



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

“DESARROLLO DE UN MÚLTIPLE DE ADMISIÓN IMPLEMENTADO A UN VEHÍCULO DE COMPETENCIA TIPO FÓRMULA SAE PARA LA ESPOCH”

**ELIZALDE SARITAMA GABRIEL MARCELO
LOAYZA CAMACHO KLEBER JAVIER**

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

**RIOBAMBA – ECUADOR
2016**

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

2016-11-10

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

**ELIZALDE SARITAMA GABRIEL MARCELO
LOAYZA CAMACHO KLEBER JAVIER**

Titulada:

**“DESARROLLO DE UN MÚLTIPLE DE ADMISIÓN IMPLEMENTADO A UN
VEHÍCULO DE COMPETENCIA TIPO FÓRMULA SAE PARA LA ESPOCH”**

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

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Ing. Paúl Montúfar
DOCENTE DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Bolívar Cuaical
DIRECTOR

Ing. Edwin Pozo
ASESOR

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: ELIZALDE SARITAMA GABRIEL MARCELO

TÍTULO DE LA TESIS: **“DESARROLLO DE UN MÚLTIPLE DE ADMISIÓN IMPLEMENTADO A UN VEHÍCULO DE COMPETENCIA TIPO FÓRMULA SAE PARA LA ESPOCH”**

Fecha de Examinación: 2016-11-10

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Paúl Montúfar PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Bolívar Cuaical DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Edwin Pozo ASESOR DE TESIS			

* 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. Paúl Montúfar
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: LOAYZA CAMACHO KLEBER JAVIER

TÍTULO DE LA TESIS: **“DESARROLLO DE UN MÚLTIPLE DE ADMISIÓN IMPLEMENTADO A UN VEHÍCULO DE COMPETENCIA TIPO FÓRMULA SAE PARA LA ESPOCH”**

Fecha de Examinación: 2016-11-10

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Paúl Montúfar PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Bolívar Cuaical DIRECTOR			
Ing. Edwin Pozo 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. Paúl Montúfar
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presentamos, 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 teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Elizalde Saritama Gabriel Marcelo

Loayza Camacho Kleber Javier

DECLARACION DE AUTENTICIDAD

Nosotros, Elizalde Saritama Gabriel Marcelo y Loayza Camacho Kleber Javier, declaramos que el presente Trabajo de Titulación es de nuestra 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 autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación.

Elizalde Saritama Gabriel Marcelo
Cédula de Identidad: 070577204-4

Loayza Camacho Kleber Javier
Cédula de Identidad: 070501661-6

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi madre y hermanos, por todo el esfuerzo que han realizado durante estos años para poder hacer de mí un profesional, dándome ejemplos dignos de superación y entrega, porque en gran parte gracias a ellos, hoy puedo ver alcanzada mi meta.

A mis primos, tíos y padrinos ya que gracias a su apoyo incondicional ha sido muy importante para poder cumplir muchas de mis metas durante el transcurso de mi vida.

A mis amigos, ya que han sido las personas con quienes he compartido experiencias y buenos momentos durante estos 6 años.

Gracias por haber fomentado en mí el deseo de superación y el anhelo de triunfo en la vida. Me faltarían palabras para agradecerles su apoyo, su comprensión y sus consejos en los momentos difíciles.

Elizalde Saritama Gabriel Marcelo

Quiero dedicar este trabajo de titulación a toda mi querida familia, quienes durante todo este trayecto de vida estudiantil me brindaron su apoyo incondicional aun cuando las situaciones se prestaron complicadas.

A mis queridos padres quienes con su espíritu, coraje, humildad y buenos consejos supieron guiarme y darme alas para emprender este vuelo rumbo al conocimiento.

A mi querido hermano en quien he encontrado más que un hermano un amigo y un apoyo incondicional durante toda mi vida.

A mi familia en general, por ustedes y para ustedes cada éxito alcanzado y por alcanzar durante mi vida.

Loayza Camacho Kleber Javier

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer primeramente a mi DIOS, ya que me ha dado muchas bendiciones para los buenos momentos de mi vida, y fortaleza para salir adelante con mis malos momentos.

Quiero agradecer a mi madre Rosita y mis hermanos Gianfranco y Sneyder, las personas por quienes me mantengo en la lucha de alcanzar un futuro mejor, gracias a su apoyo y confianza estoy muy cerca de alcanzar una meta más en mi vida.

A mis primos Jacob y Sarahi, y a mis padrinos Mery y Daniel ya que han sido un apoyo inmenso durante el transcurso de mi vida, ya que siempre he contado con su generosidad, amabilidad y comprensión. Así mismo agradezco a mis tíos y primos, quienes con sus consejos y motivación me han ayudado a formarme como persona, además de estar conmigo en parte de los mejores momentos de mi vida.

A todos mis amigos y amigas con quienes he compartido grandes momentos durante el transcurso de mi carrera.

Elizalde Saritama Gabriel Marcelo

Sin duda alguna quiero agradecer en primer lugar a Dios, por brindarme la oportunidad de estudiar así como también todas las aptitudes necesarias para poder llegar a culminar esta etapa de mi vida.

A todos mis familiares es especial a mis padres Grey y Miguel y a mi hermano Miguel Angel por todo lo incuantificable que me han sabido brindar durante toda esta etapa.

A todos esas amigos y personas que aunque no estén nombradas formaron parte de todo este inolvidable lapso de tiempo, agradecerles de todo corazón es muy poco pero sepan que ocuparan siempre un lugar en mi memoria y que espero algún día poder recompensar de alguna manera parte de todo lo que han hecho por mí.

Gracias

Loayza Camacho Kleber Javier

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 <i>Objetivo General</i>	3
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	3
2. MARCO CONCEPTUAL Y TEÓRICO	
2.1 Fórmula SAE	4
2.2 Admisión	5
2.3 Múltiple de admisión	5
2.4 Flujo en conducto de admisión.....	6
2.4.1 <i>Origen y naturaleza del flujo</i>	6
2.5 Método de recarga de un MCI con ondas de inducción.	7
2.6 Velocidad del fluido	8
2.7 Número de Reynolds	9
2.8 Flujo compresible	10
2.9 Número de Mach	11
2.10 Múltiple de Admisión FÓRMULA SAE.....	12
2.10.1 <i>(Reglamento FSAE) Ubicación del Sistema de Admisión de Aire</i>	12
2.10.1.1 <i>Múltiple de Admisión (fijación y métodos de conexión)</i>	13
2.10.2 <i>Difusor de aire</i>	13
2.10.2.1 <i>Tobera tipo Venturi</i>	14
2.10.2.2 <i>(Reglamento FSAE) Restrictor del Sistema de Admisión</i>	14
2.10.2.3 <i>Consideraciones para el cálculo</i>	15
2.10.3 <i>Pleno</i>	18
2.10.3.1 <i>Consideraciones para el cálculo</i>	19
2.10.4 <i>Conductos de Admisión (“Runners”)</i>	20
2.10.4.1 <i>Consideraciones para el cálculo</i>	21
2.10.5 <i>Cuerpo de aceleración</i>	21
2.10.5.1 <i>(Reglamento FSAE) Carburador/ cuerpo de aceleración</i>	22
2.10.5.2 <i>Consideraciones para el cálculo</i>	22
2.11 Método de elementos finitos.....	23
2.11.1 <i>(CFX – Fluent)</i>	23
3. CÁLCULO Y DISEÑO DEL COLECTOR DE ADMISIÓN	
3.1 Requerimientos para el diseño del múltiple de admisión	24
3.1.1 <i>Requerimientos por reglamentación</i>	24
3.1.2 <i>Requerimientos de “performance”</i>	25
3.2 Datos iniciales.....	26
3.2.1 <i>Parámetros del motor</i>	26
3.3 Cálculo del cuerpo de aceleración	27
3.3.1 <i>Análisis de flujo en el cuerpo de aceleración de acuerdo a la apertura de la aleta</i>	28
3.4 Cálculo y diseño del restrictor	30
3.4.1 <i>Restrictor Tipo Venturi</i>	30
3.4.1.1 <i>Selección de los ángulos y diámetro de salida para dimensionamiento del restrictor</i>	31
3.4.1.2 <i>Flujo másico a través del restrictor</i>	33
3.5 Cálculo y diseño de conductos de admisión o runners	38
3.6 Cálculo y diseño del pleno.....	40

3.6.1	<i>Selección del volumen óptimo.</i>	43
3.6.2	<i>Geometría</i>	47

4. CONSTRUCCIÓN DEL MÚLTIPLE DE ADMISIÓN

4.1	Selección de materiales	52
4.2	Tendencias de materiales	52
4.3	Construcción del restrictor	53
4.3.1	<i>Selección del material</i>	53
4.3.1.1	<i>Proceso.</i>	54
4.4	Construcción del pleno	55
4.4.1	<i>Selección del material</i>	56
4.4.2	<i>Proceso.</i>	56
4.4.2.1	<i>Construcción del molde.</i>	57
4.4.2.2	<i>Construcción del pleno</i>	61
4.4.2.3	<i>Adaptación de sensores</i>	65
4.5	Construcción de los runners	65
4.5.1	<i>Selección del material</i>	65
4.5.2	<i>Proceso.</i>	66
4.6	Adaptación del cuerpo de aceleración	68
4.7	Ensamblaje	70
4.8	Montaje	70

5. COSTOS

5.1	Costos directos	72
5.1.1	<i>Costos de materiales.</i>	72
5.1.2	<i>Costo por hora utilización de equipos.</i>	73
5.1.3	<i>Costo mano de obra.</i>	74
5.1.4	<i>Costos por transporte.</i>	74
5.1.5	<i>Costos indirectos</i>	74
5.1.6	<i>Costos totales.</i>	75

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1	Conclusiones	76
6.2	Recomendaciones	77

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

PLANOS

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de Número de Mach	11
Tabla 2. Especificaciones motor Yamaha FZR 400.....	27
Tabla 3. Variación de presión en el cuerpo de aceleración	29
Tabla 4. Caída de presión según ángulos de convergencia - divergencia.	32
Tabla 5. Variación de velocidad de salida (entrada - salida).....	33
Tabla 6. Datos obtenidos en la salida para distintos volúmenes del pleno.	44
Tabla 7. Datos y valores calculados de revoluciones y velocidades de aire en el pleno.	46
Tabla 8. Valoración de materiales para el Restrictor.	53
Tabla 9. Propiedades TEFLON	54
Tabla 10. Valoración de materiales para el pleno.	56
Tabla 11. Valoración de materiales para el Pleno.	56
Tabla 12. Valoración de materiales para los Runners.	66
Tabla 13. Propiedades del Acero Estructural	66
Tabla 14. Costo de materiales.	72
Tabla 15. Costos por hora en utilización de equipos.....	73
Tabla 16. Costo de mano de Obra	74
Tabla 17. Costos por transporte.....	74
Tabla 18. Total costos directos.....	74
Tabla 19. Costos Indirectos	74
Tabla 20. Costos totales.....	75

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Equipos participantes año 2012	4
Figura 2. Gasto instantáneo en válvulas: (a) admisión (sentido positivo entrante al cilindro); (b) escape (sentido positivo saliente del cilindro).	6
Figura 3. Perfil de velocidad de flujo en la región de entrada.....	9
Figura 4. Efecto de número de Mach sobre las variaciones de las propiedades del flujo cuando cambia el área del conducto	12
Figura 5. Partes del múltiple de admisión FSAE	12
Figura 6. Límite de los componentes.	13
Figura 7. Diferencia entre difusor y tobera	14
Figura 8. Tobera tipo Venturi.....	14
Figura 9. Ubicación del restrictor (motor de aspiración natural).	15
Figura 10. Dimensiones principales de una tobera Venturi	15
Figura 11. Diferentes disposiciones de los múltiples de admisión (todos cumplen con la reglamentación).	25
Figura 12. Estudios y análisis realizados en distintos software con la finalidad de probar los rendimientos de los diseños.....	26
Figura 13. Variación de Presión en el Cuerpo de Aceleración	28
Figura 14. Comportamiento de la Velocidad del Aire en el Cuerpo de Aceleración	29
Figura 15. Comportamiento del Flujo de Aire en el Cuerpo de Aceleración.....	30
Figura 16. Dimensiones del Tubo de Venturi	31
Figura 17. Análisis de presión en CFX del restrictor (Convergencia 21 - Divergencia 5)	32
Figura 18. Análisis de velocidad en el restrictor	33
Figura 19. Dimensiones del restrictor	33
Figura 20. Densidad de acuerdo al número de Mach	35
Figura 21. Orden de armónicos en conductos de admisión.....	38
Figura 22. Runners	40
Figura 23. (a) Torque de un motor original a carga completa; (b) Comparación de la curva de torque entre un motor con la configuración original y una configuración con restricción en la entrada.....	40
Figura 24. Análisis realizado en CFX con entrada de aire a 30 m/s, zonas de presión en distintas salidas.	41
Figura 25. Comparación velocidad de aire en las distintas salidas (una a la vez), varía entre 44,8193 a 45,2201 m/s.	42
Figura 26. Comparación de la velocidad de salida (todas al mismo tiempo), varía entre 11,26 y 11,34 m/s.	42
Figura 27. Torque del motor a plena carga con distintas medidas de volumen del pleno equipado con restrictor.	43
Figura 28. Análisis de cada uno de los volúmenes en CFX.....	44
Figura 29. Velocidad de salida vs Volumen del pleno.....	44

Figura 30. Caída de presión vs Volumen del pleno	45
Figura 31. Presión total vs Volumen del pleno	46
Figura 32. Velocidad de salida vs R.P.M de cada volumen del pleno	47
Figura 33. Caída de presión vs R.P.M. de cada volumen del pleno.....	47
Figura 34. Diseños tentativos para el pleno, con volúmenes similares.	48
Figura 35. Resultados del análisis del diseño 1.....	48
Figura 36. Resultados del análisis del diseño 3.....	49
Figura 37. Diseño	49
Figura 38. Diseño final.....	50
Figura 39. Diseño externo final del pleno superior (i), inferior (d).....	50
Figura 40. Análisis del conjunto completo.....	51
Figura 41. Planos restrictor	54
Figura 42. Taladrado con broca de 3/4.....	54
Figura 43. Desbastado y acabado interno del restrictor.	55
Figura 44. Desbastado y acabado exterior del restrictor.	55
Figura 45. Acabado y pintado del restrictor	55
Figura 46. Croquis frontal y lateral	57
Figura 47. Plantillas de la vista frontal y lateral del pleno.	57
Figura 48. Trazos del perfil lateral en el tablón de madera.....	58
Figura 49. Cortado y lijado de las 6 piezas con el perfil lateral del pleno	58
Figura 50. Pegado de los perfiles laterales.	58
Figura 51. Trazado y cortado del croquis frontal	59
Figura 52. Pulido de las superficies.....	59
Figura 53. Corte del molde en dos partes.....	59
Figura 54. Placas de unión del pleno superior e inferior.....	60
Figura 55. Agujeros de posicionamiento de la salida a los runners.	60
Figura 56. Molde del pleno acabado	60
Figura 57. Moldes con el desmoldante y la cera aplicada en la superficie	61
Figura 58. Capa de Yelco colocada en proceso de secado.	61
Figura 59. Preparación de la resina (i), Cortado de la fibra de vidrio (d)	62
Figura 60. Capas de fibra de vidrio en el molde inferior.	62
Figura 61. Capas de fibra de vidrio aplicadas a la parte superior.	62
Figura 62. Desprendimiento del molde y pulido de superficies.....	63
Figura 63. Superficies Pulidas.....	63
Figura 64. Taladrado de agujeros para runners.	63
Figura 65. Fusión de tubos para runners y parte inferior del pleno.....	64
Figura 66. Pleno pintado	64
Figura 67. Posición de: sensor IAT (i); toma de vacío para MAP (d)	65
Figura 68. Placas base de los runners.....	67
Figura 69. Recorte de 4 piezas de tubo 1 1/4 para la base de los runners.	67
Figura 70. Posicionamiento final de los runners.	68
Figura 71. Corte de las mangueras.	68
Figura 72. Carburador de 30mm.	69
Figura 73. Acople en el sensor TP (i), Acople para unión con el restrictor (d). ...	69

Figura 74. Cuerpo de aceleración con TPS y resortes adaptados.....	69
Figura 75. Múltiple de Admisión con todas sus partes, desmontado.....	70
Figura 76. Puntos de fijación del multiple en el Chasis.	71
Figura 77. Multiple con acoples del pleno y el restrictor montados.	71

LISTA DE SIMBOLOS

V_g	Velocidad del aire en la VA	m/s
V_m	Velocidad media del pistón	m/s
A_p	Área del pistón	m ²
A_v	Área de la válvula	m ²
s	Carrera del pistón	m
$RPM_{T_{max}}$	Revoluciones por minuto del motor a Torque Máximo	rpm
A_1	Área en el Punto A	m ²
A_2	Área en el Punto B	m ²
V_1	Velocidad en el Punto A	m/s
V_2	Velocidad en el Punto B	m/s
m	Flujo másico	Kg/s
A	Área de la sección transversal en la restricción	m ²
P_t	Presión Absoluta	Pa
T_t	Temperatura Total	K
γ	Relación de calor Especifico	Ctte=1.4
R	Constante del aire	Ctte = 0,286 KJ/kg-K
M	Numero de Mach	Adimensional
V_f	Velocidad del Fluido	m/s
a	Velocidad del sonido	m/s
f	Frecuencia de Resonancia Resonador Helmholtz	Hz
c	Velocidad del sonido en el aire	m/s
A_c	Área de la sección transversal del conducto de admisión	m ²
L_c	Longitud del conducto de admisión	m
V_p	Volumen de resonancia	m ³
\emptyset_c	Diámetro runners	plg
V_h	Cilindrada del motor	litros
VE	Eficiencia volumétrica	Adimensional
\emptyset	Diámetro cuerpo aceleración	m
i	Numero de cilindros	Adimensional
$RPM_{P_{max}}$	Revoluciones por minuto del motor a Potencia Máxima	rpm
b	Diámetro del pistón	in
ρ_e	Densidad del aire en la entrada	Kg/m ³
ρ_r	Densidad del aire en la restricción	Kg/m ³
$\%C$	Cambio de densidad con relación al número de mach	Adimensional
P_e	Presión del aire en la entrada	Pa
P_r	Presión en el restrictor	Pa
V_e	Velocidad en la entrada	m/s
V_r	Velocidad en la restricción	m/s
Q_{max}	Caudal máximo	m ³ /s

LISTA DE ABREVIACIONES

SAE	Sociedad de Ingenieros Automotrices
SA	Sistema de admisión
MA	múltiple de admisión
MCI	motor de combustión interna
PMI	punto muerto inferior
PMS	punto muerto superior
VA	válvula de admisión
TPS	Sensor de Posición de Mariposa de Aceleración
RPM	revoluciones por minuto
De:	Diámetro de entrada (en este caso Diámetro de la Aleta de aceleración)
Ds:	Diámetro de salida (Generalmente similar al Diámetro de Entrada)
D:	Diámetro del estrangulamiento o garganta
Ae:	Ángulo de entrada
As:	Ángulo de salida

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A

Reglamento FSAE 2015 (Sistema de Admisión)

RESUMEN

El presente trabajo de titulación detalla el diseño y construcción de un Múltiple de Admisión para un vehículo de Competencia de la Formula SAE, siguiendo las normativas y reglamentos que la misma estipula. Se plantea el diseño y construcción de cada elemento en base a análisis de resultados obtenidos mediante métodos de elementos finitos. Se realizó análisis de presión, velocidad, densidad y turbulencia del fluido que circula por el conducto de admisión en solvers CFD, utilizando un mallado de buena calidad, con el fin de determinar el diseño más óptimo para cada elemento, el cual contrarrestará las limitaciones de torque y potencia que la restricción provoca. Los análisis considerados más importantes son: el restrictor, donde se trata de reducir la caída de presión, y por otra parte el pleno, donde su geometría y dimensiones serán muy importantes para conseguir la mayor velocidad de ingreso de fluido al mismo, así como la menor caída de presión para el volumen determinado. Los diseños del cuerpo de aceleración, así como de los conductos de admisión, se realizan en base a cálculos, procurando a su vez que los mismos puedan alcanzar un rendimiento acorde a los otros elementos. Como resultado se obtiene un múltiple de admisión con un flujo másico de 0,044 kg/s y un rendimiento volumétrico del 89%, valores que demuestran que se logra contrarrestar las limitaciones producidas por la restricción, además de resultar muy factible su construcción, ya que se utiliza materiales de nuestro mercado, además de su bajo costo. Al final se tiene un múltiple de admisión, el cual posee una buena eficiencia volumétrica y rendimiento, además de cumplir con los requerimientos necesarios para esa competencia.

PALABRAS CLAVES: <SOCIEDAD DE INGENIEROS AUTOMOTRICES (SAE)>, <GEOMETRÍA Y DIMENSIONES>, <DINAMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL (CFD)>. <MÚLTIPLE DE ADMISIÓN>, <EFICIENCIA VOLUMÉTRICA>, < RESTRICTOR>, <RESONADOR HELMHOLTZ>, <FLUJO MÁSIICO>.

ABSTRACT

The research describes the design and making of an intake manifold for a Formula SAE race car based on its own policies and regulations. We present the design and making of each element based on analysis of results obtained using Finite Element Method. We worked on analysis of pressure, velocity, density, and fluid's turbulence circulating by the intake pipe in solvers CFD, using a quality mesh in order to determinate the best design for each element which will work of torque's limitations, and will maximize caused restrictions. The most important analysis is: restrictor analysis, where we try to reduce pressure drop, and "Pleno analysis", where its geometry and dimensions will be really important to get more velocity of its entrance of fluid, and decrease of pressure for determinate size. The design of the body of acceleration, and admission pipes, we do it based on calculations, trying them can achieve enough efficiency according to the elements. As a result we got a multiple of admission of mass flow of 0,044kg/s, and an volumetric efficiency of 89%, standards that shows unwanted limitations, produced by the restrictions, besides its construction is very possible, because we are using native materials, and it is really cheap. Finally we got multiple of admissions, with a volumetric efficiency, and performance, we fulfill all requirement for this race.

KEY WORDS: <SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS (SAE)>, <GEOMETRY AND DIMENSSIONS>, <COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)>, <MULTIPLE OF ADMISSIONS>, <VOLUMETRIC EFFICIENCY>, <RESTRICTOR>, <RESONATOR HELMHOLTZ>, <MASS FLOW>.

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

“La Formula SAE nació en Michigan, Estados Unidos, siguiendo las directrices marcadas por la Society of Automotive Engineers, es una competición entre estudiantes de universidades de todo el mundo que diseñan, construyen y compiten con un monoplaza promoviendo la excelencia en ingeniería a través de sus conocimientos” (International, 2014).

Esta industria se ve beneficiada por el aporte a la ingeniería y escogimiento de profesionales, que se obtiene gracias a la Formula Student en un tiempo en que las carreras técnicas universitarias tienen dificultades para cubrir plazas.

En esta prestigiosa competición participan las mejores universidades de países como EEUU, Alemania, Italia, Brasil, Japón, entre otros; siendo la Universidad Politécnica del Ejército y la Universidad Politécnica Salesiana representantes de Ecuador en la Fórmula SAE.

Todas estas universidades utilizan la misma normativa base original de la Formula SAE y llegan a albergar hasta 120 equipos y más de 2.000 estudiantes según la Fórmula Student, 2013. Los resultados de las competiciones son recogidos y puntúan en el ranking mundial. (International, 2014)

Esto ha hecho que nuestra Politécnica ESPOCH conjuntamente con la Carrera de Ingeniería Automotriz se enfoque a la construcción de un prototipo Formula SAE para que estudiantes en un futuro lleguen a ser partícipes de esta prestigiosa competición empleando recursos y medios disponibles de nuestro país, así como también recursos del extranjero ayudando de esta manera a futuras generaciones a tener una detallada información y un mejor conocimiento.

1.2 Justificación

La necesidad de la Escuela Superior Politécnica Del Chimborazo en conjunto con la Carrera de Ingeniería Automotriz, de vincularse e integrarse en actividades de nivel internacional, y que de esta manera tanto los estudiantes como la institución logren tanto compartir como demostrar los conocimientos adquiridos durante su vida estudiantil, se decide apoyar la iniciativa de desarrollar un vehículo de competencia para la Fórmula Student, organizado por la FIA, a través de la participación directa de los estudiantes de la institución educativa a través de la Carrera de Ingeniería Automotriz, bajo la tutoría de los respectivos docentes.

De esta manera la iniciativa se está volviendo realidad gracias varias propuestas tecnológicas, que han dado como resultado el desarrollo de un subsistema del vehículo, luego de un extenso estudio para lograr determinar parámetros óptimos tanto de diseño, como de construcción y de funcionamiento.

Mediante la presente propuesta tecnológica se busca aportar con el desarrollo de un subsistema que es muy importante dentro del funcionamiento y rendimiento global del vehículo tipo Fórmula SAE, específicamente en su motor, como lo es el múltiple de admisión.

Tanto el estudio del diseño como de la construcción del mismo son importantes por lo que se buscará a través de la información recolectada y los estudios realizados determinar los parámetros óptimos que permitan obtener el diseño final del múltiple de Admisión que permita al motor de combustión interna aspirar la mayor cantidad de aire posible direccionándolo hacia los cilindros de la manera más laminar posible minimizando las pérdidas por turbulencia y rozamiento.

En general maximizando el rendimiento en la admisión, todo esto con la ayuda de software de modelación y simulación basados en los Métodos de Elementos y volúmenes Finitos, y cada una de las facilidades y bondades que ellos prestan a través de su interfaz gráfica.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo General.* Desarrollar un múltiple de admisión aplicado a un vehículo de competencia tipo fórmula SAE para la ESPOCH

1.3.2 *Objetivos específicos*

- Recopilar información y normas vigentes para la correcta elaboración del múltiple de admisión, en función del Estado Actual del Arte.

- Establecer parámetros de funcionamiento del múltiple de admisión para la Formula SAE.

- Obtener el diseño del Múltiple de Admisión para la Formula SAE mediante los softwares de diseño.

- Evaluar el desempeño del diseño a través del software ANSYS aplicando los métodos del elemento finito.

- Determinar el material adecuado para la construcción del Múltiple de Admisión.

- Construir el Múltiple de Admisión de acuerdo a todos los parámetros.

CAPITULO II

2. MARCO CONCEPTUAL Y TEÓRICO

2.1 Fórmula SAE

Figura 1. Equipos participantes año 2012



Fuente: (*Fórmula SAE*)

La Fórmula SAE es una competencia de diseño para estudiantes organizada por la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE), la cual inició en 1979 como “Mini Indy”, y que luego de varias ediciones de la misma se la ha venido desarrollando, reglamentando y modernizando hasta obtener lo que actualmente conocemos como “Fórmula Student”.

La Fórmula SAE promueve a las carreras y la excelencia en ingeniería, donde los estudiantes pasan de sus aulas a un campo experimental a través el diseño y la construcción de un prototipo basado en las diferentes normas de la competencia, que a más de garantizar las operaciones en los eventos presenciales busca incentivar la resolución de problemas y abarcar todos los aspectos de la industria del automóvil, incluyendo la investigación, diseño, fabricación, pruebas, desarrollo, comercialización, administración y finanzas.

Con la finalidad de verificar que los vehículos estén de acuerdo a las reglas y lineamientos de la SAE, la competencia se conforma por: 4 pruebas de seguridad (no puntuables y que son requisito fundamental para poder llevar a cabo las siguientes pruebas), 4 pruebas dinámicas y 3 estáticas. Todas estas pruebas en conjunto evalúan el rendimiento en general del vehículo para al final dar luz verde para la competencia o no. (International, 2014)

2.2 Admisión

El Sistema de Admisión (SA) provee al Motor de Combustión Interna (MCI) con aire fresco y tiene un mayor efecto en el desempeño del motor y las emisiones. Por lo tanto una gran atención tiene que ser enfocada en el diseño del sistema de admisión. Muchas investigaciones están relacionadas a la mejora de la capacidad de respiración del motor, la minimización de las pérdidas de presión a lo largo de los conductos y la uniformidad de la distribución de aire entre los cilindros del motor.

Este trabajo de investigación se enfoca al diseño del SA de un vehículo Formula SAE, el cual posee demandas especiales de funcionamiento. Se debe tener en mente que el flujo de aire y las pérdidas de presión en la entrada del motor deben ser analizados mediante un software de dinámica de fluidos computacional para que basados en los resultados obtenidos numéricamente, el múltiple de admisión pueda ser diseñado y manufacturado para ser utilizado en el vehículo de la Formula SAE.

2.3 Múltiple de admisión

La función más importante de un Múltiple de Admisión (MA) es la de distribuir en forma equitativa la cantidad de aire que llega a cada cilindro, de modo que se consiga el desempeño más óptimo del Motor de Combustión Interna (MCI). Los elementos que generalmente conforman un MA son: cuerpo de aceleración, pleno, y los conductos o “runners” que se conectan con cada cilindro.

Durante el funcionamiento de un MCI se hace presente un fenómeno en el cual la presión se comporta en forma de una onda, ya que en la fase de admisión hay pérdidas intermitentes debido a la caída de presión en los cilindros, afectando positiva o negativamente al abastecimiento en los cilindros de acuerdo a la magnitud que tengan dichas ondas en amplitud y fase, donde estas dos últimas son dependientes de la geometría que posea el MA, la velocidad de motor y el tiempo de apertura de válvulas. En ciertas circunstancias estos cambios de presión ocasionan que el flujo de aire dentro del MA pueda alcanzar velocidades por sobre la velocidad del sonido cuando trabaja a altas revoluciones. (BENSLER, 1996)

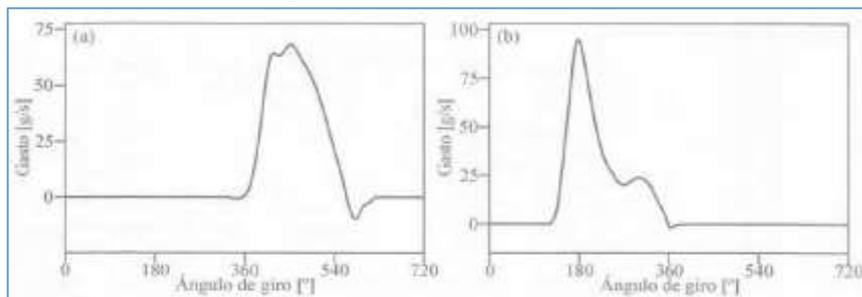
2.4 Flujo en conducto de admisión.

En motores de combustión interna, en sus conductos de admisión el fenómeno presente es estudiado por medio de dos análisis principales, en donde el origen y la naturaleza del flujo es el más importante en nuestro caso.

2.4.1 Origen y naturaleza del flujo. El funcionamiento de un MCI es claramente no estacionario; de hecho, puede hablarse de un funcionamiento cuasi periódico. En consecuencia, los procesos de flujo que tiene lugar en el conducto de la admisión tiene un carácter intrínsecamente no estacionario, cuyo origen se encuentra precisamente en el flujo inducido a través de las válvulas por los procesos de llenado que ocurren de forma cuasi periódica. En la Figura 3 se muestra una forma típica de la evolución el gasto másico en las válvulas de admisión de un motor mono cilíndrico de cuatro tiempos a un régimen intermedio de giro.

En la curva puede apreciarse, por una parte, el incremento del gasto producido por el movimiento descendente del pistón y, por otra, el reflujo que se produce entre el punto muerto inferior (PMI) y el cierre la admisión, por motivos relacionados con la definición del sistema de distribución. (PAYRI, y otros, 2014)

Figura 2. Gasto instantáneo en válvulas: (a) admisión (sentido positivo entrante al cilindro); (b) escape (sentido positivo saliente del cilindro).



Fuente: (PAYRI, y otros, 2014)

Por lo tanto se tiene que existe una variación en el tiempo de los parámetros de flujo, variación que, corresponde a la succión de la mezcla fresca hacia el interior del cilindro. La presencia de dichas condiciones de contorno variable en el tiempo, determina el carácter intrínsecamente no estacionario del flujo resultante, debido a dos motivos básicos:

- Los tiempos de excitación asociados al régimen del motor son mucho más cortos que los tiempos de relajación característicos del gas, por lo que es imposible alcanzar el estado de equilibrio y se producen descompensaciones en los flujos de masa, cantidad de movimiento y energía que, a su vez, determinan la existencia de variaciones locales de estas magnitudes en función del tiempo.
- La elevada compresibilidad de los fluidos considerados hace que estas descompensaciones locales se propaguen por el conducto a una velocidad relativamente baja, ya que la velocidad del sonido depende inversamente del coeficiente de compresibilidad del fluido. Por tanto, el flujo presentará una clara variabilidad espacial y temporal.

El resultado conjunto de estos dos factores es la propagación de ondas de presión por los conductos de admisión, que constituyen la firma identificativa del flujo compresible no estacionario.

2.5 Método de recarga de un MCI con ondas de inducción.

El aire circula a través del MA para llegar hasta el cilindro cada vez que se da la apertura de la válvula de admisión (VA). Por ende la presión que hay dentro del cilindro se disminuye y produce una onda de presión negativa (vacío) que se dispersa a través del flujo de aire a la velocidad del sonido, desde el asiento de la VA hasta el punto que se encuentra libre a la atmosfera en el MA (entrada del filtro de aire).

Cuando dicha onda de presión llega al final del ducto de admisión (entrada filtro de aire), se produce una reducción repentina en la densidad del aire y provoca una depresión. Por ende el aire que circula en esa zona buscara reducir aquella depresión, generando una onda de presión positiva, que ahora se moverá desde ese punto hacia el cilindro.

Si dicha presión positiva es correctamente sincronizada, ayudara a introducir mayor cantidad de carga en el cilindro al final de la etapa de admisión. Pero a su vez cuando la onda llega otra vez a la VA, la misma se refleja y cambia su dirección regresando nuevamente hacia la entrada del sistema, provocando un vaivén de ondas positivas y

negativas, con una amplitud que decae a su vez que se va cerrando la VA.

Una buena sincronización es importante para aprovechar este fenómeno, con lo que la primera onda de presión positiva debe llegar cuando el pistón se encuentra en el PMI, en su mayor amplitud al culminar el tiempo de admisión.

Por razones mencionadas anteriormente se debe conocer el tiempo que realiza una onda en ir hacia la VA y reflejarse hacia la entrada del filtro de aire, tiempo que se puede calcular mediante la siguiente formula: (HEINZ, 1995)

$$t = \frac{2L}{1000C} \quad (1)$$

Dónde

- t = tiempo que tarda un pulso en recorrer de ida y regreso el canal de admisión (s).
- L = distancia del conducto desde el punto de apertura a la cabeza de la VA (mm).
- C = velocidad del sonido en el aire (aprox. 330m/s)

El fenómeno mencionado anteriormente de “Inducción por inercia del fluido” siempre aparece durante el proceso de admisión, Dónde de acuerdo a la velocidad del motor, apertura de la mariposa del cuerpo de aceleración y dimensiones del restrictor, influirá poco o mucho en el funcionamiento del motor. (HEINZ, 1995)

2.6 Velocidad del fluido

La velocidad del fluido produce efectos de esfuerzos cortantes sobre una zona denominada capa límite de velocidad; su superficie divide el flujo dentro del conducto en dos zonas:

- La zona de capa limite, donde los efectos viscosos y cambios de velocidad son

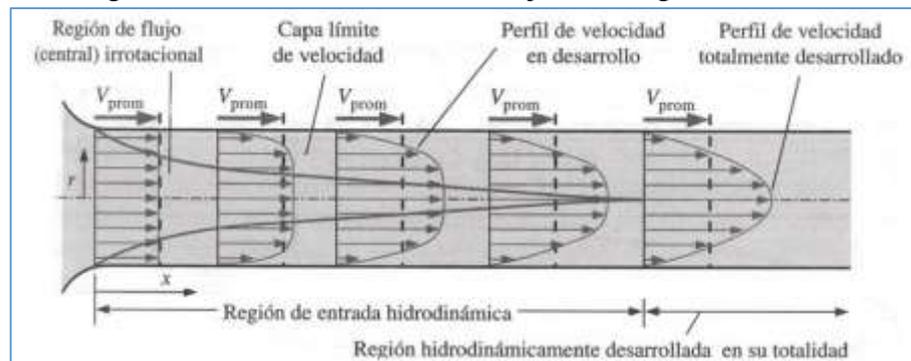
considerables, y;

- La zona de flujo central o laminar, donde la fricción produce efectos despreciables y la velocidad se mantiene constante en dirección radial.

Es por esto que el énfasis que se dé al diseño y selección del material para el MA es muy importante, ya que un coeficiente bajo de fricción ayuda a la turbulencia sea la menor posible.

El grosor de la capa límite aumenta en la dirección del flujo hasta que la capa límite alcanza el centro de la tubería y por lo tanto llena toda la tubería, como se muestra en la Figura 3. El perfil de velocidad en la región totalmente desarrollada es parabólico en el flujo laminar y un poco más plano en el flujo turbulento debido al movimiento de vórtices y a una mezcla más vigorosa en la dirección radial. (CENGEL, y otros, 2006)

Figura 3. Perfil de velocidad de flujo en la región de entrada



Fuente: (CENGEL, y otros, 2006)

2.7 Número de Reynolds

La transición de flujo laminar a turbulento depende entre otros factores de la geometría, la velocidad del flujo, la rugosidad de la superficie, la temperatura de la superficie y el tipo de fluido. Luego de experimentos exhaustivos, Osborne Reynolds, en los años 1880, descubrió que el régimen de flujo depende principalmente de la razón de fuerzas inerciales a fuerzas viscosas en el fluido (CENGEL, y otros, 2006). Esta razón se llama número de Reynolds y se expresa para flujo interno en una tubería circular como:

Los flujos tienen número de Reynolds grandes (tienden a ser turbulentos) debido a una velocidad y/o una viscosidad baja. Los fluidos con viscosidad alta y/o se muevan a

velocidades bajas, tendrán un número de Reynolds bajos (tienden a ser laminares)

En la mayoría de las condiciones prácticas, el flujo en una tubería circular es:

- laminar para $Re < 2300$
- turbulento para $Re > 4000$, y; transicional entre ellos. (MOTT, 2006)

2.8 Flujo compresible

En todos los casos y análisis de fluidos se deben satisfacer las tres leyes de conservación de la mecánica más una relación de estado (termodinámica), así como las condiciones iniciales y de control apropiadas:

- 1. Conservación de la masa (continuidad).
- 2. Conservación de la cantidad de movimiento (segunda ley de Newton).
- 3. Conservación de la energía (primer principio de la termodinámica).
- 4. Una relación de estado como $\rho = \rho(p, T)$
- 5. Condiciones de contorno sobre superficies sólidas, entre fases, entradas y salidas.

En los análisis integral y diferencial, estas cinco leyes están expresadas en términos matemáticos y han de ser resueltas usando métodos numéricos. En un estudio experimental se supone que el fluido cumple estas relaciones de por sí.

Cuando un fluido se mueve a velocidades comparables a su velocidad del sonido, las variaciones de densidad se hacen importantes y el flujo se denomina compresible. Probablemente los dos efectos más importantes y distintivos de los flujos compresibles son:

- el bloqueo, que limita fuertemente el flujo en conductos cuando se dan

condiciones sónicas, y

- (2) las ondas de choque, que son cambios casi discontinuos en las propiedades de los flujos supersónicos. (CENGEL, y otros, 2006)

2.9 Número de Mach

El número de Mach es el parámetro dominante en el análisis de flujos compresibles, con efectos distintos dependiendo de su magnitud. Los estudiosos de la aerodinámica suelen distinguir entre los diferentes rangos del número de Mach, siendo la siguiente clasificación aproximada de uso extendido:

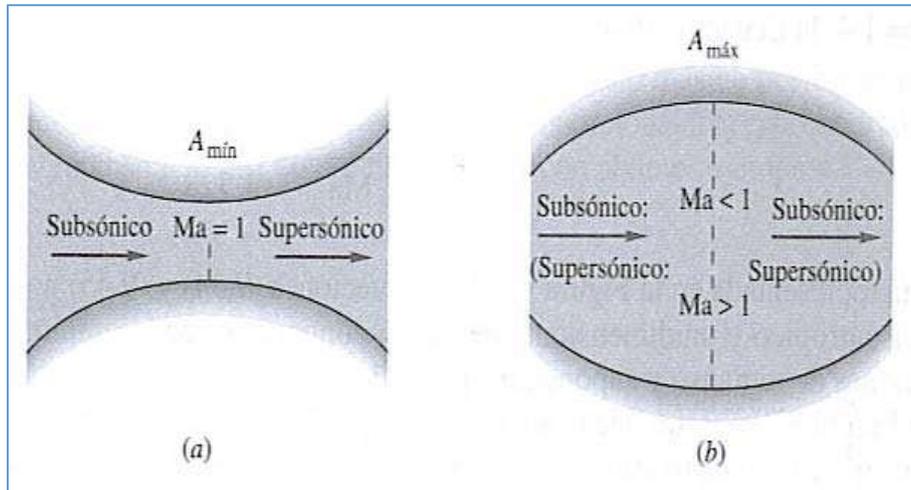
Tabla 1. Clasificación de Número de Mach

No. de Mach	Tipo de Flujo	Efectos
$M < 0.3$	Incompresible	Efectos de la densidad son despreciables.
$0.3 < M < 0.8$	Subsónico	Efectos de la densidad son importantes, pero no aparecen ondas de choque.
$0.8 < M < 1.2$	Transónico	Aparecen por primera vez ondas de choque que separan regiones subsónicas y supersónicas dentro del flujo.
$1.2 < M < 3.0$	Supersónico	Aparecen ondas de choque pero ya no existen regiones subsónicas.
$3.0 < M$	Hipersónico	Las ondas de choque y otros cambios que experimenta el flujo son especialmente fuertes.

Fuente: (CENGEL, y otros, 2006)

Estas cinco categorías de flujo son apropiadas para la aerodinámica externa a alta velocidad. Para flujos internos, la cuestión más importante es simplemente si el flujo es subsónico ($M < 1$) o supersónico ($M > 1$), porque el efecto de las variaciones de sección es opuesto (CENGEL, y otros, 2006), como se puede observar en la Figura 4.

Figura 4. Efecto de número de Mach sobre las variaciones de las propiedades del flujo cuando cambia el área del conducto

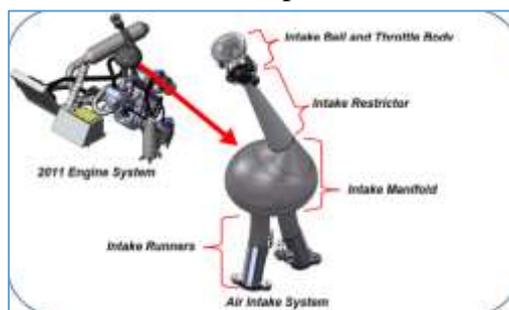


Fuente: (CENGEL, y otros, 2006)

2.10 Múltiple de Admisión FÓRMULA SAE

La admisión de aire en un vehículo es un parámetro esencial para el rendimiento del mismo, en especial para los monoplazas que se utilizan en una competencia tan importante como lo es la Formula SAE, donde se busca aprovechar la máxima potencia y par proveniente del motor, siendo el MA uno de los elementos en el cual se pretende obtener su máximo rendimiento, para lo cual variar su geometría, forma y dimensiones influirá de manera directa al mismo.

Figura 5. Partes del múltiple de admisión FSAE

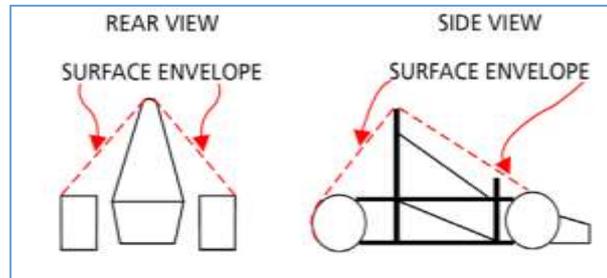


Fuente: (HEINZ, 1995)

2.10.1 (Reglamento FSAE) Ubicación del Sistema de Admisión de Aire. Todas las partes de los sistemas de control de aire y combustible del motor (incluyendo el acelerador o carburador, y el SA de aire completo, incluyendo el filtro de aire y pleno) deben colocarse entre la superficie definida por la parte superior de la barra estabilizadora y el borde exterior de las cuatro ruedas (Figura 6).

Cualquier parte del SA de aire que está a menos de 350 mm (13.8 plg.) sobre el piso debe ser protegido de colisiones laterales o posteriores por una estructura construida. (International, 2014)

Figura 6. Límite de los componentes.



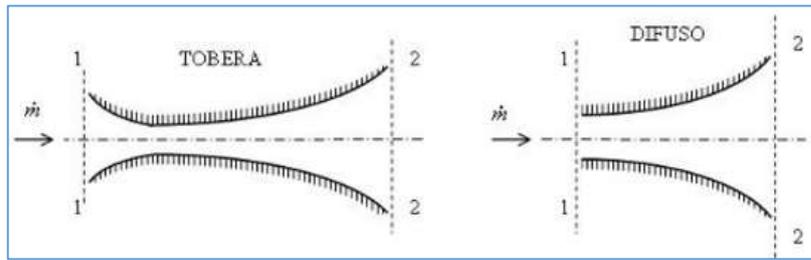
Fuente: (International, 2014)

2.10.1.1 Múltiple de Admisión (fijación y métodos de conexión). EL MA debe estar seguramente unido al bloque del motor o la cabeza de los cilindros con soportes o sujetadores mecánicos. Esto excluye el uso de abrazaderas, amarras de plástico o cables de seguridad. El uso de bujes o mangueras es aceptable para crear y sellar los pasajes de aire, pero no es considerado una fijación estructural. Los elementos roscados usados para asegurar el MA son considerados sujetadores críticos y deben cumplir con el ARTÍCULO 11 del reglamento adjuntado en el Anexo 2.

Los SA con significativa masa o voladizo desde la cabeza del cilindro debe ser soportada para prevenir esfuerzo en el sistema de admisión. Los Soportes en el motor deben ser rígidos. Los soportes en la estructura o chasis deben incorporar un aislamiento para permitir el movimiento del motor y flexión del chasis. (International, 2014)

2.10.2 Difusor de aire. Un difusor es una válvula que varía su sección de paso, y modifican las propiedades del fluido que atraviesa a través del mismo. Los difusores han sido una de las opciones preferidas para modificar las velocidades de flujo de aire en los SA desde los primeros MCI, en estos casos los difusores se presentan en forma de toberas, y que en la industria automotriz las más usadas han sido las de tipo convergente-divergente y de tipo Venturi, siendo la ultima la que ha resultado de mayor uso debido a las ventajas que presentan para poder lograr la mezcla de aire-combustible necesaria, como lo era en el caso de los carburadores que hasta hoy en día tenemos presentes. (ANDRE, 2012)

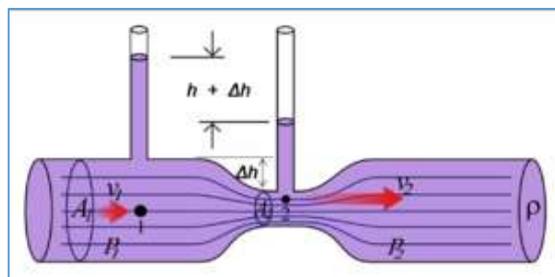
Figura 7. Diferencia entre difusor y tobera



Fuente: <http://grupo1ii132dispositivosfee.blogspot.com/>

2.10.2.1 Tobera tipo Venturi. El Tubo Venturi se lo define como un dispositivo que origina una pérdida de presión al pasar por él un fluido. Su diseño consiste en una sección recta de entrada del mismo diámetro que la tubería, ahí se conecta la toma de alta presión, después contiene una sección cónica convergente que va disminuyendo poco a poco y transversalmente la corriente del fluido, se aumenta la velocidad al disminuir la presión, el diseño además consiste de una garganta cilíndrica, se coloca ahí la toma de baja presión, en esta área el flujo no aumenta ni disminuye, el tubo Venturi termina con un cono divergente de recuperación, aquí la velocidad disminuye y se recupera la presión hasta un 98%. (Ingenierías, 2016)

Figura 8. Tobera tipo Venturi

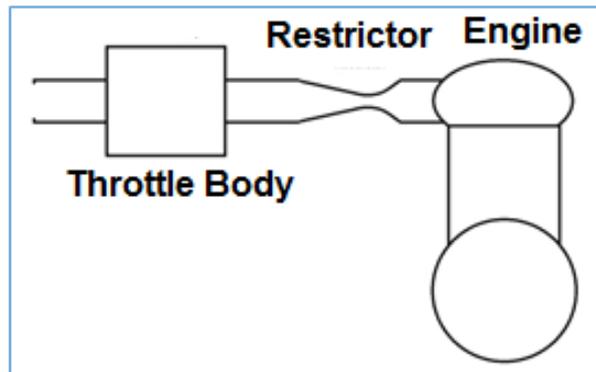


Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Efecto_Venturi

2.10.2.2 (Reglamento FSAE) Restrictor del Sistema de Admisión. En orden para limitar la capacidad de potencia del motor, un solo restrictor circular debe ser colocado en el SA y todo el flujo de aire del motor pasa a través del restrictor. La única secuencia de componentes permitida son las siguientes:

- Para motores con aspiración natural, la secuencia debe ser (Figura 9): cuerpo de aceleración, restrictor y motor.

Figura 9. Ubicación del restrictor (motor de aspiración natural).



Fuente: (*International, 2014*)

Los diámetros máximos del restrictor que deben ser respetados en todas las veces durante la competencia son:

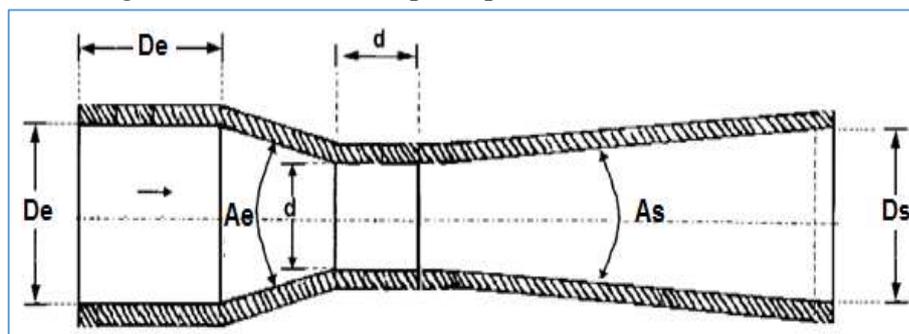
- Vehículos alimentados con gasolina – 20.0 mm (0.7874 plg)
- Vehículos alimentados con Flex Fuel – 19.0 mm (0.7480 plg)

El restrictor debe ser colocado para facilitar la medición durante el proceso de inspección.

La sección transversal de la restricción circular no puede ser móvil o flexible de ninguna manera, por ejemplo, el restrictor no puede ser parte de una porción móvil. (*International, 2014*)

2.10.2.3 Consideraciones para el cálculo. Para el diseño de un Restrictor tipo Venturi es necesario cumplir con las dimensiones según la Norma ISO 5167-3, mismas que se muestran a continuación:

Figura 10. Dimensiones principales de una tobera Venturi



Fuente: (*MOTT, 2006*)

Donde

- ***De***: Diámetro de entrada (en este caso Diámetro de la Aleta de aceleración)
- ***Ds***: Diámetro de salida (Generalmente similar al Diámetro de Entrada)
- ***D***: Diámetro del estrangulamiento o garganta
- ***Ae***: Ángulo de entrada
- ***As***: Ángulo de salida

También se hará muy necesario conocer parámetros como:

- Velocidad de entrada del aire al restrictor

Para este cálculo se utilizara dos fórmulas:

- Velocidad del aire en la VA
- Velocidad media del pistón
- Ecuación de continuidad
- ✓ Velocidad del aire en la válvula

$$Vg = \frac{Ap * Vm}{Av} \quad (2)$$

Donde

- ***Vg***= Velocidad del gas en la VA (m/s)
- ***Ap***= Área del Pistón (m²)

- $V_m =$ Velocidad media del pistón (m/s)
- $A_v =$ Área de la cabeza de la válvula de admisión (m²)
- ✓ Velocidad media del pistón

$$V_m = \frac{s * RPM_{Tmax}}{30} \quad (3)$$

Dónde

- $RPM_{Tmax} =$ Revoluciones del Motor a Torque Máximo
- $s =$ Carrera del pistón (m)

- ✓ Ecuación de continuidad

$$A_1 V_1 = A_2 V_2 \quad (4)$$

Donde

- $A_1 =$ Área en el Punto A
- $V_1 =$ Velocidad en el Punto A
- $A_2 =$ Área en el Punto B
- $V_2 =$ Velocidad en el Punto B

Para el cálculo del flujo másico a la salida del restrictor se tiene la siguiente formula:

$$m = \frac{A * P_t}{\sqrt{T_t}} * \sqrt{\frac{\gamma}{R}} * M * \left[1 + \frac{M^2(\gamma - 1)}{2} \right]^{-\frac{\gamma+1}{2(\gamma-1)}} \quad (5)$$

Donde

- m: Flujo másico (kg/s)
- A: Área de la Sección Transversal (m²)
- Pt: Presión Absoluta (Pa)
- Tt: Temperatura Total (K)
- γ : Relación de calor específico (Ctte = 1,4)
- R: Constante del Aire (Ctte = 0,286 KJ/kg-K)
- M: Numero de Mach

Para el cálculo del número de Mach se tiene la siguiente formula:

$$M = \frac{V_f}{a} \quad (6)$$

Donde

- M: Número de Mach
- Vf: Velocidad del Fluido (fluido que ingresa al restrictor) (m/s)
- a: Velocidad del sonido (Ctte = 343 m/s)

2.10.3 Pleno. Es un depósito de aire ubicado entre el cuerpo de aceleración y los conductos de admisión de manera que, en el funcionamiento normal, el motor tenga siempre a disposición la cantidad de aire necesaria, siendo importante también para disminuir el tiempo de respuesta del motor cuando existen aceleraciones o frenadas bruscas.

2.10.3.1 Consideraciones para el cálculo. A Continuación se detallarán las consideraciones que fueron necesarias tomar para pasar a la etapa de diseño del múltiple de admisión.

- Resonador Helmholtz

Así como los métodos mencionados anteriormente, existe también especialmente en motores a gasolina de alto desempeño el sistema de inducción Tipo Helmholtz, el cual es un resonador que consiste en un depósito esférico y un ducto recto por el cual se alimenta dicho depósito.

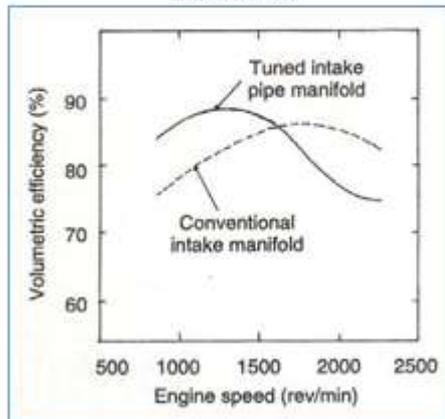
El principio de funcionamiento de un resonador Helmholtz aplicado a un MA es el siguiente:

El aire que llena el volumen del depósito esférico posee una frecuencia natural debido al vaivén de las moléculas de aire que continúan llenando el depósito mientras la VA continúa cerrada. Al momento de producirse la apertura de la VA, se produce el vacío debido al movimiento descendente del pistón, provocando un cambio en el comportamiento del aire que se encuentra en el depósito, sucediendo el mismo proceso cada vez que se produzca la apertura de la VA.

Al incrementar la velocidad de motor, llega un punto donde la frecuencia del vacío es igual a la frecuencia del aire que se encuentra en el depósito, y a su vez se produce una serie de pulsos de presión que se sincronizan con el periodo de apertura de válvulas, donde dichos pulsos permiten un ingreso forzado de aire aun cuando el pistón ya se encuentra regresando al punto muerto superior (PMS). (HEINZ, 1995)

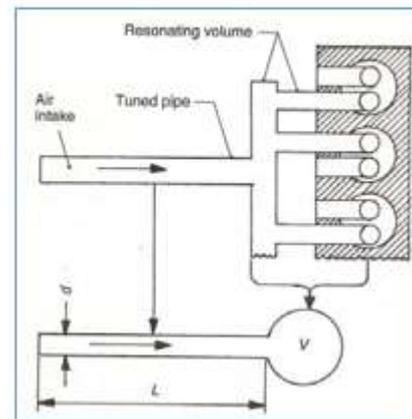
Se debe tomar en cuenta la longitud de los ductos para el diseño ya que los pulsos de presión podrían provocar una interferencia con los fenómenos de recarga inercial y de ondas de presión, afectando directamente al llenado del cilindro. Por otra parte para conseguir un diseño de volumen óptimo se debe analizar cuando el volumen del aire se encuentra en resonancia con la velocidad del motor cuando requiere un aumento de torque, generalmente en punto máximo de la curva par motor. (HEINZ, 1995)

Figura 11. Curva de eficiencia volumétrica de un MA equipado con resonador



Fuente: (HEINZ, 1995)

Figura 12. Comparación de un MA equipado con resonador Helmholtz



Fuente: (HEINZ, 1995)

2.10.4 Conductos de Admisión (“Runners”). Los conductos de admisión juegan un papel muy importante ya que de ellos depende que haya una carga equitativa de la mezcla en el interior de los cilindros del motor siendo consecuente en lo que refiere a un aumento en la potencia, por lo cual estos conductos deben tener el tamaño y la longitud apropiados para que se produzca la mayor presión posible en el cilindro cuando se cierra la VA.

Los conductos de admisión son las partes del SA que entregan el aire desde el pleno hacia los cilindros. En cada conducto el fenómeno dominante que gobierna el rendimiento es el efecto de las ondas acústicas, ya que el propósito de los conductos es la entrega de aire, su rendimiento está vinculado a cuanto aire puede el mismo entregar, y en el caso del motor, la subsecuente mejora en la eficiencia volumétrica.

El comportamiento de dichas ondas acústicas en cualquier conducto es longitudinal y son creadas a partir de regiones alternantes de compresiones y rarefacciones, proceso que sucede también en los conductos de admisión y por tal motivo se debe dimensionar el conducto de admisión de tal manera que se logre aprovechar dichas ondas acústicas producidas durante la carrera de admisión, a fin de que el Formula SAE logre su máximo rendimiento.

2.10.4.1 Consideraciones para el cálculo. Para el cálculo de la longitud de los conductos de admisión se utiliza la siguiente formula:

$$L = \frac{84000}{RPM_{Tmax}} \quad (7)$$

Donde

- L = Longitud de los conductos de admisión (plg)
- RPM_{Tmax} = Revoluciones a las que el motor proporciona el Torque máximo

En cuanto al dimensionamiento del diámetro de los conductos de admisión, se puede aplicar la siguiente formula:

$$\phi_c = \sqrt{\frac{RPM_{Tmax} * Vh * VE}{3330}} \quad (8)$$

Donde

- ϕ_c = Diámetro de los conductos de admisión (plg)
- RPM_{Tmax} = Revoluciones a las que el motor proporciona el Torque máximo
- Vh = Cilindrada del motor (litros)
- VE = Eficiencia volumétrica
- 3330 = Factor de conversión de unidades

2.10.5 Cuerpo de aceleración. En el MCI actualmente el ingreso de aire es controlado en casi la totalidad de los casos por un cuerpo de aceleración con aleta del tipo mariposa, que con el pasar del tiempo se han ido reemplazando los accionamientos mecánicos hasta obtener controles totalmente electrónicos, mediante la evolución de la inyección

electrónica y los distintos sensores y actuadores que intervienen en la misma. Se coloca entre el pleno y el tubo de admisión de aire.

2.10.5.1 (*Reglamento FSAE*) *Carburador/ cuerpo de aceleración.* El vehículo debe estar equipado con un carburador o cuerpo de aceleración. El carburador o cuerpo de aceleración puede ser de cualquier medida o diseño.

- Accionamiento del acelerador.

El acelerador debe ser accionado mecánicamente, mediante un cable o un sistema de palancas, a menos que el cuerpo de aceleración sea electrónico.

El cable del acelerador o palancas, debe tener un accionamiento suave y no deben tener la posibilidad de quedarse pegado o atascado.

El accionamiento del acelerador debe usar al menos 2 resortes de retorno localizados en el cuerpo de aceleración, de modo que la falla de algún componente del sistema de aceleración no prevenga que el acelerador el regreso del mismo a la posición de cerrado.

Nota: el sensor TPS no es aceptado como resorte de retorno.

Los cables del acelerador deben ser al menos de 50.8mm (2 plg) desde cualquier componente del sistema de escape y fuera de la corriente del escape.

Una parada positiva del pedal debe estar incorporada sobre el pedal de aceleración para prevenir un sobre esfuerzo en el cable del acelerador o en el sistema de accionamiento.

El cable del pedal del acelerador debe estar protegido de ser doblado o torcido por el pie del conductor cuando lo está operando, o cuando el conductor entra o sale del vehículo. (International, 2014)

2.10.5.2 *Consideraciones para el cálculo.* Para el cálculo del diámetro de la mariposa de aceleración, se presenta la siguiente formula:

$$\phi = \sqrt{\frac{154 * i * s * RPM_{Pmax} * b^2}{67547}} \quad (9)$$

Donde

- i = Numero de cilindros del motor
- s = Carrera del pistón (in)
- RPM_{Pmax} = Revoluciones a las que el motor proporciona la Potencia máxima
- b = Diámetro del pistón (in)

2.11 Método de elementos finitos

El método de elementos finitos es un método numérico para la resolución de problemas de ingeniería y física-matemática. Las áreas típicas de interés de problemas en ingeniería que son resolubles con el uso de método de elementos finitos incluyen análisis estructural, transferencia de calor, flujo de fluido, transporte de masa y potencial electromagnético, por lo cual nuestro proyecto de titulación se basa en la aplicación del software ANSYS 16.1, el cual aplica este método para la resolución de flujo de un fluido, en este caso, aplicado al MA. (LOGAN, 2007)

2.11.1 (CFX – Fluent). CFX y Fluent son herramientas de alto rendimiento que el software ANSYS 16.1 posee y que ha sido aplicado por ingenieros para resolver una amplia gama de problemas de flujo de fluido, ofreciendo con su solucionador de tecnología avanzada muy aproximadas respuestas ante los problemas planteados. Estas herramientas han sido creadas para dar solución a problemas de cualquier tipo de fenómeno que ocurre en flujo de fluidos: laminar o turbulento, incompresible a totalmente compresible, subsónico a supersónico y así otros más. (Ansys, 2015)

En nuestro proyecto de titulación estas herramientas serán indispensables para analizar el comportamiento del fluido dentro del MA, analizando velocidades, presiones, flujo másico, entre otros.

CAPITULO III

3. CÁLCULO Y DISEÑO DEL COLECTOR DE ADMISIÓN

3.1 Requerimientos para el diseño del múltiple de admisión

Tanto por reglamentación por parte de la SAE, como por parte de las consideraciones de “performance” existen algunas características – requerimientos a tener en cuenta durante el proceso de diseño del MA. Características que si al final del proceso se cumplen a cabalidad lograrán un alto rendimiento del MA, cumpliendo con los objetivos planteados.

3.1.1 *Requerimientos por reglamentación.* Algunas de las reglamentaciones se convierten más bien en limitaciones que la SAE impone en parte como medidas de seguridad limitando la potencia del motor mediante la entrada de aire, entre otras; a más de que de esta manera se busca también que la investigación acerca de cómo mejorar el rendimiento se realice en otras áreas que no han sido muy exploradas. En todo caso limitaciones o medidas de seguridad son requisitos mínimos que debe cumplir este sistema para poder participar en la competencia oficialmente.

Requerimientos:

- Restricción en la entrada de aire de un diámetro de 20 mm (motores alimentados con gasolina), esta medida será de fácil acceso para su medición, y podrá ser ni móvil ni flexible.
- Ninguna parte del SA puede sobrepasar las limitaciones geométricas impuestas en el reglamento. (Revisar anexo 1)
- La disposición de los componentes para el motor de aspiración natural será cuerpo de aceleración, restrictor, motor.
- Las sujeciones del MA deberán respetar lo mencionado en el reglamento. (Revisar anexo 1)

- El carburador o cuerpo de aceleración puede ser de cualquier medida o diseño.
- El accionamiento de la mariposa de aceleración debe ser mecánico, no debe estar susceptible a ningún atascamiento y debe tener como mínimo 2 resortes de retorno sin contar el resorte de retorno del TPS (si lo tiene).

Figura 11. Diferentes disposiciones de los múltiples de admisión (todos cumplen con la reglamentación).



Fuente: (ANDRE, 2012)

3.1.2 *Requerimientos de “performance”*. Desde otro punto de vista, es de conocimiento general que los vehículos de competencia necesitan un alto rendimiento en cada uno de sus sistemas, subsistemas y componentes para lo cual se establecen parámetros que se pueden mejorar individualmente para finalmente cumplir con un objetivo, la efectividad.

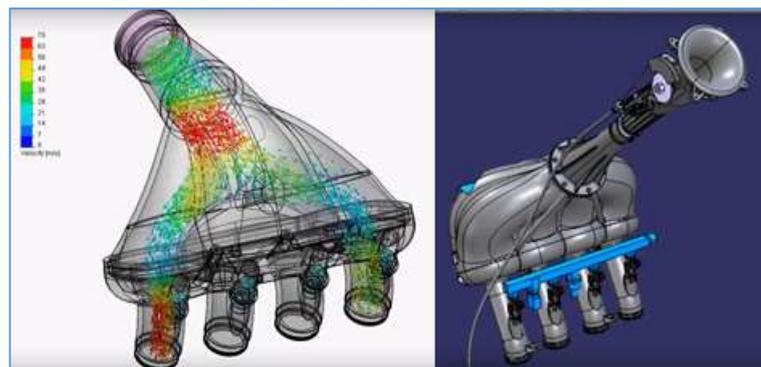
A lo largo del tiempo los SA han evolucionado en cuanto a geometría, acabados, material, peso entre otros logrando rendimientos muy altos no solo en el mundo de las competencias sino también en vehículos de uso cotidiano y de alta performance.

Para alcanzar un rendimiento óptimo los requerimientos planteados son los siguientes:

- Para el dimensionamiento de todos los componentes se deberá partir de las especificaciones y requerimientos del motor (potencia, torque, revoluciones y consumo).
- La geometría del MA deben asegurar una trayectoria suave del flujo de aire, que además no signifique procesos de construcción complicados.
- El flujo en cada uno de los cilindros debe ser lo más próximos posibles.

- Minimizar la caída de presión y la presencia de turbulencias dentro del Venturi (restringidor).
- Reducir la fricción del aire con las paredes internas del MA, minimizando las rugosidades.
- Buscar un equilibrio entre las variables de peso, material, y costos; en busca de un alto rendimiento con bajos costos y ligereza.
- Escoger lugares óptimos para la ubicación de los distintos sensores y actuadores.

Figura 12. Estudios y análisis realizados en distintos software con la finalidad de probar los rendimientos de los diseños.



Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=X3ecq8MNfk0>

3.2 Datos iniciales

Como se planteó desde un principio los datos de los que se partirá el dimensionamiento de los distintos componentes serán los de las especificaciones del motor Yamaha FZR 400 que es el que será utilizado en el vehículo.

Partiendo del par máximo vamos a buscar los requerimientos de flujo de cada uno de los cilindros, determinaremos la velocidad de entrada de aire entre otros valores necesarios para comenzar con el dimensionamiento de los componentes.

3.2.1 Parámetros del motor

Tabla 2. Especificaciones motor Yamaha FZR 400.

Información general	
Modelo:	Yamaha FZR 400
Año:	1989
Categoría:	Deportivo
Motor y Transmisión	
Cilindrada:	399 c.c.
Tipo de motor:	4 en línea, 4 tiempos
RPM Máximas:	14000
Relación de compresión:	11.5 : 1
Diámetro/Carrera:	56.0 x 40.5 mm
Válvulas por cilindro:	4

Fuente: FZR Service Manual

3.3 Cálculo del cuerpo de aceleración

El cuerpo de aceleración es en sí una válvula que se encarga de controlar el flujo de ingreso de aire hacia el MCI, siendo controlado dicho flujo generalmente por la apertura o cierre de la aleta o mariposa de aceleración, de acuerdo al requerimiento de potencia del motor.

Existen algunos tipos de cuerpos de aceleración como lo son aquellos que cuentan con válvula deslizable, válvula de barril y la ya mencionada aleta de aceleración, donde los dos primeros permiten un gran flujo de aire en comparación con la aleta de aceleración, pero no tienen un buen control del mismo como esta última mencionada.

El cuerpo de aceleración con aleta o mariposa, como ya se mencionó tienen la capacidad de controlar mucho mejor el flujo, pero también produce turbulencias las cuales dejan puntos muertos de flujo justo detrás de la aleta, los cuales perjudicarían al rendimiento del motor si se encontraran cercanos al inyector debido a que se daría una mala mezcla, pero en este caso, en el diseño nos hemos planteado a colocar el cuerpo de aceleración lejos de los inyectores, por lo cual resulta conveniente utilizar este tipo de cuerpo de aceleración.

Para el cálculo del diámetro de la mariposa de aceleración, aplicamos la ecuación 10:

$$\phi = \sqrt{\frac{154 * 4 * 1,6 * 12500 * (2,2)^2}{67547}}$$

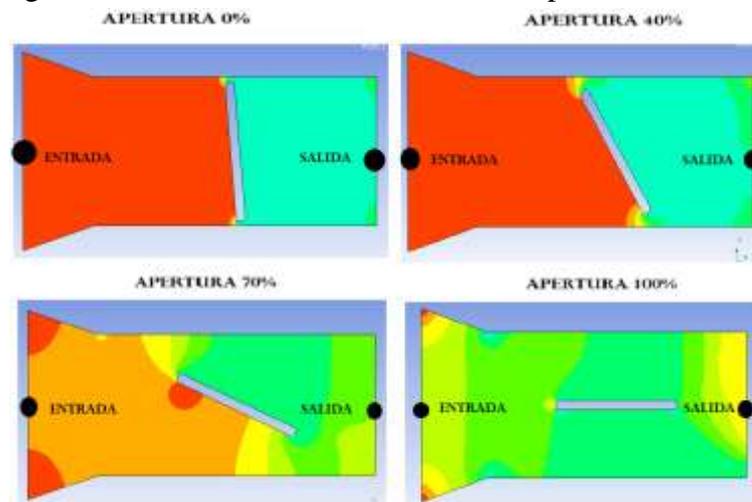
$$\phi = 29,71 \text{ mm}$$

$$\phi \approx 30 \text{ mm}$$

3.3.1 *Análisis de flujo en el cuerpo de aceleración de acuerdo a la apertura de la aleta.* Para el análisis de nuestro cuerpo de aceleración hemos tomado el software ANSYS en su herramienta CFX, tomando como campos de análisis la presión, velocidad del fluido y comportamiento del flujo de acuerdo a la posición de la mariposa de la aceleración.

En el figura 15 se muestra como la presión cambia de acuerdo a la apertura de la mariposa de aceleración, observándose una caída notable cuando la mariposa está cerrada y un poco abierta, caso contrario lo que ocurre cuando la mariposa esta semi-abierta y totalmente abierta, mostrándose una caída de presión mucho menor.

Figura 13. Variación de Presión en el Cuerpo de Aceleración



Fuente: Autores

La caída de presión relacionando la entrada con la salida del cuerpo de aceleración se muestra de la siguiente manera:

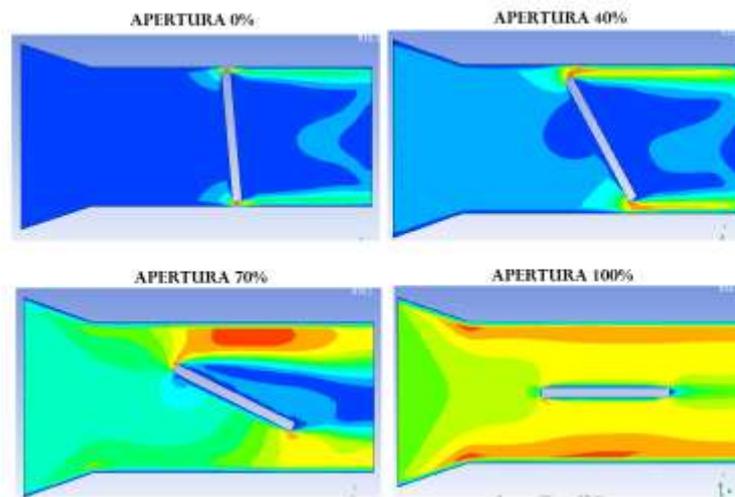
Tabla 3. Variación de presión en el cuerpo de aceleración

Apertura	ΔP (KPa)
0%	68,7
40%	60,67
70%	51,67
100%	28,37

Fuente

Lo cual nos muestra un comportamiento normal provocado por el vacío creado por los cilindros a bajas y altas revoluciones del motor. En el figura 16 se muestra la variación de velocidad del aire en el cuerpo de aceleración según la posición de la aleta de aceleración.

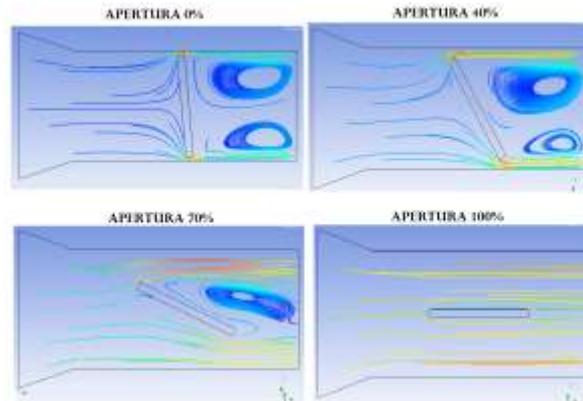
Figura 14. Comportamiento de la Velocidad del Aire en el Cuerpo de Aceleración



Fuente: Autores

En el figura 17 se muestra el comportamiento del flujo en el cuerpo de aceleración, notándose claramente los vórtices creados tras la aleta de aceleración mientras se da la apertura de la misma, y llegando a crearse un flujo más laminar al encontrarse dicha aleta totalmente abierta.

Figura 15. Comportamiento del Flujo de Aire en el Cuerpo de Aceleración



Fuente: Autores

3.4 Cálculo y diseño del restrictor

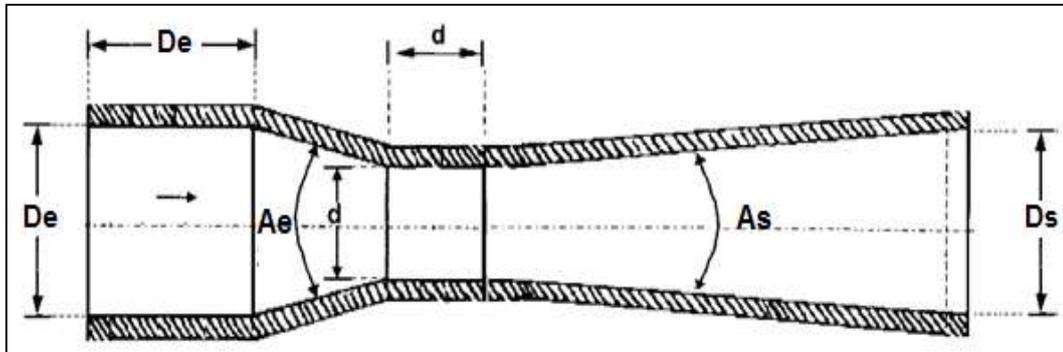
En la competencia de la Formula SAE existe una exigencia en el diseño del MA, donde plantea que el flujo de aire que ingresa al motor debe circular a través de una restricción de 20 mm colocada entre el cuerpo de aceleración y el MCI, lo cual se realiza con el fin de limitar la capacidad de potencia del motor, motivando a los estudiantes a utilizar su capacidad resolutoria de problemas para encontrar el apropiado diseño del MA, con el cual se logre alcanzar la máxima tasa de flujo másico con la mínima aspiración del motor, así como reducir la caída de presión que se produce en dicho restrictor.

En el diseño del restrictor se puede considerar las dos opciones con las que se cuenta como son: el tipo Venturi y el tipo Convergente-Divergente, donde en este último debido al aumento inmediato de área de la sección transversal se produce una mayor caída de presión en comparación con el tipo Venturi, el cual mediante su garganta permite suavizar dicha caída de presión, la cual bordea entre el 10 y 20%, siendo este último el más apto para plantearlo en nuestro MA para el Formula SAE.

3.4.1 Restrictor Tipo Venturi. El tubo Venturi es una configuración donde varía el diámetro del conducto por donde el fluido circula. El efecto Venturi se asemeja a un embudo donde la velocidad del fluido se incrementa mientras el área de la sección transversal se reduce. Acorde a las leyes que gobiernan la dinámica de fluidos, la velocidad de un fluido al pasar a través de un estrangulamiento debe incrementar su velocidad para satisfacer el principio de continuidad, y a su vez la presión debe reducirse para cumplir con el Principio de Conservación de la Energía.

Para el diseño de un Restrictor tipo Venturi es necesario cumplir con las dimensiones según la Norma ISO 5167-3, mismas que se muestran a continuación:

Figura 16. Dimensiones del Tubo de Venturi



Fuente: (MOTT, 2006)

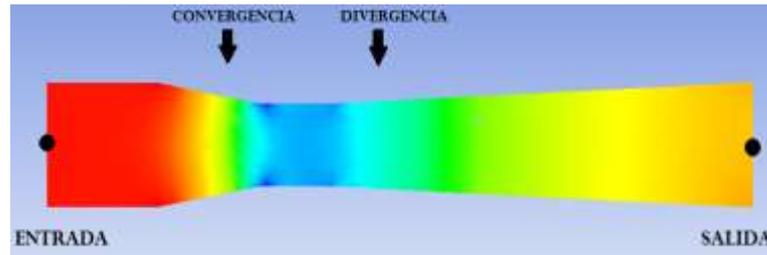
Donde:

- De: Diámetro de entrada (en este caso Diámetro de la Aleta de aceleración)
- Ds: Diámetro de salida
- d: Diámetro del estrangulamiento o garganta
- Ae: Ángulo de entrada (20-22°)
- As: Ángulo de salida (5-7°)

3.4.1.1 *Selección de los ángulos y diámetro de salida para dimensionamiento del restrictor.* La selección del ángulo apropiado dependerá de la caída de presión que se produzca entre la entrada y la salida del restrictor, donde se buscara seleccionar la menor caída de presión producida para así poder tener el máximo flujo másico a las salida del restrictor.

Para el cálculo de los mencionados valores de caída de presión, se ha realizado simulación en el software ANSYS 16.1 en la herramienta Fluid Flow CFX, para lo cual se tomó valores ideales de presión de entrada (101 325 Pa) y Flujo másico en la salida (0.05 kg/s).

Figura 17. Análisis de presión en CFX del restrictor (Convergencia 21 - Divergencia 5)



Fuente: Autores

En la imagen se muestra el análisis de presión para un restrictor con ángulos de Convergencia de 21° y Divergencia de 5° donde se puede observar que el valor de presión en la salida es de 99 500,3 Pa, por lo cual la caída de presión con respecto a la entrada es de 1 824,7 Pa.

Realizando un análisis similar para los distintos ángulos de convergencia y divergencia se ha obtenido la siguiente tabla de valores de caída de presión.

Tabla 4. Caída de presión según ángulos de convergencia - divergencia.

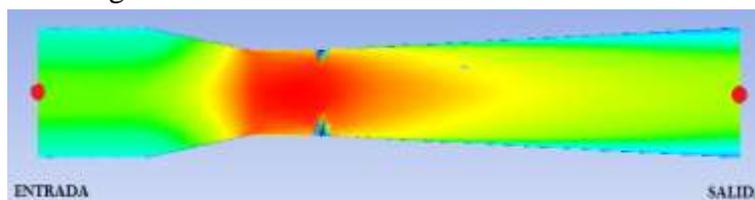
CONVERGENCIA	DIVERGENCIA	CAIDA DE PRESION
20	5	1889,7
20	6	1994,6
20	7	2025,4
21	5	1824,7
21	6	1970,9
21	7	2116,6
22	5	1929,3
22	6	1945,7
22	7	2124,1

Fuente: Autores

En la tabla muestra que la menor caída de presión es de 1824,7 Pa y se produce en el restrictor que tiene un ángulo de Convergencia de 21° y de Divergencia de 5° por lo cual estos serán los valores para el dimensionamiento.

Así mismo se hizo un análisis para determinar la velocidad del aire relacionando la entrada con la salida del restrictor, de acuerdo al cambio de sección en la salida del restrictor.

Figura 18. Análisis de velocidad en el restrictor



Fuente: Autores

En base al análisis realizado se obtuvo la siguiente tabla de datos, donde se puede notar que el diámetro por el que conviene optar es el de 25mm en la salida, ya que se tiene un aumento de velocidad con respecto a la entrada, logrando obtener un mejor llenado en el pleno debido a la configuración del mismo.

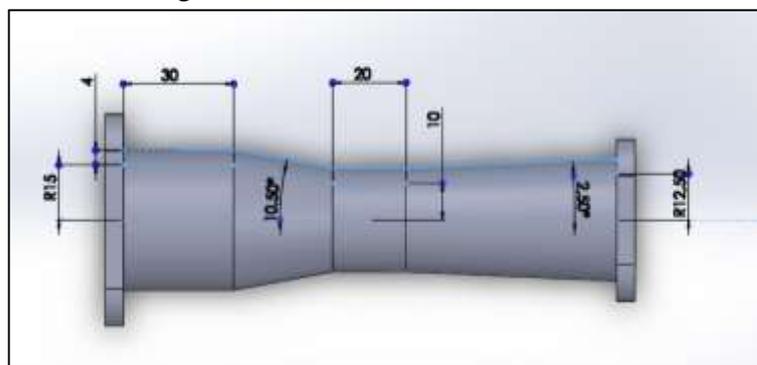
Tabla 5. Variación de velocidad de salida (entrada - salida)

Diámetro (m/s)	Velocidad en la entrada (m/s)	Velocidad en la salida (m/s)	Variación de Velocidad $dV = V_s - V_e$
25	60	73.15	13,15
30	60	45.98	-14,19
35	60	26.83	-33,17

Fuente: Autores

Por ende el dimensionamiento óptimo del restrictor queda de la siguiente manera

Figura 19. Dimensiones del restrictor



Fuente: Autores

3.4.1.2 Flujo másico a través del restrictor. La Fórmula SAE plantea el uso del restrictor de 20 mm con el fin de limitar la capacidad de potencia proveniente del motor, por lo que se ha planificado conseguir la máxima tasa de flujo másico en función a una diferencia de presión mínima entre la atmosfera y la producida en el cilindro.

Para el cálculo del flujo másico a la salida del restrictor se aplica la ecuación 8:

El número de Mach debe ser calculado en la restricción, debido a que es la zona crítica del elemento con la ecuación 9.

Para encontrar el número de Mach en la restricción se seguirá el siguiente procedimiento:

- La velocidad media del pistón se la puede encontrar aplicando la ecuación 3

$$Vm = \frac{0,0405 * 12500}{30}$$

$$Vm = 16,875 \frac{m}{s}$$

- Encontrar la velocidad del aire en la del VA, para la cual se aplica la ecuación 2, en este caso como son dos VA, se duplica el área, entonces tenemos:

$$Vg = \frac{2463,01mm^2 * 16,875 \frac{m}{s}}{760,265mm^2}$$

$$Vg = 54,67 \frac{m}{s}$$

Aplicar la Ecuación de continuidad (ecuación 4) para encontrar la velocidad en la entrada, y a su vez para encontrar la velocidad en la restricción, obteniendo lo siguiente:

$$V_1 = \frac{760,265mm^2 * 54,67 \frac{m}{s}}{706,86mm^2}$$

$$V_1 = 58,8 \frac{m}{s}$$

Por lo tanto tenemos para la velocidad de entrada al restrictor una velocidad de 58,8 m/s, para lo cual aplicamos nuevamente la ecuación de continuidad para encontrar la velocidad del fluido en la restricción, así que tenemos:

$$V_1 = \frac{706,85 \text{ mm}^2 * 58,8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{314,16 \text{ mm}^2}$$

$$V_1 = 129,77 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

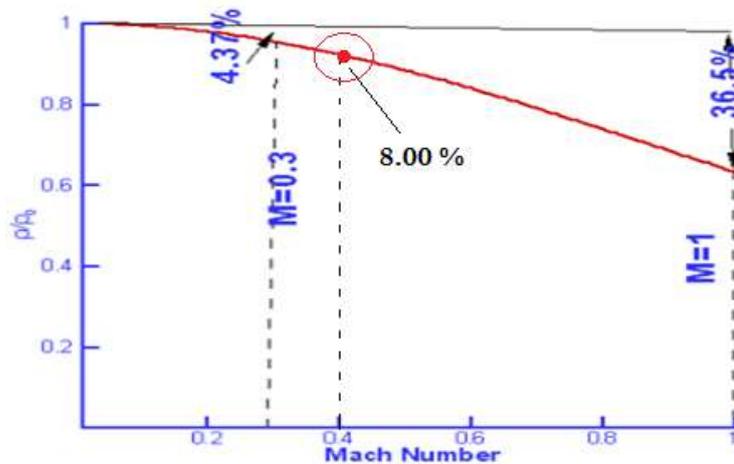
Reemplazando en la ecuación 6, tenemos que el número de Mach es igual a:

$$M = \frac{129,77 \text{ m/s}}{343 \text{ m/s}}$$

$$M = 0,4$$

Debido al cambio de número de Mach en el restrictor, tenemos que la densidad también sufre un cambio, lo cual se puede verificar en el siguiente gráfico:

Figura 20. Densidad de acuerdo al número de Mach



Fuente: (POTTER, y otros, 1997)

Por lo cual tenemos que cuando el número de Mach es igual a 0,4 se produce una reducción de la densidad en un 8%. Para determinar el valor de la densidad en la restricción aplicamos la siguiente fórmula:

$$\partial_r = \partial_e - (\partial_e * \%C)$$

Donde

- $\partial_r =$ Densidad del aire en la restricción

- $\rho_e =$ Densidad del aire a 15°C
- $\%C =$ Porcentaje de cambio de densidad con respecto al Número de Mach

Numero de Mach

Para lo cual reemplazamos los datos

$$\rho_r = 1,225 \text{ kg/m}^3 - (1,225 \text{ kg/m}^3 * 0,08)$$

$$\rho_r = 1,127 \text{ kg/m}^3$$

Así mismo como existe una variación en la densidad del aire al momento de pasar por la restricción, existe una caída en la presión para lo cual se aplicara la Ecuación de Bernoulli la misma que viene dada de la siguiente forma:

$$P_e + \left(\frac{1}{2} * \rho_1 * V_1^2\right) = P_2 + \left(\frac{1}{2} * \rho_2 * V_2^2\right)$$

10

Donde

- P_e : Presión del aire de entrada del restrictor
- P_r : Presión en la restricción
- ρ_e : Densidad del aire en la entrada del restrictor
- ρ_r : Densidad del aire en la restricción
- V_e : Velocidad en la entrada del restrictor
- V_r : Velocidad en la restricción

Resolviendo la Ecuacion de Bernoulli tenemos

$$P_2 = 101325 \text{ Pa} + \left(\frac{1}{2} * 1,225 \text{ kg/m}^3 * (58,8\text{m/s})^2 \right) - \left(\frac{1}{2} * 1,127\text{kg/m}^3 * (129,77\text{m/s})^2 \right)$$

$$P_2 = 101325 \text{ Pa} + (2117,68 \text{ Pa}) - (9199,23 \text{ Pa})$$

$$P_2 = 94243.45 \text{ Pa}$$

Reemplazando en la ecuación 5 tenemos que el flujo másico que circula a través del restrictor es:

$$m = \frac{3,1416 \times 10^{-4} \text{ m}^2 * 94243.45 \text{ Pa}}{\sqrt{298 \text{ K}}} * \sqrt{\frac{1,4}{286 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}}} * 0,4 * \left[1 + \frac{(0,4)^2 (1,4 - 1)}{2} \right]^{-\frac{1,4+1}{2(1,4-1)}}$$

$$m = 1,7151 \frac{\text{N}}{\sqrt{\text{K}}} * 0,0699 \sqrt{\frac{\text{kg} \cdot \text{K}}{\text{J}}} * 0,4 * [1,032]^{-3}$$

$$m = 0,044 \text{ kg/s}$$

Para el cálculo de caudal de aire que circula a través del restrictor se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q_{max} = \frac{m}{\delta_r}$$

11

Donde

- Qmax=Caudal máximo
- m=Flujo másico
- δ_r =Densidad del aire en la restricción

Resolviendo la ecuación 12 tenemos que el caudal es el siguiente:

$$Q_{max} = \frac{0,044 \frac{kg}{s}}{1,127 \frac{kg}{m^3}}$$

$$Q_{max} = 0,039 \frac{m^3}{s}$$

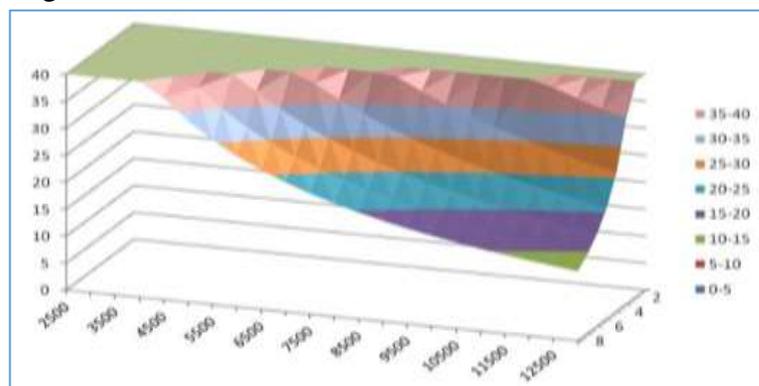
3.5 Cálculo y diseño de conductos de admisión o runners

Los conductos de admisión o runners son parte del SA que entrega el aire proveniente desde el pleno hacia los cilindros, conductos en los cuales se produce un fenómeno de ondas acústicas. El comportamiento de las ondas acústicas en el final de los conductos es longitudinal, y se produce debido a las regiones alternativas de compresiones y vacíos, producidas por la apertura y cierre de las VA, mientras que el extremo del conducto que conecta al pleno, funciona como una pared, reflejando las ondas acústicas de nuevo a hacia la VA.

El objetivo de un buen diseño de los conductos de admisión es de encontrar las dimensiones óptimas para que a las RPM del torque máximo, exista la columna una columna de alta presión de aire esperando por ser aspiradas por el cilindro al darse la apertura de la VA, lo cual influye en una mejor eficiencia volumétrica y por ende una máxima potencia de salida.

Para conseguir esto se puede hacer uso de los armónicos de orden superior que ocurren en este fenómeno, con los cuales se puede determinar en qué grado la longitud de los conductos están actuando.

Figura 21. Orden de armónicos en conductos de admisión.



Fuente: (KATZ, 1995)

Para el cálculo de la longitud de los conductos de admisión se utiliza la ecuación 8:

$$L = \frac{84000}{10000}$$

$$L = 8,4 \text{ plg}$$

$$L = 213,36 \text{ mm}$$

Lo cual nos demuestra que en los conductos de admisión se producirán ondas acústicas del 5to orden armónico, lo que significa que dichas ondas recorrerán cinco veces a lo largo del conducto durante el periodo producido entre el cierre y la apertura de la VA. En cuanto al dimensionamiento del diámetro de los conductos de admisión, se puede aplicar la ecuación 9, obteniendo:

$$\phi_c = \sqrt{\frac{10000 * 0,4 L * 0,90}{3330}}$$

$$\phi_c = 1,039 \text{ plg}$$

$$\phi_c = 26,4 \text{ mm}$$

Una vez obtenidas las dimensiones generales de los runners, es importante considerar la curvatura que los mismos deben presentar para lograr la conexión final del pleno hacia cada uno de los cilindros, además de considerar que parte de los runners deben tener una base que sirva de conexión con el motor, así como también tanto los asientos como las bases para los inyectores y el riel de inyectores respectivamente.

Para esto, el diseño de la curvatura de los runners se verá involucrado directamente con el proceso de fabricación y el espacio disponible para los mismos.

Figura 22. Runners



Fuente: Autores

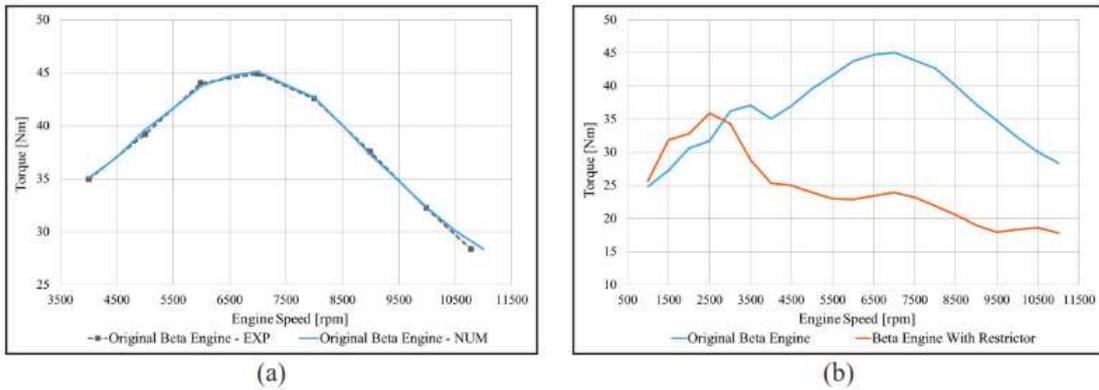
3.6 Cálculo y diseño del pleno

Una de las características más importantes a determinar luego de la geometría es la medida del pleno, haciendo referencia al volumen interno. El mismo afecta directamente al rendimiento del motor pero es uno de los elementos en el que más se dificulta el dimensionamiento. Una de las complicaciones para el diseño es que el MA debe satisfacer las necesidades del motor tanto en estados estables como en transitorios. Siendo de esta manera que de un lado necesitamos un pleno de volumen no tan pequeño (se recomienda que sea de por lo menos igual a 2 veces la capacidad del motor), para que pueda proveer al menos los mínimos requerimientos del motor. (ANDRE, 2012)

Sin embargo en análisis estáticos los estudios demuestran que entre más volumen comprometa el pleno mejor respuesta, aunque en contraste este volumen tiene un impacto determinante en la respuesta del acelerador haciéndola más lenta. Es así que el reto se presenta en que se debe buscar un volumen que beneficie de manera equitativa tanto al estado estático como al estado transitorio. (ANDRE, 2012)

Figura 23. (a) Torque de un motor original a carga completa; (b) Comparación de la curva de torque entre un motor con la configuración original y una configuración con

restricción en la entrada.



Fuente: (Giovanni, y otros, 2015)

Para el diseño del pleno vamos a partir del cálculo del volumen óptimo para el mismo, para esto nos vamos a servir de los análisis que podemos realizar en el software Ansys, específicamente en uno de sus complementos CFX que presta facilidades para el estudio de fluidos.

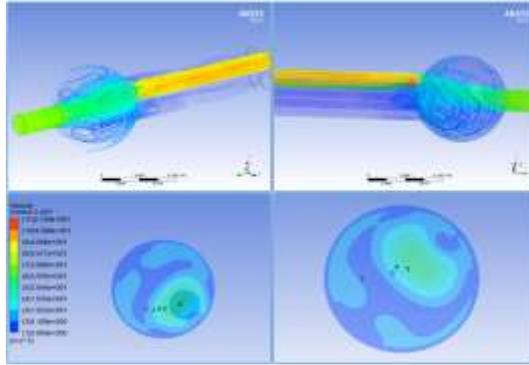
Para lo cual se ha planteado un diseño básico de un pleno esférico el cual consta de un volumen correspondiente al doble de la cilindrada del motor (800 cc), los diámetros tanto de la entrada como de la salida han sido dimensionados de acuerdo a los cálculos iniciales realizados con las especificaciones del motor. Las salidas que simulan los runners dirigidos hacia cada uno de los cilindros tienen de la misma manera la longitud calculada y están ubicados simétricamente en relación a la entrada por lo que teóricamente el único parámetro que tendrá influencia en los parámetros de salida será el volumen del pleno.

Se realizará una simulación en CFX para comprobar si la hipótesis planteada es verdadera.

Con parámetros de entrada de aire a una velocidad de 30m/s, se establecerá un análisis individual para cada salida mientras las otras tres están cerradas y finalmente con todas las salidas abiertas. Para de esta manera comprobar si la velocidad de salida es similar en cada uno de los runners.

Figura 24. Análisis realizado en CFX con entrada de aire a 30 m/s, zonas de presión en

distintas salidas.

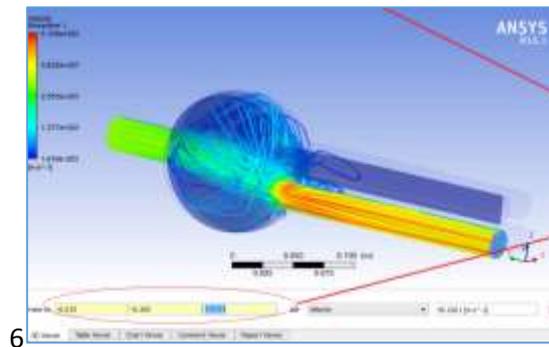


Fuente: Autores

Como se puede observar el flujo en dos distintas salidas tiene un comportamiento similar, trazando gráficas simétricas con valores similares tanto en el pleno como en la salida.

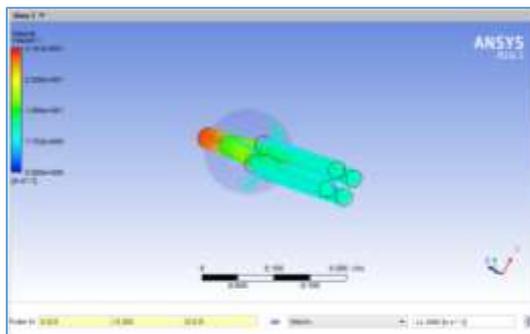
Ahora se analizará la velocidad en cada una de las salidas.

Figura 25. Comparación velocidad de aire en las distintas salidas (una a la vez), varía entre 44,8193 a 45,2201 m/s.



Fuente: Autores

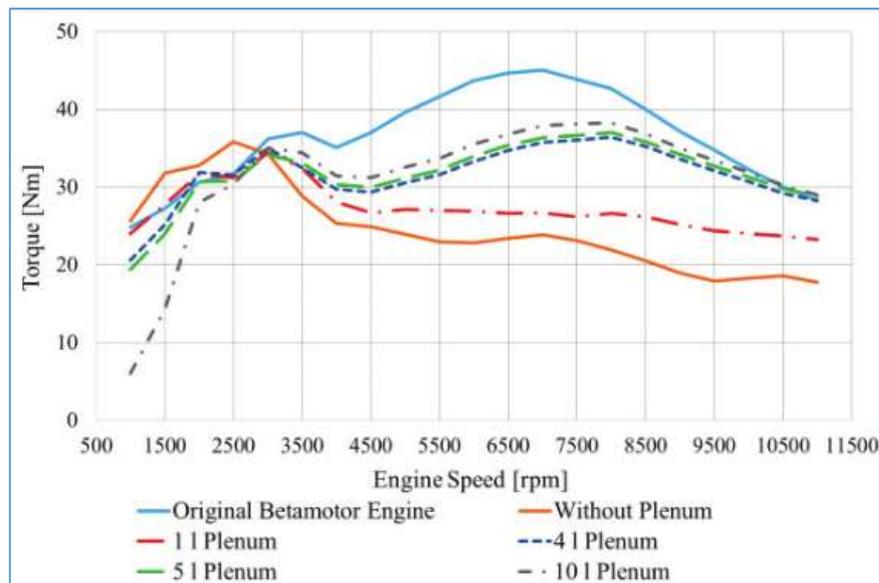
Figura 26. Comparación de la velocidad de salida (todas al mismo tiempo), varía entre 11,26 y 11,34 m/s.



Fuente: Autores

Como se ha podido comprobar, la hipótesis planteada puede ser tomada como válida al comprobar que por la simetría del pleno el único factor que influirá en el comportamiento de los parámetros de salida será el volumen del pleno. Ahora para determinar el volumen óptimo vamos a remitirnos a varios estudios que se han realizado en relación al tema.

Figura 27. Torque del motor a plena carga con distintas medidas de volumen del pleno equipado con restrictor.



Fuente: (Giovanni, y otros, 2015)

En uno de los numerosos estudios realizados en cuanto al cálculo del volumen del pleno podemos observar cuán importante es la selección del mismo al conseguir una curva de torque más pareja a lo largo de la línea que dibuja las revoluciones del motor.

De igual manera se puede observar cómo influye cada aumento de volumen en la misma curva, mejorando el comportamiento del motor en estados estáticos, pero empeorándolo un poco en estados transitorios.

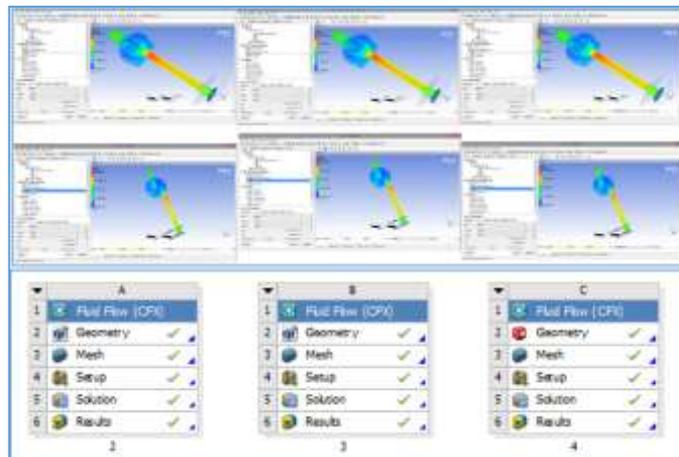
3.6.1 Selección del volumen óptimo. Los datos de entrada para el análisis en CFX son los que se puede observar en la tabla, en la que de igual manera se han ingresado los resultados obtenidos para cada uno de los distintos volúmenes del pleno que son X veces la cilindrada del motor.

Tabla 6. Datos obtenidos en la salida para distintos volúmenes del pleno.

DATOS		X CIL.	V. SALIDA (m/s)	P. SALIDA (Pa)	P. TOTAL (Pa)
CIL.	400 cc	2	43,3762	-85,4072	1030,39
L. ENTRADA	60 mm	3	43,5337	-83,5836	1040,33
L. SALIDA	224,58 mm	4	44,111	-76,1968	1077
D. ENTRADA	30 mm	5	44,1268	-75,9103	1078,73
D. SALIDA	25,74 mm	6	44,5778	-68,1066	1110,32
V. ENTRADA	30 m/s	7	44,9092	-68,4252	1127,54
		8	45,0049	-74,266	1126,82
		9	45,3202	-74,6863	1142,56
		10	44,7831	-72,619	1116,79

Fuente: Autores

Figura 28. Análisis de cada uno de los volúmenes en CFX.



Fuente: Autores

En las siguientes gráficas podemos observar cómo influye el volumen del pleno en el comportamiento del aire en la salida tanto en la velocidad como también en la caída de presión.

Figura 29. Velocidad de salida vs Volumen del pleno

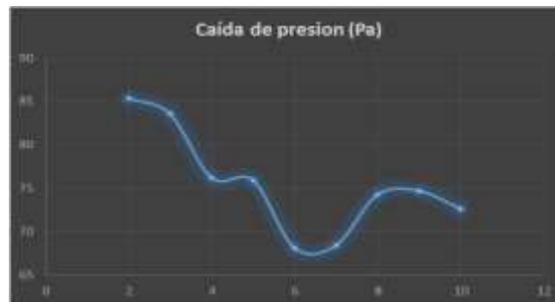


Fuente: Autores

En la figura 31 se puede apreciar como la velocidad de salida se ve afectado por el

volumen del pleno, lo que traducido a comportamiento del motor sería su respuesta en altas revoluciones en estados constantes o estables cuando el motor ha alcanzado las revoluciones óptimas de par y potencia; de esta manera se puede observar que para este caso valores de entre 4 veces hasta 9 veces la cilindrada del motor para el pleno se traducen en una mejor respuesta del motor en altas revoluciones proporcionalmente al aumento de volumen del pleno, luego de estos valores el aumento del volumen del pleno ya no beneficia a la velocidad de salida progresivamente observando un declive en la curva, por lo que serían valores no aprovechables tomando en cuenta también las dimensiones del diseño.

Figura 30. Caída de presión vs Volumen del pleno



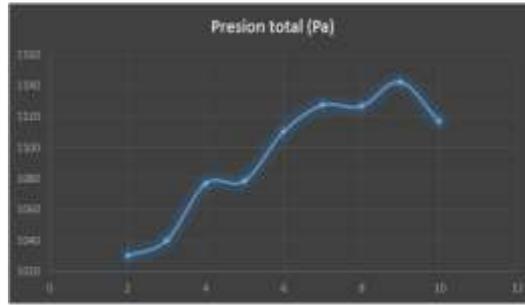
Fuente: Autores

En contraste con el resultado anterior podemos observar en la figura 32 como la caída de presión en las salidas en buena en valores más bajos desde 4 hasta 8 veces la cilindrada del motor, lo que traducido a comportamiento del motor sería la respuesta a la aceleración en estados transitorios, cuando el motor aún no ha alcanzado sus revoluciones óptimas de funcionamiento en cuanto a par y potencia. De esta manera tenemos una idea de un rango que beneficiaría a los dos estados: desde 5 hasta 8 veces la cilindrada del motor.

Para la selección de entre los valores presentes en el rango se debe tomar en consideración las exigencias del trazado del circuito, y que valores beneficiaran mejor al comportamiento del vehículo en general.

Mediante el cálculo del aire teórico y de velocidades de salida vamos a observar los comportamientos de la caída de presión y de velocidades del aire en función de las revoluciones que adquiera el motor para cada uno de las diferentes medidas del volumen del pleno.

Figura 31. Presión total vs Volumen del pleno



Fuente: Autores

El cálculo de las revoluciones y de las velocidades del aire se ha realizado con los siguientes datos.

Tabla 7. Datos y valores calculados de revoluciones y velocidades de aire en el pleno.

DATOS		RPM	Vm piston (m/s)	Ve gas valvula (m/s)	Ve gas pleno (m/s)
CILINDRADA	400 c.c.	1300	1,755	5,685603046	6,11525076
DIAMETRO DE CILINDRO	56 mm	4500	6,075	19,68093362	21,16817571
CARRERA	40,5 mm	8000	10,8	34,98832644	37,63231237
AREA VALVULAS (2 VALVULAS DE ADMISIÓN)	7,60265 x 10 ⁻⁴ m	9000	12,15	39,36186724	42,33635142
AREA PISTON	2,4630 x 10 ⁻³ m	14000	18,9	61,22957127	65,85654665

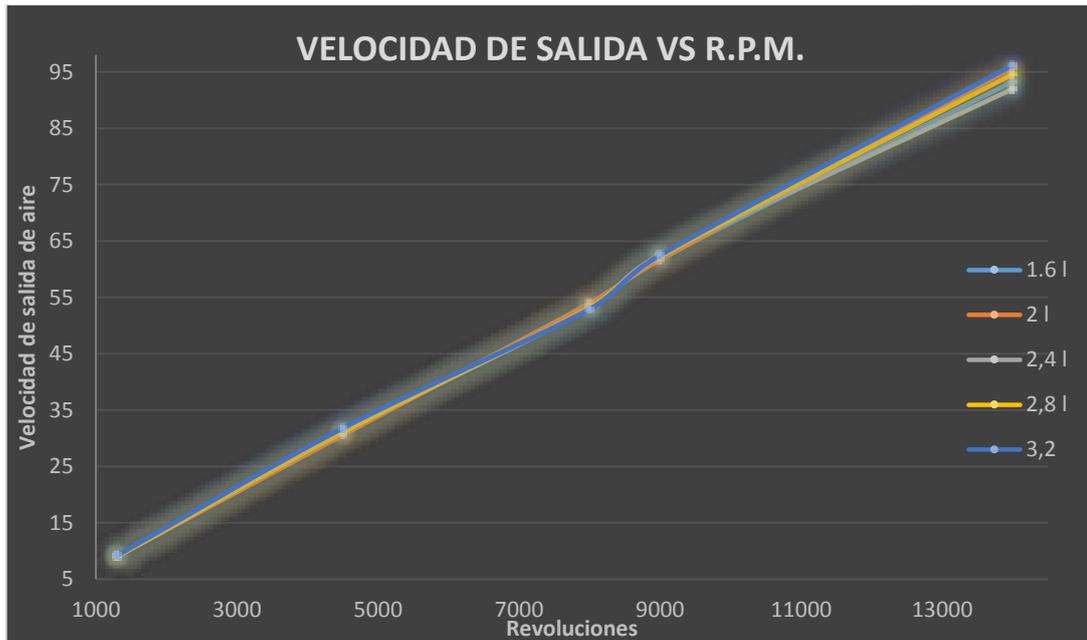
Fuente: Autores

En las figuras 34 y 35 se han representado las curvas creadas por cada volumen en función de dos variables respecto a las revoluciones respectivamente, la figura 34 de velocidad de salida vs RPM. y la figura 35 caída de presión vs RPM.

En estas gráficas se puede observar de mejor manera como el comportamiento del motor contrasta para cada parámetro respecto a las revoluciones, existiendo un mejor desempeño para un pleno de menor volumen en altas revoluciones (respuesta del acelerador), y al contrario un mejor desempeño para un mayor volumen en altas revoluciones (desempeño en estado estacionario).

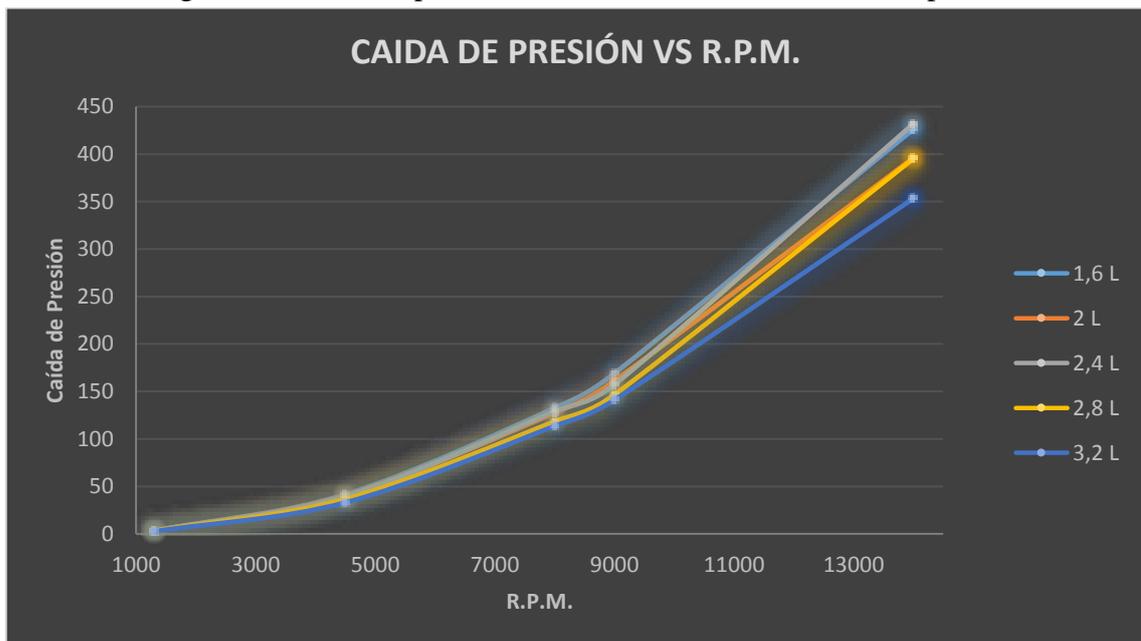
De acuerdo a lo analizado se ha determinado un volumen óptimo de 7 veces la cilindrada del motor que equivaldría a 2,8 litros.

Figura 32. Velocidad de salida vs R.P.M de cada volumen del pleno



Fuente: Autores

Figura 33. Caída de presión vs R.P.M. de cada volumen del pleno

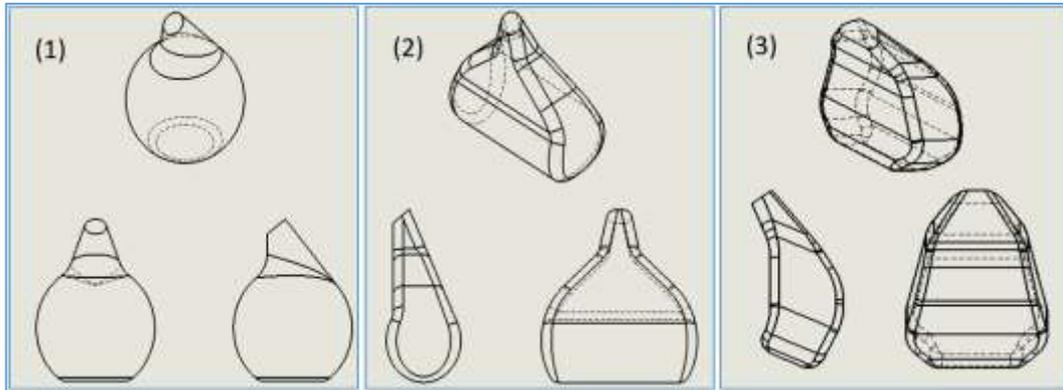


Fuente: Autores

3.6.2 Geometría. No solo el volumen es parte importante del diseño del pleno, la forma que éste presente influirá directamente en la buena distribución del aire a cada una de las salidas, factores como la simetría y la ubicación de las salidas respecto a la entrada, trayectorias de flujo de aire simples y son determinantes para obtener un buen rendimiento en cada uno de los cilindros.

Es así que en el presente trabajo se propondrán 3 plenos con distintas geometrías pero volúmenes similares con la finalidad de seleccionar uno en el que la geometría sea la mejor para el proyecto.

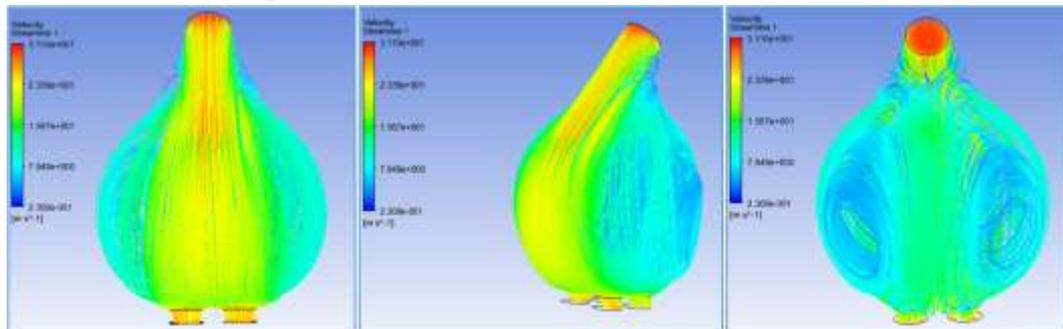
Figura 34. Diseños tentativos para el pleno, con volúmenes similares.



Fuente: Autores

Una vez realizados los análisis en CFX, se obtuvo lo siguiente:

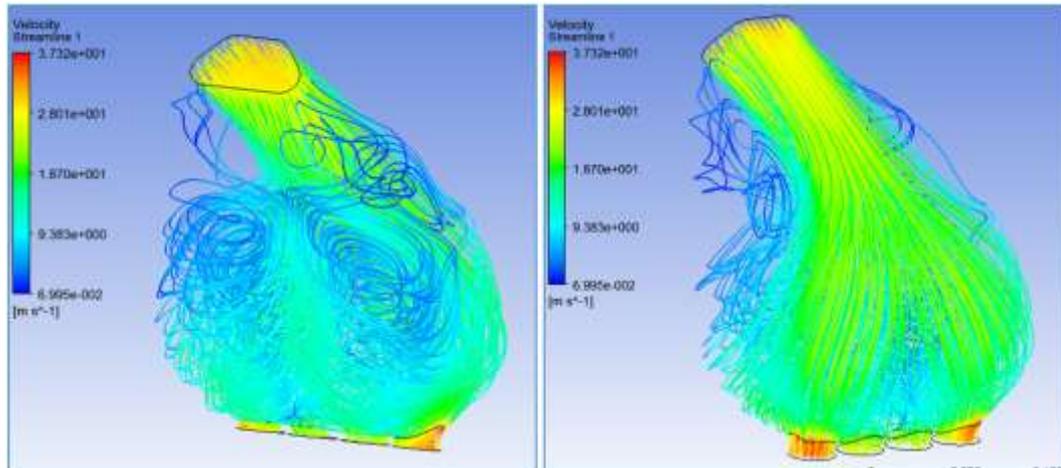
Figura 35. Resultados del análisis del diseño 1.



Fuente: Autores

Para el primer diseño se puede observar como la forma esférica del pleno suaviza las líneas de flujo de aire provocando una recirculación del aire sin la presencia de zonas muy turbulentas, el inconveniente de esta geometría es que por la disposición de las salidas las dos que se encuentran próximas a la cara se benefician con una mejor circulación de aire, en este caso una posible reubicación de las salidas para una mejor distribución del aire resulta difícil por el espacio disponible en la geometría.

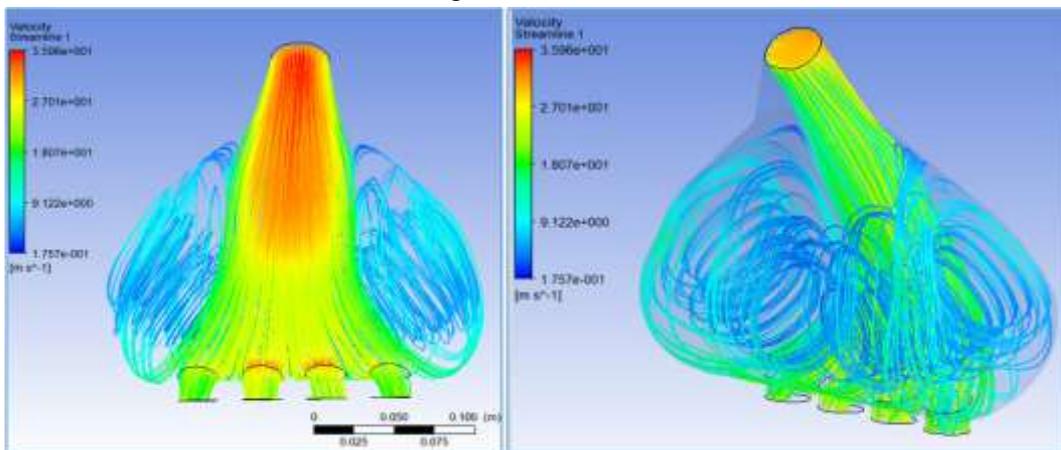
Figura 36. Resultados del análisis del diseño 3



Fuente: Autores

Para el tercer diseño, se puede observar como la geometría provoca una recirculación de aire turbulenta que, además de no permitir un trayecto más suave hacia las salidas, modifica la trayectoria y en este caso beneficiando a las salidas ubicadas en los extremos, una reubicación de las salidas no ayudaría en mucho, debido a que se puede observar claramente que existe una deficiencia del flujo en la zona intermedia.

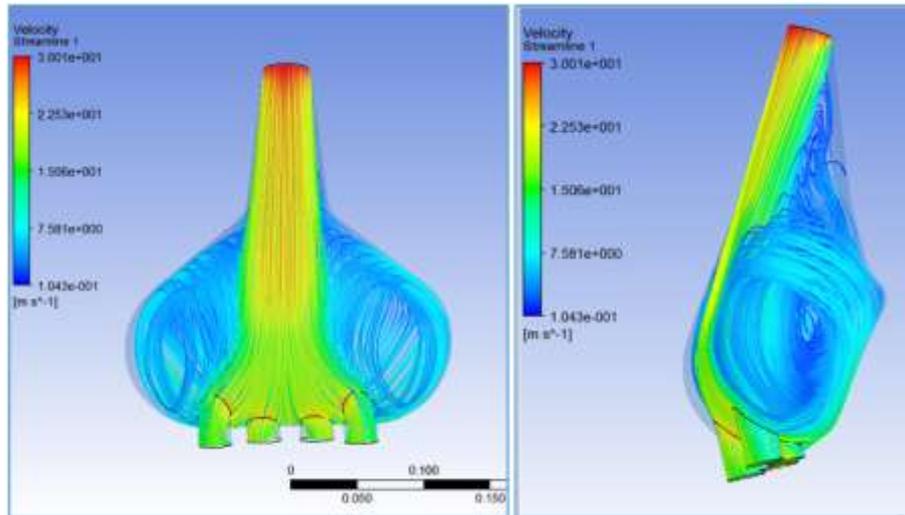
Figura 37. Diseño



Fuente: Autores

Para el segundo diseño, se puede observar que por las curvaturas se forma un flujo suave con una recirculación de aire poco turbulenta y mejor distribución en las salidas, aunque aún se puede observar como las salidas intermedias están siendo beneficiadas por su ubicación, en este caso es posible hacer un rediseño y ubicar mejor las salidas para que el flujo se distribuya de mejor manera debido a que el espacio disponible y la distribución del flujo lo permiten.

Figura 38. Diseño final



Fuente: Autores

Realizando un refinamiento del diseño, y reubicando las salidas se ha logrado obtener una buena distribución del aire en cada una de las salidas con una recirculación sin mucha turbulencia. Este diseño será el considerado para la construcción.

Cabe recordar que el diseño obtenido es únicamente la parte interna, que será la base para realizar el diseño final que variará en su presentación externa por motivos de construcción además de otros aditamentos necesarios para su sujeción, pero que de ninguna manera intervendrán en su forma original en la parte interna, ante lo expuesto el diseño final del pleno es el siguiente:

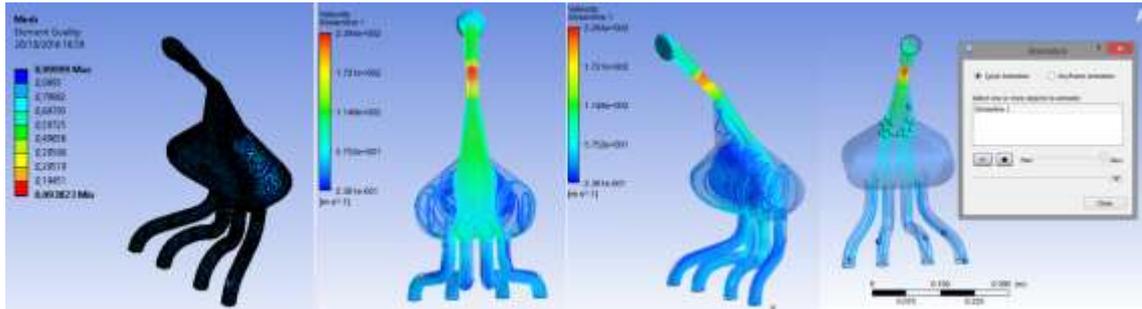
Figura 39. Diseño externo final del pleno superior (i), inferior (d).



Fuente: Autores

De esta manera, finalmente se ha podido obtener el diseño final de cada una de las partes del MA, y de esta manera poder evaluar un funcionamiento en general, es así como se procedió a realizar una simulación del conjunto de elementos que conforman el MA, obteniendo los siguientes resultados.

Figura 40. Análisis del conjunto completo.



Fuente: Autores

De manera similar realizando un mallado adecuado se analizó el conjunto completo, dando como resultados globales, los mismos que se proyectó en los análisis individuales; se pudo observar claramente cada una de las zonas críticas como la de la restricción así como también el flujo dentro del pleno; el flujo y las trayectorias dentro de los runners debido a la longitud calculada permite el igual llenado de cada uno de los cilindros.

CAPITULO IV

4. CONSTRUCCIÓN DEL MÚLTIPLE DE ADMISIÓN

4.1 Selección de materiales

Tomando en cuenta todas las consideraciones planteadas al inicio del diseño, la selección de los materiales es clave para asegurar el buen desempeño del MA, al estar las distintas partes sometidas a diferentes condiciones de funcionamiento la posibilidad de considerar distintos materiales para cada una se transforma en una necesidad, aunque viéndolo desde otro punto de vista podría considerarse como ventaja, al poder seleccionar para cada parte un material que brinde las mejores propiedades y características, que en general serán materiales que puedan ofrecer una baja resistencia a la circulación de aire y que además no tengan un peso elevado.

4.2 Tendencias de materiales

En la actualidad existe una gran tendencia al cambio e innovación en lo que refiere al sector automotriz, de manera que se obtengan motores con resultados que estén a la altura de las necesidades de cada momento, por lo cual el diseño de nuevas piezas y componentes ha sido un parámetro fundamental para conseguirlo.

La utilización de plásticos en la construcción de autopartes ha aportado en gran medida a esta labor. En los últimos años, los MA de nuevos modelos que ingresan al mercado, se encuentran fabricados con un polímero plástico de gran resistencia, con lo cual se ha conseguido una importante reducción de peso y mejora en las prestaciones del motor, las cuales están determinadas por el aumento de cantidad de aire que ingresa a los cilindros, ya que debido a la baja conductividad térmica del plástico, existe menor calentamiento del aire o a su vez un aire más fresco que al estar utilizando un múltiple de aluminio o acero fundido. A su vez se consigue mejor rendimiento debido a que cuenta con un mejor acabado superficial (menor fricción) en los múltiples de plástico en comparación con los colectores de aluminio, incrementando el flujo y por ende el par motor y la potencia.

4.3 Construcción del restrictor

4.3.1 *Selección del material.* Para seleccionar el material adecuado se construyó una tabla valorativa con los materiales más apropiados para la construcción.

Tabla 8. Valoración de materiales para el Restrictor.

Material Restrictor				
	Naylon	Teflon	PLA	ABS
COSTO	5	5	4	3
PESO	4	4	4	4
RESISTENCIA	4	4	4	5
RESISTENCIA T°	3	5	3	4
CONSTRUCCION	5	5	4	4
TOTAL PROM	4,2	4,6	3,8	4

Fuente: Autores

Como consideración individual del restrictor tenemos que es una de las partes que no está sometida a la temperatura, así como tampoco lo está a esfuerzos mecánicos considerables, además de que por su geometría sencilla no representa un problema en cuanto al proceso de manufactura, esto hace posible que para la fabricación del mismo se pueda considerar polímeros usados en ingeniería de una buena resistencia y propiedades mecánicas así como su fabricación por medio de un torno, la posibilidad de realizar la construcción del restrictor a través de una impresión en 3D es poco viable debido al costo.

En el mercado existen 2 materiales que son muy usados para reparar o construir refracciones de suspensiones de automóviles entre otras cosas, los cuales ofrecen características y propiedades importantes tanto mecánicas como físicas; estos materiales son el Nailon y el Teflón (Politetrafluoroetileno), de los cuales el segundo tiene como ventaja su resistencia a temperaturas más elevadas (hasta 270 °C), además de que es considerado prácticamente inerte al no reaccionar con otras sustancias salvo condiciones muy especiales. En cuanto a la maquinabilidad al teflón se le puede dar un acabado fino mediante cualquier proceso de pulido y de pintado.

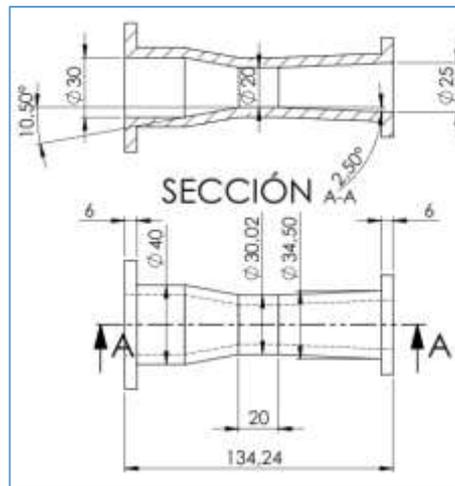
Tabla 9. Propiedades TEFLON

Propiedades TEFLON	
Densidad	2,2 gr/cm ³
Resistencia a la tracción	30 MPa
Resistencia a la temperatura	260 °C
Facilidad de Fabricación	Muy buena

Fuente: (Granta Design, 2005)

4.3.1.1 *Proceso.* Una vez obtenido el diseño final con las dimensiones, ángulos y partes necesarias para la sujeción se procederá a su fabricación para la cual se ha partido desde un eje de teflón de 2.5 pulgadas de diámetro, de 15 cm de longitud, a partir de la cual se mecanizará el restrictor por medio de un torno.

Figura 41. Planos restrictor



Fuente: Autores

Lo primero que se realizará será un taladrado longitudinal en el eje con una broca de $\frac{3}{4}$ de pulgada, del cual se partirá para realizar las medidas internas de un lado y de otro.

Figura 42. Taladrado con broca de $\frac{3}{4}$.



Fuente: Autores

Con una cuchilla fabricada se procedió a desbastar y acabar los diámetros y conos internos

del restrictor, además de cilindrar el eje con la mayor medida del restrictor para poder dar la vuelta y proceder a realizar el otro lado.

Figura 43. Desbastado y acabado interno del restrictor.



Fuente: Autores

Una vez que se culminó la parte interna se procedió a desbastar y acabar los diámetros y conos externos

Figura 44. Desbastado y acabado exterior del restrictor.



Fuente: Autores

Una vez acabado, se verificaron las medidas las cuales eran correctas, lo que dejó al restrictor listo para el proceso de acabado y pintado

Figura 45. Acabado y pintado del restrictor



Fuente: Autores

4.4 Construcción del pleno

4.4.1 Selección del material. Para seleccionar el material adecuado se construyó una tabla valorativa con los materiales más apropiados para la construcción.

Tabla 10. Valoración de materiales para el pleno.

Material Pleno				
	Fibra de carbono	Fibra de vidrio	Aluminio	Plástico
COSTO	2	5	3	4
PESO	5	4	2	4
RESISTENCIA	5	4	5	4
RESISTENCIA T°	5	4	5	4
CONSTRUCCION	3	4	3	4
TOTAL PROM	4	4,2	3,6	4

Fuente: Autores

Para la construcción del pleno debemos considerar que la forma dificulta su construcción en materiales convencionales como el acero o el plástico. Una de las mejores opciones es su construcción mediante el uso de un molde solido recubierto por materiales compuestos como la fibra de vidrio o incluso aún mejor la fibra de carbono, que son materiales que ofrecen excelentes propiedades mecánicas con bajo peso, que además han sido de los materiales más utilizados para realizar este tipo de partes.

Comparando los costos la fibra de vidrio tiene una clara ventaja respecto a la fibra de carbono, la que en contraste ofrece mejores propiedades mecánicas, pero que en comparación pueden ser pasadas por alto ya que para las condiciones de funcionamiento del pleno la fibra de vidrio satisface sin ningún problema las exigencias del mismo.

Tabla 11. Valoración de materiales para el Pleno.

Propiedades Fibra de Vidrio	
Densidad	Media 2,5 gr/cm ³
Resistencia a la tracción	Media 230 MPa
Resistencia a la temperatura	Media 300 °C
Facilidad de Fabricación	Muy buena

Fuente: (Granta Design, 2005)

4.4.2 Proceso. La construcción del pleno, se realizó en dos partes; la construcción del molde y la construcción del pleno en sí.

4.4.2.1 Construcción del molde. Una vez obtenido el diseño final del pleno con las dimensiones y formas se procederá a la fabricación del molde base, se servirá para la construcción del pleno en sí, para el cual se ha optado por construir un molde de madera el cual pueda ser dividido para así construir un pleno desmontable facilitando así tanto su manejo como su acabado.

Primeramente se inicio por dibujar los croquis de las vistas frontal y lateral que sirvieron para moldear el pleno sobre una plancha de MDF de 3mm.

Figura 46. Croquis frontal y lateral



Fuente: Autores

Luego se procedió a cortar los perfiles de los croquis en el banco de sierra cinta para luego lijar el perfil de las dos partes con el fin de llegar a las medidas correctas y obtener las plantillas que servirán como base para trazar el pleno.

Figura 47. Plantillas de la vista frontal y lateral del pleno.



Fuente: Autores

Se tomó el perfil de la vista lateral y se trazó 6 veces sobre un tablón de madera, con el fin de obtener replicas similares pero de un espesor de 4cm

Figura 48. Trazos del perfil lateral en el tablón de madera



Fuente: Autores

Se realizó los cortes en el banco de sierra cinta de las 6 piezas trazadas y se procedió al lijado de la superficie del perfil tratando de dejar la misma geometría en todas las piezas.

Figura 49. Cortado y lijado de las 6 piezas con el perfil lateral del pleno



Fuente: Autores

La unión de las 6 piezas se realizó mediante la aplicación de blancola en las caras laterales fijándolas con grapas en los extremos además de realizar una sujeción mediante dos prensas con el fin de que la unión sea la correcta hasta que se realice el secado del pegamento, por lo cual es necesario esperar de 6 a 7 horas.

Figura 50. Pegado de los perfiles laterales.



Fuente: Autores

Ya con el conjunto unido, se procedió al trazado del 2do perfil sobre el conjunto, para proceder al cortado en el banco de sierra cinta.

Figura 51. Trazado y cortado del croquis frontal



Fuente: Autores

Para obtener el aspecto final del molde se realizó el pulido del conjunto completo para llegar a la geometría deseada y conseguir una superficie lo menos rugosa posible.

Figura 52. Pulido de las superficies



Fuente: Autores

Con ayuda de una sierra de pedestal se cortó el conjunto en dos partes debido que si se colocara la fibra de vidrio en el molde, sería imposible su extracción debido a la geometría del mismo, por tal motivo requiere realizar esta operación la cual no afecta a las dimensiones del molde, debido a que esto ya se tomó en consideración al realizar los planos.

Figura 53. Corte del molde en dos partes



Fuente: Autores

Con la finalidad de que al momento de colocar la fibra de vidrio quedara un sobrante de material que sería la zona donde se podrían colocar los pernos para unir ambas partes cortadas, se trazó y se cortaron las dos placas de MDF de 3mm que serán colocadas en cada una de las partes cortadas como elemento de unión.

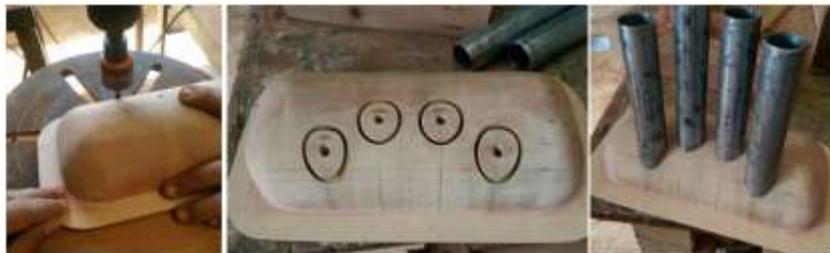
Figura 54. Placas de unión del pleno superior e inferior



Fuente: Autores

En el molde inferior del pleno, se procedió a realizar 4 agujeros con ayuda del taladro de pedestal y una broca tipo sierra circular, los cuales servirán para posicionar los tubos que formaran parte de los runners. Para este corte es necesario verificar el ángulo de los tubos con el fin de que la fibra de vidrio adquiera una geometría que no produzca un flujo de aire con turbulencias.

Figura 55. Agujeros de posicionamiento de la salida a los runners.



Fuente: Autores

Finalmente nuestro molde para el pleno se ve de la siguiente manera:

Figura 56. Molde del pleno acabado



Fuente: Autores

4.4.2.2 Construcción del pleno. Con los moldes totalmente listos vamos a añadir 4 capas de desmoldante, y una vez que este se encuentre seco, se colocará dos capas de cera (para pisos de madera en este caso) con la finalidad de que el material que será añadido al molde no se adhiera.

Figura 57. Moldes con el desmoldante y la cera aplicada en la superficie



Fuente: Autores

Con los elementos desmoldantes secos, añadiremos una capa uniforme de Yelco (gel cold) que es una mezcla de talco chino y resina poliéster básicamente a la cual se le añade también polvo de titanio y peróxido de cobalto, los cuales actúan como elementos reforzantes y catalizadores de la mezcla; permitiendo su secado rápido al cual se ayudará también con una pistola de calor.

Figura 58. Capa de Yelco colocada en proceso de secado.



Fuente: Autores

Mientras la capa de Yelco seca, podemos alistar los cortes de fibra de vidrio que sean utilizados para forrar el molde, una vez que este seca añadimos el catalizador a la resina poliéster para proceder a cubrir el molde.

Figura 59. Preparación de la resina (i), Cortado de la fibra de vidrio (d)



Fuente: Autores

Empezaremos a forrar el molde con una capa de fibra de vidrio a la vez, distribuyendo homogéneamente la resina de poliéster sobre la misma ayudándonos con una brocha, teniendo precaución de que no queden burbujas de aire entre capa y capa, esta tarea la realizaremos tanto para la parte superior como para la parte inferior del pleno, una vez que hayamos finalizado de añadir las capas de fibra debemos percatarnos de que quede lo suficientemente humedecida de resina poliéster ya que esto es indispensable para el proceso de secado que según la temperatura a la que quede expuesta estará alrededor de 24 horas.

Figura 60. Capas de fibra de vidrio en el molde inferior.



Fuente: Autores

Figura 61. Capas de fibra de vidrio aplicadas a la parte superior.



Fuente: Autores

Ya con las partes secas, lo siguiente será la preparación de las superficies para el proceso de pintado, para lo cual empezaremos por sacar los moldes de las capas ya secas, y una vez retiradas con ayuda de una amoladora y discos de corte y de pulido se definirán las superficies quitando los excesos de material.

Figura 62. Desprendimiento del molde y pulido de superficies



Fuente: Autores

Figura 63. Superficies Pulidas



Fuente: Autores

Antes del proceso de pintado, vamos a colocar los tubos en la parte inferior del pleno que serán los elementos de conexión con los runners, para esto vamos a taladrar y cortar las marcas que quedaron de los agujeros realizados en el molde.

Figura 64. Taladrado de agujeros para runners.



Fuente: Autores

Una vez que los tubos entren a la perfección con ayuda del molde los posicionamos nuevamente con el ángulo respectivo, en donde los fijaremos colocando nuevamente 4 capas de fibra con resina poliéster de la misma manera a como se realizó al principio, excepto por la aplicación de desmoldante y de la capa de Yelco.

Figura 65. Fusión de tubos para runners y parte inferior del pleno.



Fuente: Autores

Una vez que los tubos hayan quedado fijados realizamos el proceso de acabado externo, ya que el interno gracias a la capa de Yelco, tiene ya un acabado fino; se procederá a pulir las superficies añadiendo 2 capas de pintura de fondo por cada pulida en la que se corregirá las pequeñas fallas con masilla fina. Finalmente añadimos la pintura y tenemos las dos partes que conforman el pleno casi listas.

Figura 66. Pleno pintado



Fuente: Autores

Para finalizar la construcción del pleno vamos a taladrar 10 agujeros distribuidos equitativamente en las pestañas que se dejaron originalmente para poder realizar la sujeción de la parte superior con la inferior, así como también en la parte superior 3 agujeros que servirán para la unión con el restrictor; además de cortar el excedente de los tubos que fueron adheridos para conexión de los runners.

4.4.2.3 Adaptación de sensores. Para colocar el sensor IAT y la toma de vacío para el sensor MAP, nos ayudamos de los resultados obtenidos en el software ubicando los mismos en las zonas en donde hay un representativo flujo de aire (para el IAT) y donde hay una significativa caída de presión (para el MAP), quedando colocados en las siguientes posiciones:

Figura 67. Posición de: sensor IAT (i); toma de vacío para MAP (d)



Fuente: Autores

4.5 Construcción de los runners

Para el diseño final de los runners se tuvo que considerar el espacio disponible para realizar la unión del pleno con el motor, dando una cierta curvatura a los mismos respetando las dimensiones que se calcularon previamente, además de asegurarnos de que las curvaturas no supongan un impedimento para la circulación de aire.

Como además de conducir el aire los runners también deben tener la base para cada uno de los inyectores y una sujeción para el riel, además de obviamente estar en contacto con la culata del motor y por ende a la temperatura del mismo.

Por lo expuesto anteriormente se ha decidido realizar la construcción de los runners en 2 partes, para de esta manera conseguir además de facilidad de construcción, facilidad para el montaje y desmontaje del sistema.

4.5.1 Selección del material. Para seleccionar el material adecuado se construyó una tabla valorativa con los materiales más apropiados para la construcción

Tabla 12. Valoración de materiales para los Runners.

Material	Runners (base)			Runners (unión)		
	Acero Estructural	ABS	Aluminio	Plástico	ABS	Mangueras (selección)
COSTO	5	3	3	3	2	4
PESO	3	5	4	5	5	5
RESISTENCIA	5	5	5	5	5	5
RESISTENCIA T°	5	4	5	5	5	5
CONSTRUCCION	4	3	3	3	3	5
TOTAL PROM	4,4	4	4	4,2	4	4,8

Fuente: Autores

Al existir dos zonas, la una que soporta la temperatura de funcionamiento del motor directamente y la otra que debe presentar cierta flexibilidad, se han considerado al acero dulce como material para la base, y para el otro extremo realizar una adaptación de mangueras hidráulicas utilizadas en los sistemas de refrigeración de los vehículos, debido a que estos prestan una buena resistencia tanto mecánica como a la temperatura siendo usados en otros sistemas del motor.

Tabla 13. Propiedades del Acero Estructural

Propiedades Acero estructural	
Densidad	7,86 gr/cm ³
Límite de Fluencia	250 Mpa
Resistencia a la temperatura	200 °C
Facilidad de Fabricación	Muy buena

Fuente: (Granta Design, 2005)

4.5.2 *Proceso.* Para la construcción de las bases, se tomó como plantilla las bases de los carburadores que tenía originalmente el motor, completando con esto el diseño final de los runners, con estas plantillas se mecanizaron 4 placas que serían las bases de unión a la culata del motor.

Figura 68. Placas base de los runners.



Fuente: Autores

Para la parte de los conductos se seleccionó un tubo redondo de acero dulce de 1.25 pulgadas, que por la parte interna tiene el diámetro calculado, en este tubo se realizó 4 dobleces a 105°, los cuales serían cortados individualmente.

Figura 69. Recorte de 4 piezas de tubo 1 1/4 para la base de los runners.



Fuente: Autores

Luego se procedió a realizar unos agujeros en los tubos, ya que en los mismos sería donde se asentarían los bocines pre mecanizados, en los cuales se acoplarán los inyectores. Dichos bocines se unieron a los tubos mediante soldadura MIG.

Al mismo tiempo mediante soldadura MIG se procedió a la unión de las placas con los tubos doblados, para lo cual se colocó el pleno en la posición centrada en el chasis colocando además el riel y los inyectores con la finalidad de lograr un acople perfecto del sistema.

Figura 70. Posicionamiento final de los runners.



Fuente: Autores

Ya culminado lo anterior, se pulió las zonas rugosas, en especial las zonas interiores ya que por aquí será donde el fluido circule. Luego de esto se pintó exteriormente de un color negro mate para dar el acabado final de los mismos.

Para el otro extremo se procedió a seleccionar mangueras con una curvatura tal que coincidiera con la longitud calculada.

Figura 71. Corte de las mangueras.



Fuente: Autores

4.6 Adaptación del cuerpo de aceleración

Para el cuerpo de aceleración se escogió un carburador que contaba con la medida de la aleta obtenida en el cálculo mediante fórmula (30 mm), el cual fue modificado para poder sujetarlo al restrictor así como también para poder adaptarle el sensor TPS.

Figura 72. Carburador de 30mm.



Fuente: Autores

Para esto se procedió a cortar las partes del carburador que ya no serían útiles con ayuda de una amoladora y un disco de corte, los agujeros que quedaron tanto en la parte interna como externa fueron rellenados con masilla epóxica de alta resistencia, de tal manera que selle perfectamente los mismos.

Figura 73. Acople en el sensor TP (i), Acople para unión con el restrictor (d).



Fuente: Autores

Para concluir, se adaptaron un acople en el extremo para su respectiva unión con el restrictor, una base para el sensor TP, para el que además se tuvo que modificar el eje de la mariposa para que por medio de un acople puedan ser ensamblados perfectamente.

Figura 74. Cuerpo de aceleración con TPS y resortes adaptados.



Fuente: Autores

4.7 Ensamblaje

Para el ensamblaje final se fabricó 3 empaques (con material de asbesto) para las unión entre la parte superior e inferior del pleno, para la unión del pleno-restrictor, y para la unión restrictor-cuerpo de aceleración, asegurando la estanqueidad mediante la aplicación de silicona gris.

Para la fijación de estas 3 uniones fueron seleccionados pernos tipo Allen de 6 mm con arandelas en ambos extremos, de tal manera que cumplan con las especificaciones del reglamento y para la fijación de las mangueras de los runners se seleccionó abrazaderas metálicas de 1,5 pulgadas

Figura 75. Múltiple de Admisión con todas sus partes, desmontado.



Fuente: Autores

4.8 Montaje

Para el montaje final en el prototipo se utilizó pletina de 3/4 por 3/16 de espesor, soldando la misma en el chasis para unirle mediante un acople al restrictor, y de igual manera al pleno; ambos con su respectivo aislamiento como lo especifica el reglamento.

Figura 76. Puntos de fijación del multiple en el Chasis.



Fuente: Autores

La fijación al motor como lo explica el reglamento debe ser fija, y de esta manera se utilizaron los mismos pernos con los que estaban fijados los carburadores, los cuales también se utilizaran para fijar el riel de inyectores que se nos proporcionó.

Figura 77. Multiple con acoples del pleno y el restrictor montados.



Fuente: Autores

CAPITULO V

5. COSTOS

5.1 Costos directos

Se toma como costo directo a todo aquel que influya directamente en la Construcción del MA para el Formula SAE, entre los cuales constan costos por materiales, uso de equipo, mano de obra y otros valores anexos que también influyeron en dicha construcción. Dichos costos están detallados de la siguiente manera:

5.1.1 Costos de materiales. A continuación se detallan los costos unitarios correspondientes a materiales.

Tabla 14. Costo de materiales.

CANTIDAD	DESCRIPCION	VALOR POR UNIDAD	VALOR TOTAL
1	Madera Romerillo Mollón (100cmx30cmx4cm)	15	15
1	MDF (50cmx50cmx3mm)	10	10
1	Blancola	6	6
1	Tubo Redondo (1"x6m)	7	7
1	Pletina (2"x1/4"x6m)	1	1
1	Pletina (1/2"x1/8"x1m)	1	1
1	Carburador Usado	10	10
1	Eje de Nylon	14	14
1	Tubo redondo (1 1/4"x4m)	8	8
4	Mangueras	11	44
8	Abrazaderas	1	8
1	Fibra de vidrio	25	25
1	Cera	8	8
1	Yelco	10	10
1	Resina Poliéster	5	5
1	Disco de Desbaste	3	3
2	Disco de Corte	3,5	7

CANTIDAD	DESCRIPCION	VALOR POR UNIDAD	VALOR TOTAL
1	Hoja de Sierra	0,7	0,7
1	Pernos, Tuercas y Arandelas	10	10
2	Pegatanke	5	10
5	Lijas	0,7	3,5
1	Masilla Plástica (1 litro)	12	12
1	Electrodos (lb)	2,4	2,4
5	Spray de Pintura	3,75	18,75
1	Pintura Base Poliéster (1/4 Litro)	4	4
TOTAL			243,35

Fuente: Autores

5.1.2 *Costo por hora utilización de equipos.* A continuación se detallan los costos unitarios correspondientes a materiales.

Tabla 15. Costos por hora en utilización de equipos

DESCRIPCIÓN	COSTO POR HORA	TIEMPO DE UTILIZACIÓN	VALOR TOTAL
Banco de Sierra Cinta	3	2	6
Lijadora	3	1	3
Banco de sierra	3	1	3
Taladro	2	1	2
Sierra de Pedestal	1	0,5	0,5
Taladro pedestal	1	1	1
Esmeril	1	3	3
Soldadora Eléctrica	3,5	3	10,5
Soldadora MIG	4	3	12
Torno	20	4	80
Dobladora de Tubos	10	1	10
Compresor	5	4	20
Amoladora	1	3	3
TOTAL			154

Fuente: Autores

5.1.3 *Costo mano de obra.* A continuación se detallan los costos unitarios correspondientes a materiales.

Tabla 16. Costo de mano de Obra

DESCRIPCIÓN	SALARIO REAL HORA	HORA-HOMBRE	VALOR TOTAL
Soldador	6	2	12
Carpintero	5	4	20
Artesano	4	6	24
Tornero	6	4	24
TOTAL			80

Fuente: Autores

5.1.4 *Costos por transporte.* A continuación se detallan los costos unitarios correspondientes a materiales.

Tabla 17. Costos por transporte

DESCRIPCIÓN	VALOR
Pasajes	40
Gasolina	80
TOTAL	120

Fuente: Autores

Tabla 18. Total costos directos

DESCRIPCION	VALOR
Costo de materiales	243,35
Costo por uso de equipos	154
Costo de mano de obra	80
Costo por transporte	120
TOTAL	597,35

Fuente: Autores

5.1.5 *Costos indirectos.* Son todos aquellos valores que no influyeron en la construcción del MA, pero que fueron necesarios para la realización del proyecto de titulación, valores que son detallados a continuación:

Tabla 19. Costos Indirectos

DESCRIPCION	VALOR TOTAL
--------------------	--------------------

20% COSTOS DIRECTOS	119,47
APORTE AL GRUPO DEL MOTOR	300
DOCUMENTACION	250
TOTAL	669,47

Fuente: Autores

5.1.6 *Costos totales.* Se determina por la suma de los Costos Directos y los Costos Indirectos, detallados en la siguiente tabla:

Tabla 20. Costos totales.

COSTOS DIRECTOS	
MATERIALES	243,35
EQUIPOS	154
MANO DE OBRA	80
TRANSPORTE	120
TOTAL	597,35
COSTOS INDIRECTOS	
20% COSTOS DIRECTOS	119,47
APORTE AL GRUPO DEL MOTOR	300
DOCUMENTACION	250
TOTAL	669,47
TOTAL COSTOS	
	1266,82

Fuente: Autores

CAPITULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

La calidad de la malla es muy importante y se debe verificar parámetros como Aspecto de Radio y Calidad del Elemento, ya que de acuerdo lo que muestren los mismos, se determinará si la malla obtenida es de buena calidad, o es necesario aplicar un refinamiento adicional.

Según cálculos, el diámetro del cuerpo de aceleración es de 30mm, un valor que se encuentra entre el rango de dimensiones para motores con limitaciones (28 – 34 mm), y que según los resultados muestra un correcto desempeño para el motor con el que se está trabajando.

El diseño seleccionado del restrictor cuenta con la menor caída de presión, además de contar con una ganancia de velocidad en la salida, beneficiando al comportamiento del flujo que llega al pleno del múltiple de admisión, notándose dicho beneficio en el flujo másico que circula a través del mismo.

Un diseño Sencillo del múltiple de admisión con las dimensiones de tanto de la entrada como de la salida del pleno así como también de un pleno esférico, pudo ser utilizado para evaluar como el volumen interviene en el comportamiento del flujo de aire en las salidas.

Para volúmenes del pleno equivalentes a 9 veces la cilindrada del motor en adelante, el beneficio disminuye notablemente tanto como para la velocidad de salida como para la caída de presión dentro del múltiple.

Para asegurar una mejor distribución de aire tanto la geometría del pleno como la disposición de las salidas deben guardar simetría con respecto a la entrada de aire.

La eficiencia volumétrica del múltiple de admisión alcanzada está en el orden del 89%.

La curvatura que presentan los runners no tiene un efecto considerable en el flujo de aire en contraste con las dimensiones calculadas.

6.2 Recomendaciones

Para investigaciones futuras, y si el reglamento lo permite el uso de un cuerpo de aceleración motorizado es muy recomendable ya que podría aumentar el rendimiento del conjunto en general en especial en la respuesta del acelerador del vehículo.

El presente trabajo de investigación puede ser tomado como punto de partida para futuros aportes sobre el desarrollo de múltiples de admisión del tipo Formula Student.

A la medida de lo posible simplificar el diseño con el que se realizará el estudio aplicando conceptos como el de axisimetría o simplificación a 2D.

Para estudios futuros realizar análisis experimentales de los elementos sea en conjunto con el motor o mediante un flujómetro.

Realizar un estudio en cuanto a un pleno de geometría variable para buscar un mayor beneficio tanto en estados transitorios como en estados estables del motor.

BIBLIOGRAFÍA

ANDRE, Oh Yide. *Design and Analysis of the Intake System of a Formula SAE Car.* Singapore: 2012. pp. 25-30.

ASHBY, Michael F. *Materials selection in Mechanical Desing.* England: 1999. pp. 242-267.

ASKELAND, D. *Ciencia e ingeniería de los materiales.* México: 1998. pp. 124-125.

BENSLER, H. *Fsaeonline.* [En línea] 1996. [Consulta: 20 de enero de 2016.] Disponible en : <<http://www.fsae.com/forums/showthread.php?658-SAE-papers-on-Formula-SAE>>.

BESEDNJAK, A. *Los materiales compuestos.* Barcelona: UPC, 2005. pp. 43-46.

BLANES, Briet. *Aerodinámica y aero post rig aplicados al diseño de coches de competicion.* Circulo rojo, 2013. pp. 78-79.

CALLISTER, W. *Materials Science and Engeneering an introduction.* Estado unidos, 2007. pp. 387-398.

CANUT, Arlette. *Número Reynolds.* México, 2008. pp. 33-34.

CENGEL, Yunus; & CIMBALA, John. *Mecánica de Fluidos Fundamentos y Aplicaciones.* Mexico : Mc Graw-Hill Interamericana, 2006. pp. 176-178.

DAVIM, P. *Machining of metal matrix composites.* Portugal, 2011. pp. 56-58.

Engineering, Norplan. *Estudio de la Aerodinamica del vehículo.* [En línea] 2014. [Consulta: 23 de 06 de 2016.] Disponible en: <technicalcourses.net/portal/es/blog/blog_entrada.php?entrada_id=89>.

VICHI, Giovanni; et al. *Development of an engine variable geometry intake system for a Formula SAE application.* Florencia : Elsevier, 2015. pp. 112-117.

GÓMEZ, Samuel. *Apretando las tuercas.* [En línea] 15 de Septiembre de 2012. [Consulta el: 13 de Julio de 2016.] Disponible en : <samgp2250.blogspot.com/2012_09_01_archive.html>.

GORDILLO BRAVO, Edison Xavier; & LARA SALAS, Luis Eduardo. Diseño e Implementación de un cambiador de marchas inteligente utilizando Sistemas FPGA para el prototipo FESPE 2013. (tesis) (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica del Ejército, Mecánica, Ingeniería Automotriz. Latacunga (Ecuador), 2015. pp. 76-79. [Consulta: 18 de Abril del 2016] Disponible en: <repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/9337/1/AC-ESPEL-MEC-0036.pdf>

GUERRERO, Victor Hugo. *Nuevos Materiales, Aplicaciones Estructurales e Industriales.* Quito - Ecuador: 2011. pp. 45-46.

HEINZ, Heisler. *Advanced engine technology.* Great Britain : SAE, 1995. pp. 88-89.

INGENIOUS. *Ingeniería Computacional.* [En línea] 2013. [Consulta: 15 de Agosto de 2016.] Disponible en : <ingenious.com/>.

INGENIERÍAS, CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS EXACTAS.. *Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías.* [En línea] 14 de Abril de 2016. [Consulta: 14 de Abril de 2016.] Disponible en: <http://proton.ucting.udg.mx/dpto/maestros/mateos/clase/Modulo_05/detectores/venturi/>.

INTERNATIONAL, SAE. *Formulasaeonline.* [En línea] 2014. [Consulta: 19 de Enero de 2016.] Disponible en: <<http://www.fsaeonline.com/content/2015-16%20FSAE%20Rules%20revision%20in%20progress%20kz%2083114.pdf>>.

HEYWOOD, John. *Combustion Engine Fundamentals.* E.U.A : Mc Graw Hill Inc., 1988. pp. 23-24.

KATZ, Joseph. *Race Car Aerodynamics.* Massachusetts, 1995. pp. 33-38.

LEVY, F. *Compositos estruturais: Ciencia e tecnologia.* Brasil, 2006. pp. 112-113.

LOGAN, Daryl L. *A First Course in the Finite Element Method.* Toronto : Evelyn Veitch, 2007. pp. 245-257.

MOTT, Robert L. *Mecánica de fluidos. Sexta edición.* Mexico : Pearson educación, 2006. pp. 344-349.

NEWELL, J. *Ciencia de Materiales Aplicaciones en Ingeniería.* Mexico : Mexico:Alfaomega Grupo Editor, S.A de C.V, 2011, 2011. pp. 145-146.

PAYRI, F y & DESANTES, J M. *Motores de Combustion Interna Alternativos.* madrid : upv, 2014. pp. 478-496.

POTTER, Merle y y Wiggerl, D.C. *Mecánica de Fluidos.* México : Prentice Hall, 1997. pp. 232-234.

SAE, INTERNATIONAL. *Reglamentos 2014.* Michigan, 2015. pp. 75-96.

SANJAY, K. *Composites manufacturing, materials, product, and process Engineering.* Estados Unidos, 2002. pp. 54-57.

STUPENGO, Franco. *Materiales y materias primas.* Buenos Aires : Buenos Aires , 2011. pp. 34-35.

TIXI, Joffre; & VISTÍN, Jonathan. *Aplicación de Materiales Compuestos para la Formación Guardabarros de Tapas Laterales de una moto de 125CC, 4 Tiempos.*(tesis) (Ingeniería). [en línea] ESPOCH, Mecánica, Ingeniería Automotriz. Riobamba (Ecuador), 2015. pp. 54-58 [Consulta: 14 de Junio del 2016]. Disponible en: <dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/4123/1/65T00163.pdf>

