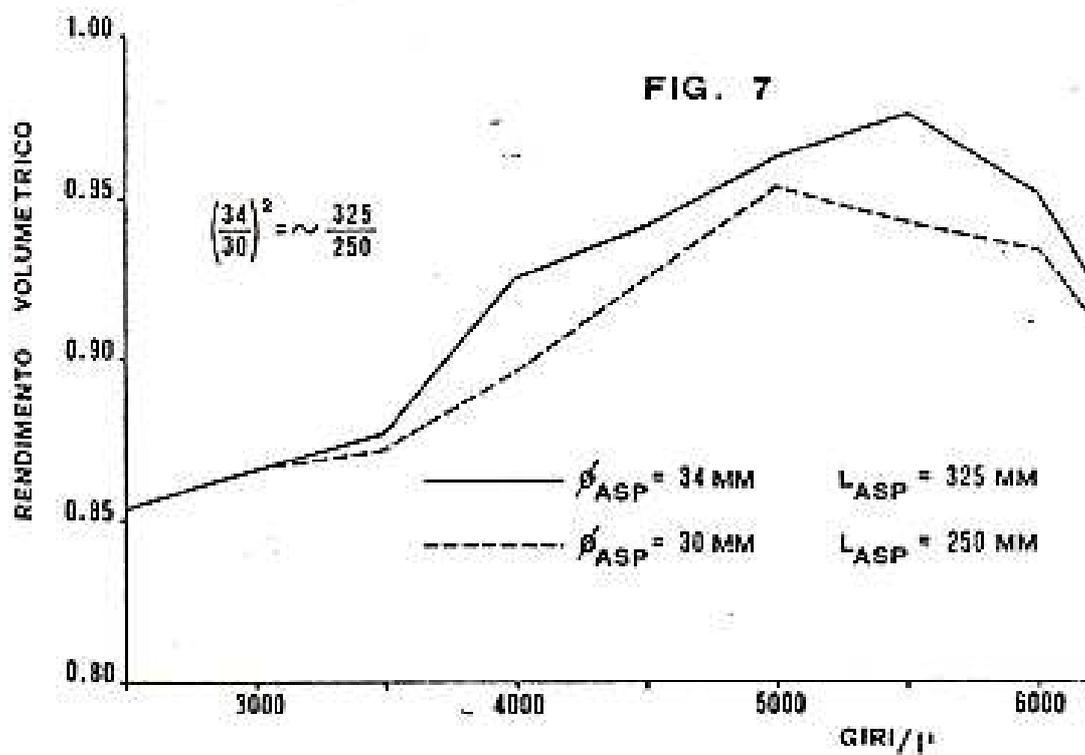
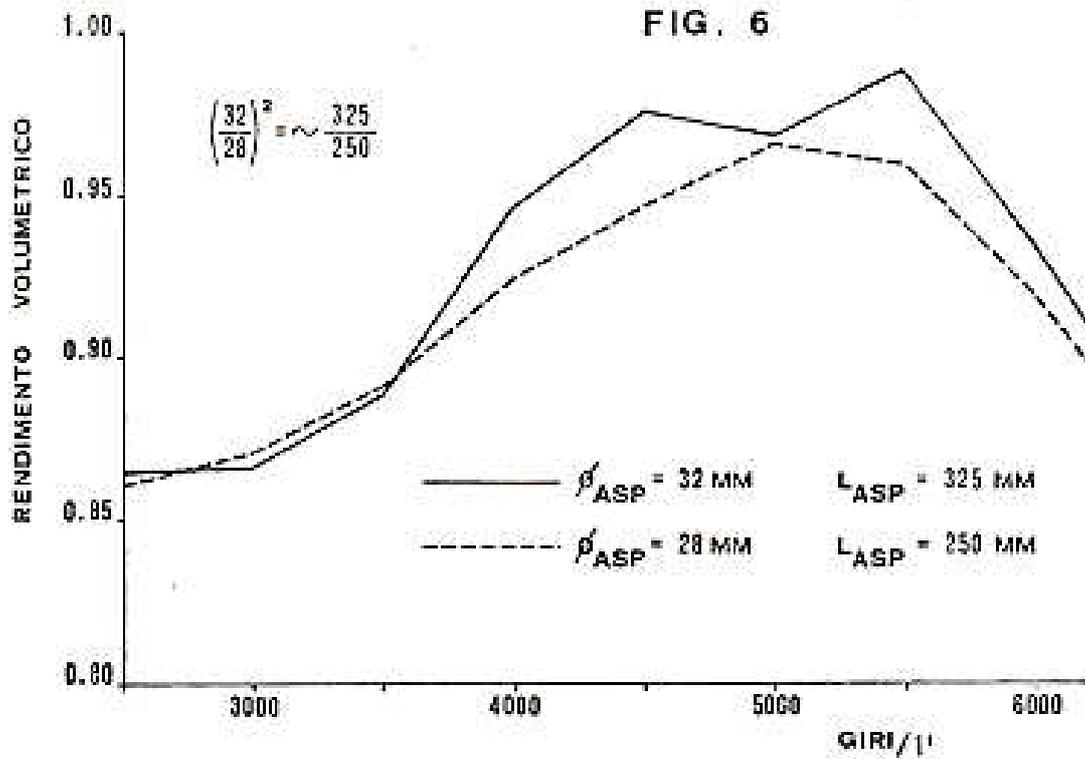
ÁNGULO DE GIRO (°)	DUCTO 1	DUCTO 2	DUCTO 3	DUCTO 4
0	1750	1825	1750	1500
45	1525	1950	1825	1625
90	1350	1875	1725	1550
135	1300	1650	1600	1300
180	1250	1825	1750	1850
225	1425	1900	1450	1300
270	1225	1875	1950	1725
315	1750	1750	1325	1350
360	1750	1825	1750	1500

APÉNDICE F

ANDAMENTO DEL RENDIMENTO VOLUMETRICO IN FUNZIONE DEI GIRI



APÉNDICE G



APÉNDICE H

Figuras del trabajo analizado (Damazo, N, Jimenez) que nos ayudó para entender los reflujos existentes en el múltiple de admisión

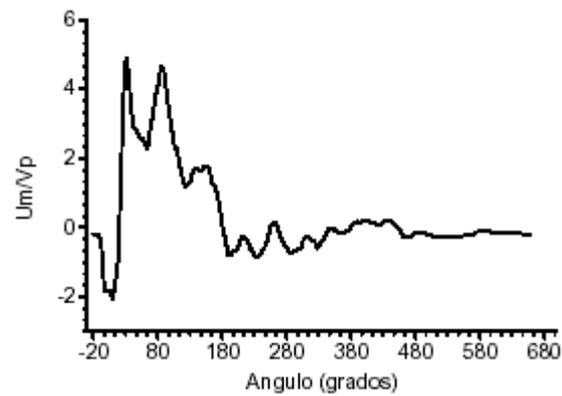


Fig. 4: Componente en x de la velocidad en el punto (7.2, 15), con la derivación A operando.

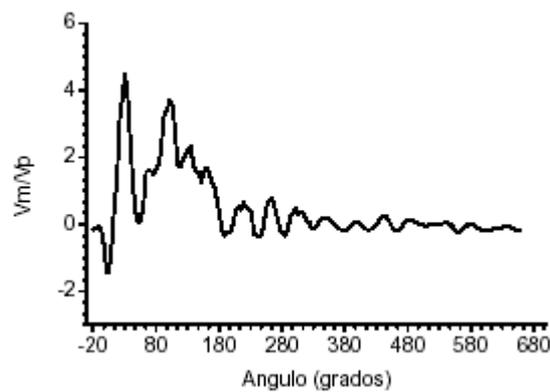


Fig. 5: Componente en y de la velocidad en el punto (7.2, 15), con la derivación A operando.

ANEXOS