



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO

AUTOMOTRIZ

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ**

**TEMA: DISEÑO Y ANÁLISIS DEL COLECTOR DE ADMISIÓN DE
UN MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO PARA UN VEHÍCULO
DE FÓRMULA SAE**

AUTORES:

AGUILAR RODRÍGUEZ JOSÉ ADRIAN

HERRERA BRAVO PABLO ANDRÉS

DIRECTOR: ING. JORGE LUIS MELO OBANDO, MSc.

Ibarra, Septiembre del 2020

CERTIFICADO

ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

En mi calidad de director del plan de trabajo de grado, previo a la obtención del título de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, nombrado por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.

CERTIFICO:

Que una vez analizado el plan de grado cuyo título es "DISEÑO Y ANÁLISIS DEL COLECTOR DE ADMISIÓN DE UN MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO PARA UN VEHÍCULO DE FÓRMULA SAE" presentado por los señores: Aguilar Rodríguez José Adrián y Herrera Bravo Pablo Andrés, con números de cédulas 100384362-8 y 100315583-3, doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte de los señores integrantes del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a los 04 días del mes de Septiembre del 2020.

Atentamente



Ing. Jorge Luis Melo Obando, MSc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100384362-8		
APELLIDOS Y NOMBRES:	AGUILAR RODRÍGUEZ JOSÉ ADRIAN		
DIRECCIÓN:	SAN ANTONIO DE IBARRA - CALLE POMPILLO MIDEROS Y COMPAÑÍA DE JESÚS		
EMAIL:	jaaguilarr@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	(06)2 550-152	TELÉFONO MÓVIL:	0982794439

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100315583-3		
APELLIDOS Y NOMBRES:	HERRERA BRAVO PABLO ANDRÉS		
DIRECCIÓN:	SAN ANTONIO DE IBARRA - CALLE SUCRE Y LÍNEA FÉRREA		
EMAIL:	paherrerab@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	(06)2932-336	TELÉFONO MÓVIL:	0996187582

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	DISEÑO Y ANÁLISIS DEL COLECTOR DE ADMISIÓN DE UN MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO PARA UN VEHÍCULO DE FORMULA SAE
AUTOR (ES):	AGUILAR RODRÍGUEZ JOSÉ ADRIAN – HERRERA BRAVO PABLO ANDRÉS
FECHA: DD/MM/AAAA	2020/09/04
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	

PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ
ASESOR /DIRECTOR:	ING. JORGE LUIS MELO OBANDO, MSc.

2. CONSTANCIAS

Los autores manifiestan que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que son los titulares de los derechos patrimoniales, por lo que asumen la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 04 días del mes de Septiembre del 2020

EL AUTORES:



Firma

José Adrián Aguilar Rodríguez

Cédula: 100384362-8



Firma

Pablo Andrés Herrera Bravo

Cédula: 100315583-3

DEDICATORIA

Este trabajo de grado fue realizado con esfuerzo, dedicación y los conocimientos que fui adquiriendo gracias a los catedráticos que impartieron sus conocimientos en las aulas y sobre todo valores para completar una formación integral para aprobar cada uno de los niveles académicos y poder culminar con éxito este proyecto con todos los parámetros y exigencias de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz y de esta manera dejar muy en alto el nombre de mi prestigiosa Universidad Técnica del Norte.

A mis queridos padres Wilma Rodríguez y José Aguilar ,quienes han estado velando incondicionalmente por mi bienestar y mi formación les dedico este proyecto porque ellos tuvieron la oportunidad de verme caer y levantarme, supieron el sacrificio y las dificultades que pasé y sin pensarlo dieron todo de ellos por mí, les agradezco por confiar en mi inteligencia y mis capacidades por esta razón les dedico este trabajo que fue fruto de mi esfuerzo y coraje por ser cada día mejor y a mis hermanos Jonny Aguilar gracias por tus palabras de aliento que mencionabas cada vez que sentía que me derrumbaba ,me ayudaron a no dejarme vencer y saber que siempre se puede y a ustedes Lisbeth Aguilar y Belén Aguilar hermanas mías nunca olviden que no importa cuánto crezcan, siempre serán mis pequeñas a las que cuidaré y veré por ustedes siempre, gracias familia por llenar mi vida de muchas experiencias que nos han ayudado a unirnos más que nunca, los quiero con mi vida.

A mi novia Lupita Galeano por ser una persona con valores y principios, por pasar muchas experiencias a mi lado, por siempre estar conmigo en las buenas y en las malas, desde ser mi amiga, mi confidente, mi apoyo incondicional y hasta ser mi novia, le dedico con mucho amor y cariño este proyecto de tesis, porque usted es el motivo que me levanta cada día ,para ofrecer lo mejor de mí, agradezco a Dios por enviármela para hacerme feliz compartiendo nuestros mismos intereses y metas por cumplir para tener un futuro mejor.

José Adrián Aguilar Rodríguez.

Mi tesis la dedico con todo mi amor a mi amada madre la Ingeniera Cecilia Bravo por darme una carrera profesional y apoyarme todos los días y creer en mí, a pesar de que muchas veces tuve problemas para poder continuar tú siempre estuviste apoyándome y animándome, nunca dejaste que la llama del estudio se me apague, gracias por brindarme tu amor incondicional, así mismo como tu respeto y amor. Gracias por ser una mujer trabajadora que hizo que nunca me faltara nada y siempre ser, promotora principal de cumplir mis sueños.

A mi querida abuela Blanca que siempre me apoyo con su amor y cariño incondicional muchas gracias por brindarme siempre, un plato de comida y estar siempre pendiente de mi salud así mismo de igual forma que nunca me falte nada, gracias amada abuela por tu sacrificio durante todos estos años gracias por siempre apoyarme sin esperar nada a cambio solo mi amor y cariño incondicional.

A demás dedico este proyecto a mi tío el Ing. Luis Bravo que, desde el primer día, de iniciar clases tuve su apoyo incondicional, además de sus consejos y palabras de aliento gracias por confiar en mí y apoyarme para poder lograr mis metas y anhelos propuestos.

De igual forma dedico esta tesis a mi difunta tía la Lda. Maguita Bravo, que fue como una madre ya que tú siempre quisiste lo mejor para mí, y un futuro digno, te agradezco tía ya que cuanto estabas a mi lado nunca me negaste tu apoyo, respeto y cariño, así mismo te agradezco infinitamente el apoyo que le brindo a mi madre para que pueda superarse, y así poder darnos todo lo necesario a mi hermano y a mi persona, mil gracias tía amada siempre te voy a amar que Dios te tenga en su gloria.

Pablo Andrés Herrera Bravo.

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradezco a Dios por haberme dado una segunda oportunidad de vida, y por ser mi fiel acompañante, puesto que me ha hecho abrir los ojos y enseñarme que cada día que nos superamos y alcanzamos una meta más, es un triunfo que con el tiempo lo atesoramos; siendo que en cada amanecer realza mis expectativas de ver un futuro nuevo encaminado por las enseñanzas de vida que he ido aprendiendo en el transcurso de mi vida.

A mis padres, José Aguilar y Wilma Rodríguez, porque los quiero demasiado y por ser los pilares fundamentales en mi vida, por enseñarme a valorar el esfuerzo que hacen por darme todo lo que estaba a su alcance, por verme crecer con valores y principios que me han inculcado desde la infancia, los mismos que me han servido para superarme y enseñarme que nada es imposible y que todo se llega a obtener con sacrificio y esfuerzo, como un día mi padre me dijo “ Yo no quiero que sean como yo, quiero que sean mejor que yo”, le agradezco a mi padre por estas sabias palabras que me ayudaron a ser una mejor persona e hijo y seguir adelante en cada etapa de mi vida profesional, así mismo quisiera expresar mi agradecimiento a mis hermanos que ellos estuvieron motivándome cada día con palabras de superación las mismas que llenaban mi corazón de ganas de salir en adelante y superar cada obstáculo que se me presentara en cada etapa de mi vida. Agradezco de todo corazón a mi novia Lupita Galeano porque ella ha estado conmigo apoyándome incondicionalmente en todo momento sin esperar nada a cambio y eso es algo que me llena de orgullo, ella ha sido una parte primordial para poder alcanzar este logro más en mi vida, su cariño y su afecto fueron los detonantes de mi esfuerzo y dedicación para lograr con éxito la culminación de este proyecto.

De igual manera agradezco a mi compañero de tesis Pablo Herrera, puesto que es un gran apoyo y en quien pude confiar plenamente para el desarrollo de este proyecto con el fin de culminarlo con éxito considerando que se presentaron varias dificultades las mismas que se lograron superar gracias a las enseñanzas y tutorías de nuestro Director de Tesis Ing. Jorge Melo MSc, las cuales fueron aplicadas para el desarrollo de este trabajo de grado.

José Adrián Aguilar Rodríguez.

En primer lugar, deseo expresar mi agradecimiento a Dios ya que siempre ha estado mi lado apoyándome y nunca dejándome abandonado, gracias por regalarme una segunda oportunidad de vida para poder compartir con madre, abuela y hermano, También por bendecirme para llegar hasta donde he llegado, porque hiciste realidad este triunfo tan anhelado de poder ser Ingeniero. Así mismo agradezco a mi tutor de tesis el Ms Jorge Melo por su tiempo brindado al momento de realizar las correcciones, además de siempre brindarme su respeto ante mi sugerencia e ideas planteas durante el estudio de la tesis.

Gracias a los docentes de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, por su constante dedicación al momento de impartir sus clases, así como la paciencia, puntualidad y ética brinda día a día en la formación académica, para de esta forma lograr realizar el trabajo de titulación. Y demostrar mis conocimientos y habilidades adquiridas durante cada uno de los niveles aprobados.

Gracias a mi madre por ser la principal promotora de mis sueños, gracias a ella por cada día confiar y creer en mí, y en mis expectativas, gracias madre por estar dispuesta a acompañarme cada larga y agotadora noche de estudio, gracias madre por siempre desear y anhelar siempre lo mejor para mi vida, gracias por cada palabra de aliento que me brindaste cuando más lo necesitaba por no dejarme nunca que me rinda, y cada vez que caía o desvíá, tú siempre estabas ahí para corregirme y ayudarme, en la formación de mi vida, gracias a Dios por la vida de mi madre, también porque cada día bendice mi vida con la hermosa oportunidad de estar y disfrutar al lado de mi madre. Pero sobre todo gracias a mi abuela Blanquita, por siempre cuidarme desde muy pequeño y amarme como a un hijo, gracias por todos sus consejos abuelita han sido de mucha ayuda para mi vida adulta agradezco a Dios por haberme dado la oportunidad de estar a su lado y disfrutar de compañía, este título es dedicado para usted porque nunca dejo de confiar en mí. También me gustaría agradecer a mi hermano Carlos ya que siempre fue mi fuente de superación siempre vas a ser mi niño chiquito gracias por aguantarme, quererme, comprenderme y sobre todo amarme hermano de mi vida gracias.

Para ellos muchas gracias y que Dios le bendiga.

Pablo Andrés Herrera Bravo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
RESUMEN	xx
ABSTRACT	xxi
INTRODUCCIÓN	xxii
CAPÍTULO I	1
1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Planteamiento del Problema	3
1.3. Formulación del Problema	4
1.4. Delimitación	4
1.4.1. Delimitación Temporal	4
1.4.2. Delimitación Espacial	4
1.5. Objetivos	4
1.5.1. Objetivo General	4
1.5.2. Objetivos Específicos	4
1.6. Justificación	5
1.7. Formula Student	5
1.7.1. Antecedentes “Formula Student”	5
1.7.2. Desarrollo de la “Formula Student”	6
1.7.3. Restricciones de la “Formula Student”	7
1.7.4. Tipos de motores empleados en la “Formula Student”	7
1.7.5. Objetivos de diseño del vehículo	8
1.7.6. Eventos de competencia	8
1.7.7. Pruebas Estáticas	9
1.7.7.1. Verificación técnica	9

1.7.7.2. Prueba de diseño	9
1.7.7.3. Análisis de costos	9
1.7.8. Pruebas dinámicas	10
1.7.8.1. Prueba de Endurance	10
1.7.8.2. Prueba de aceleración	10
1.7.8.3. Prueba Autocross.	10
1.7.8.4. Prueba “Skydpad”	10
1.7.9. Puntuación de eventos	10
1.8. Motor de combustión interna ciclo Otto	11
1.9. Múltiple de Admisión	12
1.9.1. Función del Colector de Admisión	12
1.9.2. Características del Colector de Admisión	13
1.9.3. Partes de un sistema simple de admisión	14
1.9.4. Eficiencia del colector de admisión	14
1.9.5. Generalidades del colector de admisión	15
1.9.7. Objetivos en el diseño de un sistema de admisión	16
1.9.8. Parámetros Geométricos	17
1.9.8.1. Volumen del Plenum	17
1.9.8.2. Los Runners del colector de admisión	18
1.9.8.3. Diámetro de los Runners	18
1.9.8.4. Longitud de los Runners	18
1.9.8.5. Ángulo del Difusor	19
1.9.9. Características del flujo en el colector de admisión	19
1.10. Tipos de materiales normalmente aplicados en la construcción de colectores de admisión	20
1.10.1. Materiales Naturales	20
1.10.1.1. El aluminio	20

1.10.2.	Materiales sintéticos	21
1.10.2.1.	Fibra de vidrio	21
1.10.2.2.	Fibra de carbono	21
1.11.	Características importantes de los materiales	22
1.11.1.	Peso	22
1.11.2.	Resistencia a la oxidación y corrosión	22
1.11.3.	Resistencia mecánica	22
1.11.4.	Rugosidad	23
1.11.5.	Costo	23
1.12.	Programa Computarizado de Diseño	23
1.12.1.	Software SolidWorks	23
1.12.2.	Software Ansys	25
CAPÍTULO II		26
2.	MATERIALES Y MÉTODOS	26
2.1.	Desarrollo de la propuesta de estudio	26
2.3.	Elección del motor	28
2.4.	Materiales y equipos	29
2.4.1.	Calibrador pie de Rey	29
2.4.2.	Software de diseño CAD (Solidworks)	30
2.4.3.	Software de simulación CAE (Ansys)	30
2.4.4.	Colector de admisión	31
2.5.	Verificación de las entradas de los colectores de admisión	31
2.6.	Análisis y revisión de colectores de admisión	32
2.6.1.	Carburador	33
2.7.	Revisión del carburador	34
2.8.	Diseño de colectores de admisión	35
2.9.	Utilización del Software de diseño CAD (Solidworks)	35

2.9.1. Colector de Admisión Estándar	35
2.9.2. Colector de Admisión Doble Tubo	36
2.9.3. Colector de Admisión de Efecto Venturi	36
2.10. Selección de los materiales	37
2.10.1. Aleación de aluminio 6063 – T6	38
2.10.1.1. Por su aplicación	39
2.10.1.2. Por su Disponibilidad	39
2.10.2. Fibra de Carbono Hexcel AS4C	39
2.10.2.1. Por sus propiedades	40
2.10.2.2. Por el proceso de manufactura	40
2.10.3. Acero Inoxidable Forjado	41
2.10.3.1. Por su aplicación	41
2.10.3.2. Por su Disponibilidad	42
2.10.4. Rugosidad del material	42
2.11. Simulación de los colectores de admisión	44
2.12. Utilización del Software de Simulación CAE (Ansys)	44
2.13. Simulación	44
2.13.1. Tipo de simulación	45
2.13.2. Generación de la Malla	45
2.13.3. Generación del mallado del diseño del Colector Estándar	46
2.13.4. Generación del mallado del diseño del Colector tipo Doble Tubo	46
2.13.5. Generación del mallado del diseño del Colector tipo efecto Venturi	46
2.14. Condiciones iniciales de contorno	47
2.14.1. Fluido	47
2.14.2. Volumen del fluido	48
2.14.3. Condiciones de flujo	48
2.15. Optimización	49

CAPITULO III	51
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	51
3.1. Presentación de resultados del modelo de Colector de Admisión Estándar	51
3.2. Colector Estándar con Acero Inoxidable Austenítico Forjado	52
3.2.1. Presión de trabajo	53
3.2.2. Velocidad de ingreso del flujo másico a la tobera de admisión	53
3.3. Colector Estándar con Aleación de Aluminio 6063 – T6	54
3.3.2. Velocidad de ingreso del flujo másico a la tobera de admisión	55
3.4. Colector Estándar con Fibra de Carbono Hexcel AS4C	56
3.4.1. Presión de trabajo en la tobera de admisión	56
3.4.2. Velocidad de ingreso del Flujo másico en la tobera de admisión	57
3.5. Presentación de resultados del modelo de Colector de Admisión con Doble Entrada	58
3.6. Colector con Doble Entrada con Acero Inoxidable Austenítico Forjado	58
3.6.1. Presión de trabajo en la tobera de admisión	59
3.6.2. Velocidad de ingreso del Flujo másico en la tobera de admisión	60
3.7. Colector con Doble Entrada con Aleación de aluminio 6063 – T6	60
3.7.1. Presión de trabajo en la tobera de admisión	61
3.7.2. Velocidad de ingreso del flujo másico en la tobera de admisión	61
3.8. Colector con Doble Entrada con Fibra de Carbono Hexcel AS4C	62
3.8.1. Presión de trabajo en la tobera de admisión	62
3.8.2. Velocidad de ingreso del Flujo másico de la tobera de admisión	63
3.9. Presentación de resultados del modelo Efecto Venturi	63
3.10. Colector Efecto Venturi con Acero Inoxidable Austenítico Forjado	64
3.10.1. Presión de trabajo en la tobera de admisión	64
3.10.2. Velocidad de ingreso del Flujo másico	65
3.11. Colector Efecto Venturi con Aleación de Aluminio 6063 – T6	66

3.11.1.	Presión de trabajo	67
3.11.2.	Velocidad de ingreso del Flujo másico	67
3.12.	Colector Efecto Venturi con Fibra de Carbono Hexcel AS4C	68
3.12.2.	Velocidad de ingreso del Flujo másico	69
3.13.	Escalas gráficas del Modelo Estándar	69
3.13.1.	Colector Estándar con Acero Inoxidable Forjado	70
3.13.2.	Colector Estándar con Aleación de Aluminio 6063 – T6	71
3.13.3.	Colector Estándar con Fibra de Carbono Hexcel AS4C	72
3.14.	Escalas gráficas del Modelo con Doble Entrada.	73
3.14.1.	Colector con Doble Entrada con Acero Inoxidable Forjado	73
3.14.2.	Colector con Doble Entrada con Aleación de Aluminio 6063 – T6	74
3.14.3.	Colector con Doble Entrada con Fibra de Carbono Hexcel AS4C	75
3.15.	Escalas gráficas del modelo Tipo Efecto Venturi	76
3.15.1.	Colector Efecto Venturi con Acero Inoxidable Forjado	76
3.15.2.	Colector Efecto Venturi con Aleación de Aluminio 6063 – T6	78
3.15.3.	Colector Efecto Venturi con Fibra de Carbono Hexcel AS4C	79
3.16.	Comparativa entre Resultados	80
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	84
4.1.	Conclusiones	84
4.2.	Recomendaciones	86
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
	ANEXOS	92

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA NÚM.	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
1.1	Comparativa motores recomendados prototipo FSAE	8
1.2	Ponderación de puntajes Formula Student	11
1.3	Análisis comparativo de los tipos de colectores de admisión	16
2.1	Especificaciones técnicas de los colectores de admisión	31
2.2	Especificaciones técnicas carburador	34
2.3	Propiedades Físicas Aluminio 6063 – T6	39
2.4	Propiedades Físicas Fibra de Carbono Hexcel AS4C	41
2.5	Propiedades Físicas del Acero Inoxidable Forjado	42
2. 6	Volumen del fluido	48
2.7	Restricciones de Ingreso y salida por diseño de colector	49
2. 8	Valores estándar y los optimizados en el proceso de simulación	50
3. 1	Colector con diseño original	80
3. 2	Rediseño de colector de admisión con doble ingreso	81
3. 3	Rediseño de colector de admisión con variación de diámetros	82
3. 4	Porcentajes de Variación por diseño y material	83

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA NÚM.	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
1. 1	Equipo de FSAE Universidad Simón Bolívar	8
1. 2	Motor ciclo Otto	11
1. 3	Partes de un colector de admisión variable	13
1. 4	Sistema simple de admisión	14
1. 5	Ubicación de plenum	17
1. 6	Corredor o Runner colector de admisión	18
1. 7	Runner colector de admisión	19
1. 8	Ubicación ángulo difusor	19
2.1	Etapas de desarrollo del proyecto	26
2.2	Toma de medidas con calibrador pie de rey	29
2. 3	Diseño de colector de admisión	30
2. 4	Simulación de elemento en ANSYS	30
2. 5	Orificios de entrada de colectores de admisión	32
2. 6	Colectores de altas y bajas del motor	32
2. 7	Extracción de colectores de admisión para limpieza y mantenimiento	33
2. 8	Toma de medidas e identificación de colectores de admisión	33
2. 9	Carburador Teikei, serie Y26PV/1 doble Venturi	34
2. 10	Surtidores de alta y baja de carburador	35
2. 11	Geometría del colector de admisión estándar en tres dimensiones (3D)	35
2. 12	Geometría del colector de admisión doble tubo en tres dimensiones (3D)	36
2. 13	Geometría del colector de admisión Venturi en tres dimensiones (3D)	37
2. 14	Rugosidad del Aluminio 6063 T6	43
2. 15	Rugosidad de la Fibra de Carbono Hexcel AS4C	43

2. 16	Rugosidad del Acero Inoxidable Forjado	44
2. 17	Modelo CFD Y CFX	45
2. 18	Generación del mallado del diseño STD	46
2. 19	Generación del mallado del diseño doble tubo	46
2. 20	Generación del mallado del diseño Venturi	47
2. 21	Tipo de fluido	47
3. 1	Restricciones de Ingreso y Salida en colector proporcionado por el fabricante	51
3. 2	Rugosidad del material en colector de admisión Acero inoxidable forjado.	52
3. 3	Presión de trabajo en colector de admisión Acero Inoxidable Forjado.	53
3. 4	Velocidad de ingreso de flujo másico en el colector de admisión con Acero Inoxidable Forjado.	53
3. 5	Rugosidad del material en el colector de admisión con Aluminio 6063 T6	54
3. 6	Presión de trabajo en el colector de admisión con Aleación de Aluminio.	55
3. 7	Velocidad de ingreso de flujo másico en el colector de admisión con Aleación de Aluminio	55
3. 8	Rugosidad del material en el colector de admisión con Fibra de Carbono Hexcel AS4C	56
3. 9	Presión de trabajo en el colector de admisión con Fibra de Carbono.	57
3. 10	Velocidad de ingreso de flujo másico en el colector de admisión con Fibra de Carbono.	57
3. 11	Restricciones de Ingreso y Salida en la primera propuesta de diseño.	58
3. 12	Rugosidad del Acero Inoxidable Forjado en el colector de admisión	59
3. 13	Presión de trabajo en el colector de admisión Acero Inoxidable Forjado.	59
3. 14	Velocidad de ingreso del flujo en colector de admisión Acero Inoxidable Forjado.	60
3. 15	Rugosidad del Aluminio 6063 T6 en el colector de admisión	60
3. 16	Presión de trabajo colector de admisión con Aleación de Aluminio.	61

3. 17 Velocidad de ingreso de flujo en el colector de admisión con Aleación de Aluminio.	61
3. 18 Rugosidad del Aluminio 6063 T6 en el colector de admisión	62
3. 19 Presión de trabajo en el colector de admisión con Fibra de Carbono.	62
3. 20 Velocidad de ingreso del flujo en el colector de admisión Fibra de Carbono.	63
3. 21 Restricciones de Ingreso y Salida en la segunda propuesta de diseño.	64
3. 22 Rugosidad del Acero inoxidable Forjado en el colector de admisión	64
3. 23 Presión de trabajo en el colector de admisión con Acero Inoxidable Forjado.	65
3. 24 Velocidad de ingreso de flujo en el colector de admisión con Acero Inoxidable Forjado.	65
3. 25 Rugosidad del Aluminio 6063 T6 en el colector de admisión	66
3. 26 Presión de trabajo en el colector de admisión con Aleación de Aluminio.	67
3. 27 Velocidad de ingreso de flujo en el colector de admisión con Aleación de Aluminio.	67
3. 28 Rugosidad de la Fibra de Carbono Hexcel AS4C en el colector de admisión	68
3. 29 Presión de trabajo en el colector de admisión con Fibra de Carbono.	68
3. 30 Velocidad de ingreso de flujo en el colector de admisión con Fibra de Carbono.	69
3. 31 Gráfica de momento másico en colector de admisión con Acero Inoxidable.	70
3. 32 Gráfica de turbulencia en la tobera de admisión Acero Inoxidable	70
3. 33 Gráfica de momento másico en colector de admisión Aleación de Aluminio.	71
3. 34 Gráfica de turbulencia en colector de admisión Aleación de Aluminio	71
3. 35 Gráfica de momento másico en colector de admisión Fibra de Carbono.	72
3. 36 Gráfica de turbulencia en colector de admisión Fibra de Carbono.	72
3. 37 Gráfica de momento másico en colector de admisión Acero Inoxidable.	73
3. 38 Gráfica de turbulencia en colector de admisión Acero Inoxidable.	74
3. 39 Gráfica de momento másico en colector de admisión Aleación de Aluminio.	74

3. 40 Gráfica de turbulencia en colector de admisión Aleación de Aluminio.	75
3. 41 Gráfica de momento másico en colector de admisión Fibra de Carbono.	75
3. 42 Gráfica de turbulencia en colector de admisión Fibra de Carbono.	76
3. 43 Gráfica de momento másico en la tobera de admisión Acero Inoxidable.	77
3. 44 Gráfica de turbulencia en colector de admisión Acero Inoxidable.	77
3. 45 Gráfica de momento másico en colector de admisión Aleación de Aluminio.	78
3. 46 Gráfica de turbulencia en colector de admisión Aleación de Aluminio.	78
3. 47 Gráfica de momento másico en colector de admisión Fibra de Carbono.	79
3. 48 Gráfica de turbulencia en colector de admisión Fibra de Carbono.	79

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO NÚM.	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
I	Planos de diseño del colector de admisión estándar/original con vistas.	92
II	Planos de diseño del colector de admisión doble tubo con vistas.	93
III	Planos de diseño del colector de admisión de efecto Venturi con vistas.	94
IV	Diseños de los colectores de admisión	95
V	Reporte de Datos	96
VI	Condiciones de contorno para la simulación	97
VII	Proceso Práctico	98

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se rediseñó el modelo original del colector de admisión con dos nuevas propuestas de diseño de manera virtual a través de sistemas computacionales con la finalidad de analizar cuál es el comportamiento de cada uno de los distintos diseños de colectores de admisión y determinar cuál es el mejor.

Para el desarrollo de las nuevas propuestas se utilizó un software de diseño CAD y simulación CAE para la determinación del comportamiento del flujo de aire, mediante las normativas de la *Formula SAE* y determinar qué tipo de diseño de colector de admisión se adapta al motor seleccionado. El desarrollo de este proyecto tiene como objetivo impulsar e incentivar a los estudiantes de la Universidad Técnica del Norte, pertenecientes a la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz a participar en los eventos que organiza la *Formula Student*, aumentando el interés sobre futuros eventos de competición, los mismos que darán un realce a la Universidad. La presente investigación para el trabajo de grado está compuesta por cuatro capítulos conformados por la revisión bibliográfica, materiales y métodos, resultados y discusión, finalmente conclusiones y recomendaciones. Dentro del primer capítulo consta de un estudio de viabilidad para la ejecución del presente trabajo de grado haciendo mención a las diferentes herramientas y técnicas para su elaboración, en esta sección se encuentran las características del motor seleccionado, el cuál es apto para este tipo de competencias de acuerdo a la normativa de la *Formula Student*, logrando de esta manera llegar a cumplir con los objetivos planteados, seguidamente en el segundo capítulo se describe el desarrollo de la propuesta, en base a un diagrama de flujo, donde se detallan los procesos a seguir, de igual forma se dan a conocer el tipo de programas utilizados para el diseño y simulación de los colectores de admisión. En el tercer capítulo que trata sobre el análisis de los resultados obtenidos de las simulaciones de cada diseño basados en su modelo original, modelo tipo doble tubo y modelo tipo Venturi, dentro de los cuales se denotan dos variables que se consideraron en esta investigación que son la presión y velocidad del fluido; desarrollada con tres propuestas de materiales aplicados en el área automotriz que se detallan a continuación: acero inoxidable forjado, aleación de aluminio 6063-T6 y fibra de carbono Hexcel AS4C. Con los resultados obtenidos se llegó a la conclusión que en el diseño tipo Venturi se aplica el material de aleación de aluminio 6063-T6, que destacan en cuanto a la presión y velocidad lo que permite optimizar el comportamiento dinámico del motor, anteponiéndose a los otros diseños.

ABSTRACT

In the present research work, the original model of the intake manifold was redesigned with two new pattern proposals virtually through computer systems to analyze the behavior of each of the different intake manifold designs and determine which is the best.

For the development of the new proposals, CAD design and CAE simulation software was used to determine the behavior of airflow, using the Formula SAE regulations and deciding what type of intake manifold design is adapted to the selected engine. The development of this project aims to promote and motivate the students of the major of Automotive Maintenance Engineering to participate in the events organized by the Formula Student, increasing interest in future competition events. This research is comprised of four chapters made up of the bibliographic review, materials and methods, results and discussion, finally conclusions and recommendations. The first chapter consists of a feasibility study for the execution of this degree work, mentioning the different tools and techniques for its preparation, in this section are the characteristics of the selected engine, which is suitable for this kind of skills according to the regulations of the Formula Student, thus achieving the objectives set forth. In the second chapter, the development of the proposal is described, based on a flow diagram, detailing the processes to be followed, and disclosing the kind of programs used for the design and simulation of the intake manifolds. The third chapter analyses the results obtained from the simulations of each design based on its original model, double tube type model, and Venturi type model, denoting the two variables that were considered in this research, which are fluid pressure and velocity; developed with three proposals of materials applied in the automotive area detailed below: forged stainless steel, 6063-T6 aluminum alloy, and Hexcel AS4C carbon fiber. With the results obtained, in conclusion, the Venturi type design, the 6063-T6 aluminum alloy material stands out in terms of pressure and speed, which optimizes the dynamic behavior of the engine, taking precedence over the other designs.

INTRODUCCIÓN

En nuestro país Ecuador la importación de piezas es una de las actividades que se efectúa frecuentemente sin tomar en cuenta que el país donde se diseñó presenta condiciones geográficas muy diferentes a las de nuestro medio. Mediante este análisis se considera necesaria la investigación relacionada al rediseño de las partes automotrices en nuestro país, tomando en cuenta algunos de los factores climáticos locales los cuales son de suma importancia a la hora de rediseñar y construir piezas que ayuden al mejoramiento del desempeño del motor. Con el paso de los años la tecnología tiene grandes avances lo que permite realizar mejores diseños de piezas a través de sistemas computacionales en el que se puede realizar simulaciones de diseños con el fin de garantizar que cualquier autoparte en análisis cumpla con los objetivos planteados desde su diseño. En este sentido el software CAD nos permite construir los diseños de las piezas y posteriormente analizar el comportamiento del fluido en movimiento mediante un software CAE de dinámica de fluidos, con el objetivo de mejorar el rendimiento volumétrico que ingresa a la cámara de combustión del motor, solucionando de esta manera el bajo rendimiento volumétrico, y a su vez optimizando su funcionamiento para ser competitivo en la categoría *Formula Student*.

Para el desarrollo de la simulación de los diseños se establecieron condiciones de contorno en base a los materiales como la aleación de aluminio 6063 T6, acero inoxidable forjado y fibra de carbono Hexcel AS4C, a su vez se analiza la presión y velocidad del fluido en cada modelo de colector diseñado, por medio de un Análisis de Fluidos Computacionales (CFD) para determinar que colector presenta resultados favorables de acuerdo a los parámetros establecidos y clasificarlos según su rendimiento volumétrico. La simulación computacional evita que se realicen procesos de prueba y error que conllevan costos elevados y pérdidas de tiempo, sin embargo, es fundamental realizar ensayos experimentales con el fin de validar los datos obtenidos y garantizar un buen rendimiento de la parte diseñada.

El presente proyecto tiene como pilar fundamental la utilización de los programas de diseño CAD y simulación CAE para rediseñar el modelo original y diseñar dos nuevos prototipos de colectores de admisión de manera virtual para así analizar el rendimiento del motor de combustión interna en base a parámetros previamente establecidos, y a través de los resultados determinar cuál de los diseños de los colectores de admisión es el mejor para su posterior montaje en vehículos como el karting o prototipos para que puedan ser más competitivos en las carreras de *Formula Student*.

CAPÍTULO I

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. Antecedentes

En nuestro país Ecuador, los prototipos vehiculares en los últimos años al momento de ser diseñados no se tomaron en consideración la eficiencia, y rendimiento de los implementos de repotenciación vehicular, lo que conlleva a una construcción empírica y poco técnica, con graves errores de diseño. (Lema & Tobar, 2011), constatando como por ejemplo con estudiantes de la escuela de automóviles y de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Changsha Ciencia y Tecnología que diseñaron un prototipo vehicular *Formula Student* bajo la modalidad de impresión 3D el cual fue elogiado por sus pares (Picón Mejía, 2016). Las competencias automovilísticas están a cargo de la entidad denominada Federación Ecuatoriana de Automovilismo y Kartismo Deportivo (FEDAK) es una organización estatal creada para controlar, reglamentar e incentivar al deporte automovilístico en el Ecuador, contando con la afiliación de clubes dispersos en todo el territorio nacional, los cuales comprenden diferentes modalidades como: Circuitos, Karting, 4x4, Rally, Autos Clásicos, entre otras ((FEDAK), 2018).

Entre aquellas competencias que se realizan se encuentra la competencia de la *Formula Student* o también llamada *Formula SAE* es una de las competencias que tiene más prestigio y recibe a diferentes equipos de universidades del mundo, esta competencia se basa en el diseño estudiantil y la fabricación de un prototipo de vehículo de competencia similar al de la Formula 1, el cual entra en competencia con un previo análisis de un jurado compuesto por ingenieros de alto nivel. El diseño y construcción del prototipo de *Formula Student* brindan apoyo al desarrollo automotriz e incentivan el trabajo en conjunto realizado por los participantes tanto como en procesos de diseño, construcción del vehículo y puesta en marcha del mismo (Pérez, 2016).

Esta competencia cuenta con sus propias reglas y normas establecidas por la asociación de ingenieros mecánicos (IMechE) conjuntamente con ingenieros del automóvil SAE, en las cuales los equipos de trabajo deben registrarse a estas para lograr un mejor puntaje. El gran nivel competitivo que se da en esta categoría invita a seguir investigando sobre mejoras tanto mecánicas como aerodinámicas para tener un mejor rendimiento y puedan sobresalir en cada una de las competencias (Horton, 2018).

Las mejoras mecánicas en un vehículo de competición vienen a ser primordiales ya que con éstas se pretende ganar un mejor rendimiento al motor. Existen elementos internos y externos del motor que se pueden modificar y el múltiple de admisión es uno de ellos donde se puede mejorar el rendimiento del vehículo sin la necesidad de incurrir a partes internas del motor que involucran un mayor costo de modificación. El colector de admisión puede ser modificado para lograr que el motor tenga mayor cantidad de aire y por tanto una mejora en la combustión lo que se verá reflejado en el mejoramiento del rendimiento del motor (Quiroz, 2017).

Por otra parte, la estructura geométrica del colector de admisión tiene una función importante en los motores de encendido provocado, en vista que este componente es el encargado de variar el flujo másico de aire de entrada al cilindro y por ende va a existir una variación en lo que respecta a la eficiencia con la que va a trabajar este, como lo establece (Mediavilla J. J., 2016), en su estudio titulado “Diseño y construcción de colectores de admisión de aire con tomas individuales para cada cilindro del motor de un vehículo Chevrolet corsa evolution”. El colector de admisión canaliza los gases frescos de admisión hacia las válvulas situadas en la culata; siendo los propicios a la creación de fenómenos vibratorios y acústicos de gran importancia. (Martínez, 2008), es por esta razón que las vibraciones en el colector de admisión causan problemas en el rendimiento del flujo de aire, delimitando así el desarrollo de la potencia máxima que pueda destacar el motor.

En los motores de combustión interna, la geometría en el múltiple de admisión es un punto determinante en cuanto a su rendimiento, el objetivo del motor es que se genere una turbulencia adecuada del aire para de esta manera obtener una mezcla homogénea con el combustible que generará una buena combustión al interior del cilindro y por ende un aumento en las curvas de rendimiento del motor. Varios investigadores realizaron una simulación numérica del flujo constante de aire a través del múltiple de admisión, el objetivo del estudio fue la distribución uniforme de aire a los cilindros junto con la resistencia mínima posible en los conductos del múltiple de admisión (Rajesh Holkar, 2015).

Lo que se ha pretendido en investigaciones y diseños de múltiples de admisión es controlar en cierta forma una distribución adecuada de la mezcla a cada uno de los cilindros, por un lado el análisis del flujo juega un papel muy importante dentro del diseño de un múltiple de admisión, si no se lo analiza correctamente se pueden crear turbulencias en los conductos del múltiple que son perjudiciales para la combustión del motor, y por otro lado, contar con

un material que ofrezca la menor resistencia posible del flujo de aire es vital para obtener una mezcla homogénea en periodos cortos de tiempo.

Debido a los nuevos desarrollos tecnológicos que establecen el nivel competitivo de la *Formula SAE* los sistemas del prototipo deben ser desarrollados y comprobados minuciosamente, en base a las investigaciones realizadas al prototipo de *Formula Student* influye notablemente en el diseño y simulación de los múltiples de admisión de los cuales se diseñó el modelo original y dos diseños creados de propia autoría para analizar cuál de los dos modelos creados presenta mejores características en base al rendimiento volumétrico por ende se estudia la cantidad de aire que ingresa al cilindro para que así realice una mejor combustión del motor.

1.2. Planteamiento del Problema

Los colectores de admisión desde sus inicios se han construido por el proceso de moldeo, utilizando aleaciones ligeras de metales con la finalidad de que no sean muy pesados y dispongan de una resistencia tanto al calor como a esfuerzos de resistencia, pero con la introducción de nuevos materiales plásticos como son los polímeros de alta resistencia, se empezaron a fabricarlos con dichos materiales, con la finalidad de reducir su peso considerablemente y un ahorro en coste de producción a grandes escalas (Aristizabal & Cisneros, 2010).

En la actualidad los colectores no son muy eficientes como para poder aprovechar al máximo el rendimiento del motor pese a estar diseñados con materiales extremadamente ligeros pero con diseños simples, porque no logran realizar la mezcla de aire -combustible requerida (ideal), la proporción de la mezcla es de 1 kg de gasolina por cada 14,7 kg de aire (Acebes, 2017), por lo tanto se requiere una mejor eficiencia al momento de realizar la alimentación de la mezcla aire-combustible por lo que demanda diseños mucho más sofisticados que los convencionales que permitan proporcionar la cantidad de mezcla ideal a la cámara de combustión interna.

Por otra parte, el proyecto de investigación se centra en mejorar el rendimiento volumétrico que ingresa a la cámara de combustión del motor, a través del diseño y simulación de distintos colectores de admisión, solucionando de esta manera el bajo rendimiento volumétrico, y a su vez optimizando su funcionamiento, para ser competitivo en la categoría *Formula Student*, el diseño del colector de admisión se lo realizará utilizando el software CAD SolidWorks el cual según lo establece (Quintero,

2015) el cual ofrece las mejores prestaciones en diseños 3D y la simulación se la realizará en programa de Ansys.

1.3. Formulación del Problema

¿Es factible la realización del diseño y análisis del colector de admisión de un motor de encendido provocado para un vehículo de *Formula Student*, mediante la simulación de flujos volumétricos tomando en cuenta velocidades y presiones de trabajo utilizando software CAD y CAE?

1.4. Delimitación

1.4.1. Delimitación Temporal

Para el desarrollo de este proyecto se establece un periodo de tiempo de 12 meses.

1.4.2. Delimitación Espacial

El análisis y diseño de los componentes se los realizará en las instalaciones del taller de Ingeniería Automotriz del campus universitario de la Universidad Técnica del Norte, que se encuentra ubicado en la ciudad de Ibarra, provincia de Imbabura sector el Olivo.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Diseñar y analizar los colectores de admisión de un motor de encendido provocado mediante la utilización de software CAD y CAE para un vehículo de *Formula SAE* con el fin de mejorar la eficiencia de llenado del cilindro.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Diseñar distintos colectores de admisión por medio de un software CAD para determinar cuál proporciona el mejor flujo de aire.
- Simular cada uno de los colectores de admisión con la utilización de un programa CAE y clasificarlos por su rendimiento volumétrico.
- Comparar las gráficas realizadas en la simulación, verificando los mejores resultados para seleccionar el colector de admisión que se adapta al motor de encendido provocado.

1.6. Justificación

En lo que respecta a los avances tecnológicos en relación con el campo automotriz y al incremento de diferentes tendencias e innovaciones en los motores de encendido provocado, este estudio se ha enfocado en la necesidad de diseñar un sistema de admisión para un motor de encendido provocado en un vehículo de *Formula Student* con el que se determinará el rango de eficiencia más representativo que va a tener con las prestaciones de dicho motor.

El objetivo primordial del tema del proyecto se fundamenta en la cantidad de flujo de aire más efectiva con la que va a ingresar al cilindro, a fin de obtener un funcionamiento más estable de acuerdo con las prestaciones del motor de combustión interna.

En este caso particular se decidió utilizar como alternativa diseñar estructuras modificadas del colector de admisión estándar en un software (CAD) diseño asistido por computadora, y con un software (CAE) Ingeniería asistida por computadora, simulando así los flujos de aire para determinar cuál colector se adapta mejor considerando los resultados obtenidos. Los programas computarizados mencionados permitirán analizar el efecto de los distintos tipos de variaciones de acuerdo con el diseño modelado y mediante los resultados se obtendrá un mejor rendimiento del motor.

Por otra parte, este proyecto se justifica desde el punto de vista que se encuentra concatenado de manera directa con el objetivo 5 del Plan Nacional de Desarrollo 2017 – 2021 en el cual manifiesta “Impulsar la productividad y competitividad para el crecimiento Económico sostenible de manera redistributiva y solidaria” (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2017, págs. 80-82) donde se establece que para incrementar la competitividad, se requiere investigar e innovar desde el sector educativo profesionalizando a la población, diseñando y simulando los colectores de admisión para posteriormente determinar cuál de ellos brinda un mayor flujo volumétrico, para el motor del prototipo *Formula Student* considerándose una innovación pertinente en el sector educativo.

1.7. *Formula Student*

1.7.1. Antecedentes “*Formula Student*”

La denominada “*Formula Student*” es un tipo de competición que generalmente brinda a los estudiantes la ocasión de desarrollarse bajo la metodología de la ingeniería mientras cumplen la meta de llegar a titularse en el área de la ciencia automovilística; logrando cimentar sus conocimientos adquiridos en el alma mater en un prototipo de vehículo de competición.

La Fórmula SAE como toda competición tiene varios lineamientos y reglamentos, el cual consta de 9 artículos que están subdivididos en secciones, de los cuales destaca los objetivos que son dirigidos exclusivamente a generar una competición con buenas prácticas de ingeniería, con lo que respecta a las categorías resalta las pruebas estáticas y dinámicas a las cuales están sometidos los vehículos; en el artículo 2 trata acerca de las matrículas, reglas y códigos de competencia; en el artículo 3 se refiere a las autoridades y normas que se deben regir de acuerdo al reglamento; seguidamente en el artículo 4 se refiere a los requerimientos para la participación individual como es la edad, la licencia de conducir, seguro médico, entre otros, en el artículo 5 se refiere a los asesores, en el artículo 6 se enfoca en los requisitos que debe poseer el vehículo, también en el artículo 7 habla sobre el registro, en el artículo 8 consta de la documentación vehicular y finalmente en el artículo 9 se refiere a las protestas. La competición se expandió a varios países del mundo hasta llegar a nuestro país en donde las universidades que imparten la carrera de Ingeniería Automotriz han desarrollado varios prototipos de vehículos SAE (Moreta, 2013) con la finalidad de competir con sus pares a nivel mundial, uno de los principales inconvenientes para desarrollar este tipo de tecnología es el limitante económico y la carencia de una organización local. Una vez en la competencia, se verifica que todos los coches cumplen las normas establecidas, dando especial importancia a la seguridad de estos.

Es así como para poder continuar en la competición se realizan varias pruebas de índole estático y dinámico las cuales están normadas y son valoradas en una escala de 1000 puntos los mismos que se subdividen en dos variables (325 para pruebas estáticas y 675 puntos en pruebas dinámicas) en total. (Sistach, 2018)

El objetivo de la *Formula Student* es lograr mejorar las capacidades de los estudiantes de universidades y postgrados mejorando sus habilidades de diseño e investigación en la creación de monoplazas para competir en un número de pruebas estáticas y dinámicas con el objetivo de verificar cuál es el mejor.

1.7.2. Desarrollo de la “Formula Student”

El principal objetivo de la “Formula Student” es promover el desarrollo de la investigación en las diferentes carreras de ingeniería, ya que estos prototipos demandan de un sin número de ramas de conocimiento, embarcando áreas de diseño, simulación, manufactura, gestión, construcción, mantenimiento etc. Las cuales se concatenan en un prototipo homologado. (Romero & Queipo, 2017)

1.7.3. Restricciones de la “*Formula Student*”

De acuerdo al reglamento de la *Formula Student* tiene reglas y normas que se deben cumplir, una de ellas es las restricciones que esta tiene como es la del cilindraje, en el artículo IC.1.1.1 acerca de los motores de combustión utilizados para alimentar el vehículo, en donde el máximo permitido para el motor es de 710 centímetros cúbicos por ciclo para cumplir con las normas establecidas en el reglamento.

1.7.4. Tipos de motores empleados en la “*Formula Student*”

Los Motores de combustión interna utilizados en este tipo de prototipos son los de cuatro tiempos, los mismos que no deben superar el cilindraje máximo de 710 centímetros cúbicos, tal como se mencionó en el apartado anterior, por lo general este tipo de máquinas motrices son de motocicletas, en vista que estos poseen un tamaño reducido y una gran potencia efectiva, debido a su peso ligero y su centro de gravedad relativamente bajo; por otra parte los fabricantes más populares de ese tipo de motores, tanto por sus prestaciones y fiabilidad son: **Honda, Yamaha, Kawasaki, Suzuki**, estos son motores considerados de alta gama y con una excelentes prestaciones y una buena resistencia al giro, entre los modelos más utilizados tenemos los que se detallan a continuación:

- Motocicleta Honda CBR 600 RR
- Motocicleta Sport Yamaha YZF-R600
- Motocicleta Cross Kawasaki ZX- R600
- Motocicleta Pana Suzuki GSX- R600
- Motocicleta Yamaha XT 600 E

Como se expresó anteriormente este listado de motores son los sugeridos para ser adaptados en diferentes monoplazas de *Formula SAE*, por sus características constitutivas; para detallar de mejor manera estos generadores termodinámicos, que van hacer utilizados para posteriores competencias que desarrollen a futuro a continuación, se detalla en la tabla 1.1, los datos obtenidos de los fabricantes de estos.

Tabla 1.1 Comparativa motores recomendados prototipo FSAE

Fabricante	Honda	Yamaha	Kawasaki	Suzuki
Cilindraje	599	595	635	600
Modelo	CBR-600 RR	XT 600 E	ZX-R600	GSX-R600
Tipo	4 t	4t	4t	4t
Sistema de enfriamiento.	Líquido	Aire	Líquido	Líquido
Relación de compresión	8:1	8.5:1	12.9:1	12.8:1
Numero de cilindros	4	1	4	4
Numero de válvulas	16	4	16	16

Fuente: (Rodríguez Vidal, 2016)

1.7.5. Objetivos de diseño del vehículo

El monoplaza vehicular por ser constituido por estudiantes de ingeniería, se sobre entiende que debe ser diseñado para pilotos no profesionales, tomando en cuenta que esta competición se la va a realizar en una pista no profesional, sin dejar a un lado las medidas de seguridad complementarias que son necesarias para precautelar el bienestar y la salud de los pilotos; para esto el vehículo, debe tener las cualidades de aceleración, maniobrabilidad y frenado a punto y cumplir con todos los requerimientos fijados por la FSAE porque se toma muy en cuenta el factor seguridad.

1.7.6. Eventos de competencia

Algo llamativo en este tipo de evaluaciones, es que los equipos de diseño que van a participar en la competición presentan un plan de negocio dando a conocer de manera detallada, los detalles económicos del equipo, así como las innovaciones técnicas implementadas en este; por otra parte, en las pruebas dinámicas la escudería y por ende el piloto realizan pruebas relativamente exigentes al vehículo de aceleración, resistencia, consumo de combustible y estabilidad.



Figura 1. 1 Equipo de FSAE Universidad Simón Bolívar

Fuente: (Betancourt, 2015)

Tal como lo establece (Escuela Politécnica Superior Universidad Carlos III de Madrid, 2018), la *Formula Student* se compone principalmente de dos tipos de pruebas macro, las estáticas y las dinámicas; aquí se evalúa de manera comparativa los prototipos diseñados por los equipos de ingeniería participantes, a los cuales se les somete a las dos pruebas mencionadas con antelación, cabe recalcar que las pruebas realizadas son sometidas a condiciones de funcionamiento reales, con la finalidad de identificar el nivel de perfeccionamiento de cada prototipo, como se aprecia en la figura 1.1 el equipo de *Formula Student* de la Universidad Simón Bolívar de Venezuela.

1.7.7. Pruebas Estáticas

1.7.7.1. Verificación técnica

En esta prueba se realiza una inspección visual con la finalidad de garantizar que el prototipo cumple con los requerimientos mínimos impuestos por los entes reguladores de la *Formula Student*, así como también se observa que tengan implementadas las limitaciones impuestas por los organizadores, como por ejemplo un super cargador que haya sido introducido de forma irregular y que no haya sido diseñado y elaborado por el grupo de ingeniería proponente. (Universitat Politècnica de Catalunya, 2019)

1.7.7.2. Prueba de diseño

En este apartado se argumenta de manera objetiva la justificación de la realización de cada uno de los elementos constitutivos del prototipo, adicional el por qué se utilizó los materiales de fabricación; esta prueba es trascendental ya que antecede al inicio de la competición, la evaluación se la realiza por equipos de profesionales expertos en la rama automotriz, así como también estos realizan las respectivas preguntas para que los diseñadores argumenten el porqué de cada uno de los materiales utilizados. (Barroso & Bessa, 2015)

1.7.7.3. Análisis de costos

El objetivo es recopilar y realizar un informe detallando los costos de producción y ensamblaje del vehículo para determinar un precio total así se logrará tener un estimado real de todo el costo requerido para poner en marcha al monoplaza, además también para poder realizar un correcto plan de negocios en caso de que exista alguna empresa o algún tipo de auspiciante que quiera saber el costo real del monoplaza. (Barroso & Bessa, 2015)

1.7.8. Pruebas dinámicas

1.7.8.1. Prueba de Endurance

Esta prueba corresponde a que el prototipo monoplace, es evaluada su fiabilidad y su respectiva resistencia por los jueces de la competición, en donde se toma en cuenta que el vehículo resista condiciones reales de trabajo, así como los esfuerzos sometidos de tracción y frenado, esta prueba se la realiza en una pista continua de 22 km, misma que está delimitada con una serie de conos (e-Tech Racing, 2019).

1.7.8.2. Prueba de aceleración

Se corrobora la capacidad de aceleración al máximo en una recta de 75 metros que habitualmente es la recta principal del circuito aquí se toma en cuenta el pique que dispone cada monoplace y todos los vehículos de participación deben tener la malla de restricción en la entrada de admisión de 20 mm para evitar accidentes y fomentar la seguridad en la pista. (Perez, 2016)

1.7.8.3. Prueba Autocross.

El objetivo es evaluar el nivel de manejo del monoplace ya que se realiza la prueba en un circuito trabado por conos y el vehículo que realice el menor tiempo en dar una vuelta es el ganador. Es una prueba de total habilidad para el piloto y un total desafío para determinar que el monoplace disponga de la geometría correcta para poder adaptarse al tramo de carretera. (Somoano, 2017)

1.7.8.4. Prueba “Skydpad”

Esta prueba se la realiza en una pista mojada o húmeda (dependiendo de las condiciones), la cual posee curvas cerradas, la cual tiene la finalidad de evaluar el agarre que posee el vehículo monoplace, como también la estabilidad que debe tener al ser sometido a curvas; adicional con este tipo de prueba se pretende evaluar el diseño de la suspensión, sus neumáticos y su estabilidad al circular por vías mojadas o imperfectas. (Plaza, 2016)

1.7.9. Puntuación de eventos

Todas las pruebas tanto dinámicas como estáticas dan un total de mil puntos, para lo cual se detalla a continuación en la tabla 1.2 la ponderación de cada una de las pruebas a ser realizadas en los prototipos monoplace:

Tabla 1.2 Ponderación de puntajes *Formula Student*

Tipo	Pruebas	Puntos
Estáticas	Presentación	75
	Diseño	150
	Análisis de Costes	100
Dinámicas	Aceleración	75
	Skid-Pad	50
	Autocross	150
	Eficiencia	100
	Resistencia	300
Total		1000

Fuente: (Estruch, 2016)

1.8. Motor de combustión interna ciclo Otto

Todos los motores han tenido su origen en algún ciclo termodinámico, el cual consta de una serie de eventos en los que la energía se recibe a un nivel elevado, convirtiéndose en trabajo la mayor cantidad posible y el resto se vierte en el medio que lo rodea (Yolanda & Morales, 2014). El funcionamiento de estos se realiza en cuatro tiempos de trabajo el cual involucra la admisión, compresión, explosión y escape de gases incinerados, que una vez cumplidos, se genera un ciclo de trabajo.

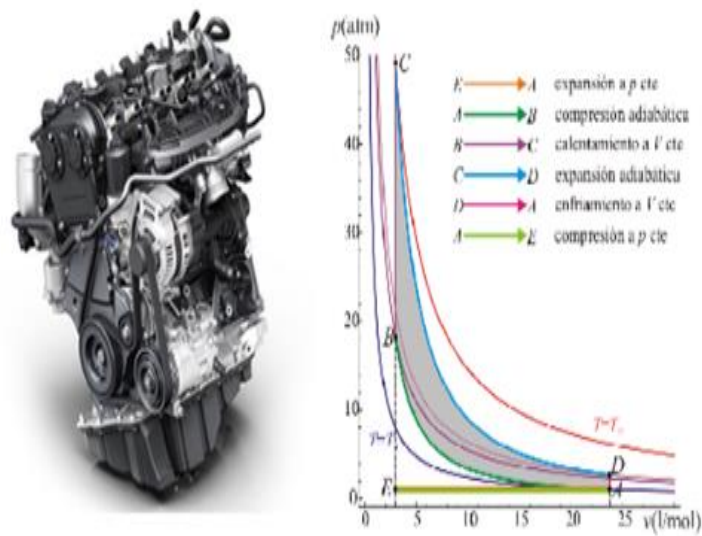


Figura 1. 2 Motor ciclo Otto y su ciclo termodinámico

Fuente: (Garcia, 2015)

El motor de combustión interna a gasolina figura 1.2, trabaja con bujías las cuales tiene el objetivo de producir el chispazo de ignición de la mezcla aire combustible en los cilindros o cámara de combustión, este proceso se inicia cuando el pistón desciende al punto muerto inferior y la válvula de admisión permanece abierta hasta realizar el llenado del cilindro para proceder con la compresión de la mezcla aire combustible, cabe recalcar que en esta etapa de trabajo las válvulas, tanto las de admisión y escape permanecen cerradas para generar un sello hermético en el motor, asegurando que no haya fugas de la mezcla aire - combustible, para que una vez terminado el trabajo de compresión y explosión la válvula de escape se abre para liberar los gases quemados producto de la quema del combustible y volver a repetir el ciclo termodinámico de trabajo. (Otero Potosi, 2017)

1.9. Múltiple de Admisión

1.9.1. Función del Colector de Admisión

Este elemento es diseñado para que suministre aire al motor mediante tuberías que van conectadas a cada uno de los cilindros que posee el motor, la longitud de cada uno de estos ductos es diseñada de una manera que el diámetro y curvaturas de estos no perjudiquen el normal funcionamiento del motor y que a su vez evite las resonancias y turbulencias producidas en este por un mal reglaje. (Claudio de Castro, 2018).

Con lo que respecta a los sistemas de inyección electrónica, los colectores de admisión son los encargados de receptor aire y que por medio de la atomización de combustible producto de la entrada en funcionamiento del inyector se realiza la mezcla de aire y el combustible proporcionado por el inyector, produciendo la introducción de este compuesto en la cabeza de la válvula de admisión, generando un funcionamiento optimizado del motor de combustión interna.

En lo que respecta a los parámetros y condiciones que deben cumplir los colectores de admisión están que las paredes de cada uno de los cilindros deben estar en lo posible lo más liso, para que estas faciliten el llenado idóneo y la eficacia de funcionamiento del motor.

Además, por último, el diseño de los cilindros deben ser un poco inclinadas paralelas a la culata facilitando de esta manera el arranque en condiciones de reposo en condiciones de temperaturas bajas, porque el combustible tiende a condensarse en el interior de las paredes del colector, lo cual por motivo de la gravedad el fluido alimenta a cada cilindro.

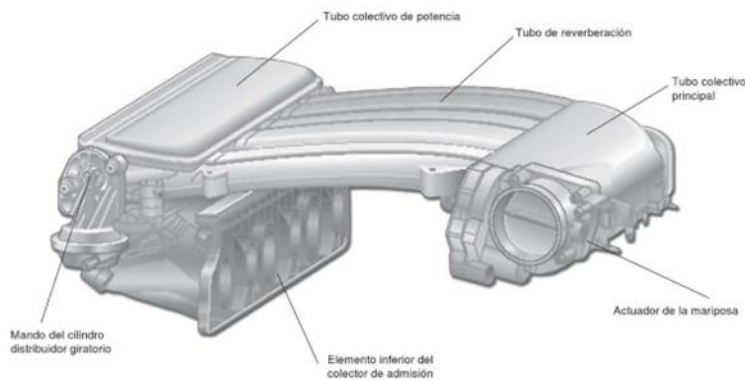


Figura 1.3 Partes de un colector de admisión variable

Fuente: (Gonzales, 2011, pág. 227)

El colector de admisión o más conocido como múltiple de admisión figura 1.3, es una serie de ductos, en los cuales se permite la mezcla de aire – combustible con la finalidad que se efectúe un llenado equilibrado en todos los cilindros y se optimice el funcionamiento correcto del motor de combustión interna.

Ahora centrándonos en la arquitectura del motor de combustión interna, con respecto al colector de admisión, los motores que se componen de más de un cilindro se denominan poli-cilíndricos, los cuales al igual que los mono-cilíndricos, deben poseer las mismas características de llenado que estos.

Con lo antes mencionado, como dato importante se debe tener en consideración que, si no se diseña correctamente los ductos de admisión, así como las curvaturas del colector, se afecta considerablemente el rendimiento del vehículo debido a que no se cumple con las exigencias de geometría que establecen que la fuente debe ser lo más cerca posible a los cilindros para que se permita un flujo inmediato de aire en todo el sistema.

1.9.2. Características del Colector de Admisión

En la actualidad algunos motores de combustión interna poseen colectores de admisión con características complejas, como la de cambiar su geometría, para que funcione de manera óptima con diferentes velocidades del vehículo, optimizando de esta manera el rendimiento del motor (Claudio de Castro, 2018).

Los elementos constitutivos de este elemento son de fundición, los cuales cuentan con orificios de atornillado de manera directa hacia la culata, para que estos calcen a la perfección en el motor, los materiales utilizados poseen un alto índice de resistencia a la torsión, así como una buena conductibilidad térmica para soportar los altos niveles de temperatura, en vista que como se mencionó anteriormente, estos van alojados al cabezote, un dato

importante que es bueno resaltar, es que la base que se encuentra en contacto con la culata, se encuentran las juntas de estanquidad las cuales realizan un sello hermético entre los elementos antes mencionados, evitando la fuga de aire del motor.

1.9.3. Partes de un sistema simple de admisión

El sistema de colector de admisión de diseño simple es uno de los más básicos, en cuanto no posee mucha complejidad el diseño ya que al interior de este, ingresa aire filtrado de forma directa; cuando el sistema es a carburador el aire ingresa de forma directa, en vista que este se encuentra acoplado al carburador, en cambio si el sistema es a inyección, en este se encuentran alojados los inyectores, y los conductos van direccionando la mezcla aire – combustible a la cabeza de la válvula de admisión. (Calleja D. , 2015)

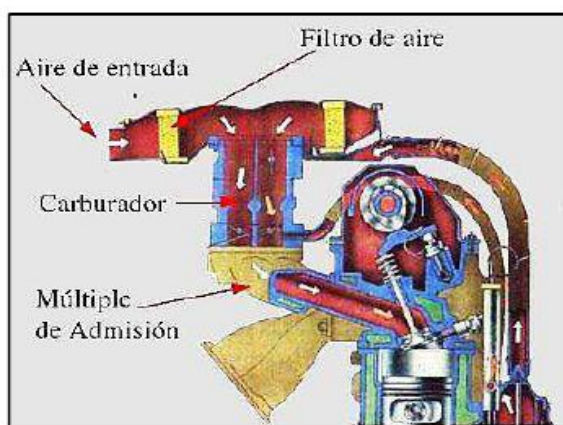


Figura 1. 4 Sistema simple de admisión
Fuente: (Calleja D. G., 2015)

Como se evidencia en la figura 1.4, las flechas que se encuentran en la parte externa del gráfico visualizan el flujo del aire en este sistema antes mencionado.

1.9.4. Eficiencia del colector de admisión

La arquitectura y diámetro de los ductos del colector de admisión son los responsables de la relevancia referente al desempeño de la eficiencia del motor, la eficiencia es proporcional al diseño articulado de los ductos, en vista que estos homogenizan de mejor manera la mezcla, aire – combustible.

En lo que se refiere a los pasajes del colector de admisión, cuando este presenta un diámetro reducido, alcanza a producir alto porcentaje en la potencia generada por el motor en bajas

revoluciones, pero cuando aún motor incorporado con pasajes de diámetro mayor resultara obtener una similar potencia con un número mayor de revoluciones de motor.

Con lo que tiene que ver, con los parámetros necesarios para evidenciar la eficiencia del motor, según (Cerpa, 2016), estos parámetros que se calcularon principalmente fueron: la eficiencia térmica, la eficiencia térmica al freno, la eficiencia mecánica y la eficiencia volumétrica. En lo que respecta a los vehículos de Fórmula 1, estos seguimientos son necesarios para regirse al reglamento.

1.9.5. Generalidades del colector de admisión

En la especificación de los distintos parámetros como es con el colector de admisión encontramos algunas de las características más esenciales.

Como afirma (Mediavilla J. J., 2016), un buen colector de admisión debe reunir las siguientes características:

- Reducir en lo posible la distancia del inyector a los cilindros.
- Evitar los recodos que pueden contribuir a crear contrapresiones.
- Repartir la mezcla de forma equitativa entre los distintos cilindros.
- Poseer el suficiente diámetro para no estrangular el paso de la mezcla

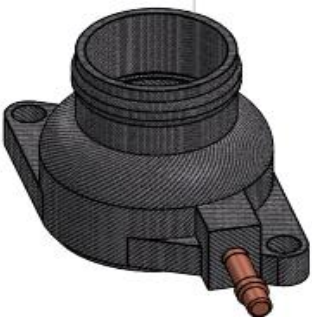
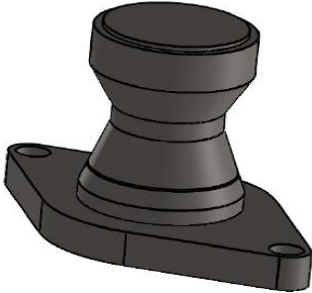
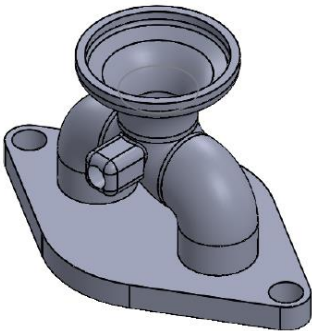
Todas aquellas características son de mayor relevancia y de mejor calidad en la fabricación de los colectores de admisión por ende se lo transforma y se obtiene un mejor material para dicho motor

Según (Broatch, Novella, & García-Tíscar, 2018) menciona que los parámetros de combustión más relevantes, tales como la presión máxima de tiempo-derivado, la presión máxima del cilindro, velocidad de liberación de calor y los ángulos de combustión. Estos datos son descifrados a partir de la presión generada en la combustión.

1.9.6. Tipos de colectores de admisión (Análisis comparativo)

En la presente tabla 1.3, se expone la propuesta en la cual se va a analizar tres tipos de colectores de admisión para determinar el más idóneo una vez generado el diseño y su posterior simulación.

Tabla 1.3 Análisis comparativo de los tipos de colectores de admisión

Tipo de Colector	Imagen	Análisis
Colector de Admisión Estándar		Por el conducto de admisión fluye libremente el fluido hacia las canalizaciones de la culata
Colector de Admisión de Efecto Venturi		El fluido ingresa en un conducto cerrado, disminuyendo así la presión en vista que aumenta la velocidad a lo que circula por la sección de menor diámetro
Colector de Admisión Doble Tubo		Este tipo de colector es el que se compone de dos cavidades tubulares que distribuyen el fluido uniformemente

Fuente: Los autores

1.9.7. Objetivos en el diseño de un sistema de admisión

Los objetivos primordiales en el diseño de un sistema de admisión son de gran trascendencia en la fabricación de cada pieza y son fundamentales para cada aspecto como son los siguientes, tal como lo establece (Fygueroa, Araque , & Vil, 2017)

- La exuberancia de los flujos que emana a los cilindros debe ser compensada de manera adecuada.

- Cada uno de los flujos debe ser colocado de forma directa para así evitar de manera significativa la contaminación cruzada.
- Disminuir los orificios de los ductos del colector de admisión para así obtener un buen proceso de fabricación armónico.
- Desplazar en la mayor cantidad posible cada uno de los diferentes líquidos combustibles por cada conducto de las piezas del motor.
- El diámetro del tracto de admisión debe ser de una contextura muy diminuta para que así tenga una mayor velocidad el flujo de aire y su fricción sea mucho mejor y no afecte al funcionamiento y por ende el rendimiento del motor de combustión interna.

1.9.8. Parámetros Geométricos

Con lo que respecta a los parámetros geométricos del colector de admisión, se va a estudiar cuatro cuantificaciones predominantes los cuales se detallan a continuación de manera concisa.

1.9.8.1. Volumen del Plenum

Es primordial analizar el volumen del plenum para poder determinar si existen gases a bajas velocidades y presiones superiores a la atmosférica, para así poder conseguir la gran capacidad de prevenir que el motor en altas revoluciones de giro no pierda aire y perjudique el normal desempeño del motor.

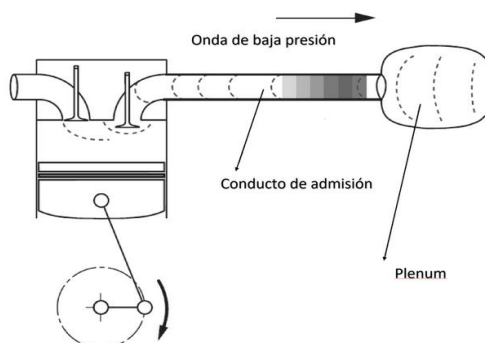


Figura 1. 5 Ubicación de plenum

Fuente: (Valdés, 2020)

El llenado de los cilindros del motor de combustión interna para que este funcione de manera ideal debe ser equitativo en cada uno de estos, para que exista esta finalidad como se

evidencia en figura 1.5, se utiliza una cámara de almacenamiento de aire, que se encuentra alojada, entre la mariposa de aceleración y los ductos de admisión. (Valdés, 2020)

1.9.8.2. Los *Runners* del colector de admisión

El colector de admisión en un vehículo es un conjunto de conexiones tubulares que ayudan a optimizar la mezcla de aire y combustible, en el cual fluye desde el carburador o inyector de combustible a los cilindros del motor de combustión interna.

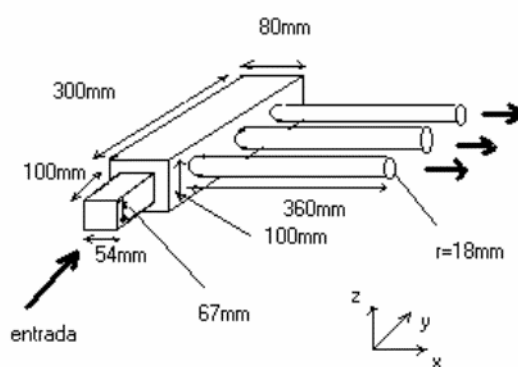


Figura 1. 6 Esquema de Corredor o Runner colector de admisión

Fuente: (Jiménez & Solorio, 2007)

Los tubos antes mencionados se los conoce a menudo como corredores o runners (Pretexsa, 2016) los cuales se les puede observar en la figura 1.6.

1.9.8.3. Diámetro de los *Runners*

Al analizar el diámetro de los *runners* se debe hacer una selección del diámetro de los tubos del colector de admisión del aire que contiene la culata, para que una vez seleccionado este parámetro se pueda verificar como es su comportamiento en el motor y determinar su rendimiento óptimo.

1.9.8.4. Longitud de los *Runners*

La longitud de los *Runners*, presenta los elementos más significativos a la hora de fabricar el colector de admisión en vista que la distancia de los tubos depende de manera significativa el funcionamiento del motor.

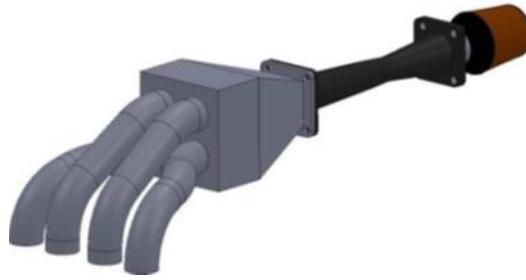


Figura 1. 7 Runner colector de admisión

Fuente: (Hinojosa & Piña, 2015)

Con respecto a la figura 1.7, se muestra la eficiencia del motor de combustión interna al cual va acoplado y el material con el que es fabricado tiene una gran importancia en este elemento. (Fernando & Tobar, 2011)

1.9.8.5. Ángulo del Difusor

En lo que respecta al ángulo difusor, a causa de la sección ampliada del difusor modifica las propiedades del fluido que las cruza, las cuales pueden ser beneficiosas o pérdidas de acuerdo al comportamiento del fluido en estudio.

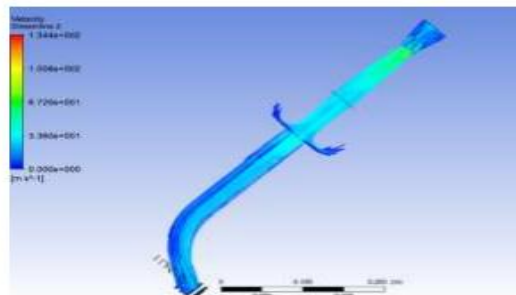


Figura 1. 8 Ubicación ángulo difusor

Fuente: (Shivdeep & Gowreesh , 2019)

En el último parámetro como es el ángulo del difusor es conocido también como admisión lateral el cual es un difusor de ensanchamiento o área ampliada la cual tiene como objetivo reducir la velocidad y así recuperar la pérdida ocasionada de la presión del flujo, como se evidencia en la figura 1.8, representada en una gráfica. (Shivdeep & Gowreesh , 2019)

1.9.9. Características del flujo en el colector de admisión

Para poder lograr óptimos estados de la combustión que permitan reducir la cantidad de emisiones y el consumo desmesurado de combustible, es fundamental identificar la cantidad

de carga efectiva que ingresa al cilindro y la calidad de esta (mezclado) (Albanesi, Zanotti, & Calvo, 2005).

1.10. Tipos de materiales normalmente aplicados en la construcción de colectores de admisión

Para la selección de los materiales que se van a utilizar para determinar la eficiencia del colector en el software de simulación se tomarán varios parámetros como el tipo, procedencia, características y costo como lo establece (Díaz, Hurtado, Molina, & Valarezo, 2014, págs. 127-136) en su tesis *Diseño, construcción e implementación del colector de admisión para el motor de combustión interna Yamaha FZR 600 cc para la competencia Formula SAE* en la cual se establece dos tipos de materiales comunes según las características detalladas como los naturales y sintéticos siendo el más común debido a sus características, costos y facilidad de conseguir el aluminio, el que ha sido uno de los más utilizados para este tipo de trabajo; por otra parte en los sintéticos los que sobresalen son la fibra de vidrio y carbono como materiales recomendados según el estudio citado los cuales van a ser fruto de análisis en este proyecto.

1.10.1. Materiales Naturales

1.10.1.1. El aluminio

El aluminio, así como el magnesio y el titanio, hacen parte de la familia de los “metales ligeros” que se caracterizan por tener una baja densidad y por sustituir materiales como el acero en estructuras y componentes, ya que ayudan a reducir su peso. El aluminio tiene un amplio número de aplicaciones en diversos sectores industriales (construcción, automotriz, empaques o envases, maquinaria, aeronáutica) debido a su ligereza y su alta resistencia a la corrosión. (Delgado, Sánchez, & Flores, 2015)

Dicho material denominado aluminio en su mayoría es uno de los metales más utilizados en el área automotriz, con el cual se fabrica comúnmente culatas, bloques del motor, colectores de admisión, tanques, carrocería, compuestos y aleaciones, entre otros.

Este material posee propiedades mecánicas las cuales son beneficiosas para el desarrollo y construcción de componentes elaborados de este material por su alta resistencia mecánica, bajo costo, menos peso y buena disipación de calor; con el paso de los años, y el avance de las nuevas tendencias tecnológicas enfocadas al aprovechamiento de algunos materiales no explorados, se ha ido desplazando paulatinamente este material de algunos componentes del

automóvil, siendo reemplazado por la fibra de vidrio, fibra de carbono y polipropileno, dentro de estos materiales, el que más sobresale es la fibra de carbono, la cual se la emplea en los vehículos que son diseñados para competencias y de alta gama.

1.10.2. Materiales sintéticos

1.10.2.1. Fibra de vidrio

La fibra de vidrio “es producida estirando monofilamentos de vidrio provenientes de un horno que contiene vidrio fundido y reuniendo un gran número de estos filamentos para formar un cordón de fibras de vidrio” (Alexander, Cano, Arango, & Montoya, 2017), está compuesta de fibras diminutas y muy finas, que son utilizadas para alivianar el peso de la estructura destinada a su construcción.

En las competencias de *Formula SAE*, este compuesto es uno de los más utilizados, debido a su costo que es relativamente bajo con respecto a otros compuestos de construcción, así como su peso ligero, es por esta razón se encuentra en casi la mayoría de los componentes de la carrocería del prototipo.

1.10.2.2. Fibra de carbono

La fibra de carbono es una estructura la cual consta de varios finos compuestos minúsculos de carbono, la fabricación de este compuesto es a base del material compuesto llamado poliacrilonitrilo; una de las propiedades fundamentales de la fibra de carbono, es la de que se asimila a las propiedades del acero, debido a que poseen cualidades de resistencia elevada a la flexión, torsión y corrosión.

La aplicación de fibra de carbono en el área automotriz posee una acogida impresionante en vehículos de alta gama o de competencia, la premisa de la utilización de este elemento data de los vehículos de fórmula 1, en donde la mayoría de los compuestos son diseñados con este material, en la FSAE también se ha venido utilizando este tipo de compuestos enfocándose principalmente en los siguientes componentes automovilísticos que se detallan a continuación:

1. Colector de admisión
2. Colector de escape
3. Brazos de suspensión
4. Tanque de combustible
5. Carrocería

6. Panel de instrumentos

1.11. Características importantes de los materiales

Dentro de las características que deben tener los materiales, debemos de enfocar los aspectos más esenciales para su posterior uso en la fabricación de los colectores de admisión.

1.11.1. Peso

Con respecto a las carrearas automovilísticas, el peso es un factor predominante al momento de fabricar algún compuesto automotriz, por lo que, si se aprovecha este factor, se puede ganar potencia, elevando de manera considerable la eficiencia del prototipo, consiguiendo mayores resultados en la competición. (Garrido, 2016)

1.11.2. Resistencia a la oxidación y corrosión

La corrosión es el resultado de un fenómeno electroquímico que se asienta directamente en el material expuesto a este fenómeno, a consecuencia de estos cuatro parámetros:

- El agua
- El medio ambiente (externo)
- El componente mano facturado
- Reacciones de composiciones electroquímicas

El fenómeno de la corrosión es la reacción que aumenta el deterioro de materiales, principalmente de los metales. (Paredes–Dugarte & Hidalgo–Prada, 2015), el colector de admisión al ser fabricado en ocasiones en aluminio es atacado por este fenómeno generando fisuras, en su contextura, pudiendo en este caso si se presenta el problema antes mencionado, derivar en una sanción por parte de los jueces de la competencia FSAE, es por eso por lo que es necesario determinar un elemento constitutivo de características idóneas para prevenir este tipo de percances.

1.11.3. Resistencia mecánica

El material que se utiliza en la manufactura del colector de admisión debe poseer ciertas cualidades de índole resistivo, con el fin de soportar las fuerzas depresivas dentro de este, así como las presiones que varían según el vacío generado y también los esfuerzos mecánicos sin variar la geometría de este en ningún momento. (Gonzales Calleja, 2018)

1.11.4. Rugosidad

La rugosidad o textura primaria, está formada por surcos o marcas dejadas por los agentes que atacan la superficie en el proceso de mecanizado (herramienta, partículas abrasivas, acción química, etc.) y se encuentra superpuesta al perfil de ondulación. Los espacios entre crestas varían entre 4 y 50 veces la profundidad de la depresión. (Bayas, 2017)

En lo que respecta al acabado superficial depende de la mayor o menor rugosidad por ende permite establecer la micro geometría de la zona con el objetivo de validar la función para las que se las ha encomendado en el proceso de manufactura.

1.11.5. Costo

En el desarrollo de un prototipo se debe considerar algunos parámetros que se los toma como prioridad, como el menor costo requerido para la obtención de los materiales a utilizar en el proceso de la fabricación, con el objetivo principal de obtener un puntaje que de la aceptación al jurado en una de las pruebas que corresponde a la reglamentación (informe de los costos) y así puntuar de manera satisfactoria en la competición. (e-Tech Racing, 2019)

1.12. Programa Computarizado de Diseño

El acrónimo CAD, del inglés *Computer Aided Design*, o traducido a nuestro idioma español, Diseño Asistido por Computadora, hace alusión a un software que funciona mediante el uso del computador y cuya función es la de crear, analizar, modificar planos de diseño en dos o tres dimensiones, mediante la manipulación de elementos geométricos; en pocas palabras se trata de una herramienta que es innovadora y va más allá del dibujo técnico, o representación gráfica sencilla, de hecho, hoy en día estos software están integrados de manera integra a aplicaciones CAE y CAM. (Bonilla, 2003)

1.12.1. Software SolidWorks

Existen varios tipos de software CAD de los cuales se dividen en dos grandes grupos los gratuitos y los que hay que poseer una licencia pagada para proceder a su uso, siendo estos últimos los más utilizados, como lo manifiesta la página web (Geofumadas, 2009) en su artículo titulado comparación entre software CAD, en la misma se detallan varios tipos de programas de diseño como se detalla a continuación:

- ArchiCAD
- AutoCAD
- Bricscad (IntelliCAD)

- BRL-CAD
- Caddie
- CATIA
- Digital Project
- Free CAD
- form•Z
- GStariCAD
- AutoDesk Inventor
- CADKey
- Microstation
- NX
- ProEngineer
- ProgeCAD
- QCAD
- Shark CAD
- Solid Edge
- Solidworks

Cabe mencionar que los softwares de diseño gratuitos no brindan una interfaz compatible y tampoco actualizaciones frecuentes por lo que es recomendable utilizar uno con licencia debido a su soporte técnico, actualizaciones e interfaz intuitivo; por otra parte, en la última década se ha hecho popular el software SolidWorks en el medio ecuatoriano debido a las prestaciones que se mencionaron anteriormente.

SolidWorks es un software CAD (diseño asistido por computadora) para modelado mecánico en 2D y 3D, desarrollado en la actualidad por SolidWorks Corp., una filial de *Dassault Systèmes, S.A.* (Suresnes, Francia), para el sistema operativo Microsoft Windows. Su primera versión fue lanzada al mercado en 1995 con el propósito de hacer la tecnología CAD más accesible. El programa permite modelar piezas y conjuntos y extraer de ellos tanto planos técnicos como otro tipo de información necesaria para la producción. Es un programa que funciona con base en las nuevas técnicas de modelado con sistemas CAD. El proceso consiste en traspasar la idea mental del diseñador al sistema CAD, "construyendo virtualmente" la pieza o conjunto. Posteriormente todas las extracciones (planos y ficheros de intercambio) se realizan de manera bastante automatizada. (Dassault Systèmes , 2019)

Para la manipulación de este software de diseño, cabe mencionar que la Universidad Técnica del Norte posee la licencia, lo que da acceso ilimitado a todas las herramientas de este sistema de diseño el cuál será el pilar fundamental al momento de realizar el diseño de cada una de las piezas que componen el colector de admisión que se pretende realizar, optimizando tiempo y cimentando los conocimientos referentes a diseño en este programa computarizado de construcción tan utilizado a nivel mundial.

1.12.2. Software Ansys

Según la publicación de (García, Soriano , & García , 2015) presentado en el XX congreso nacional de ingeniería mecánica en la cual se realiza un análisis comparativo de varios software de diseño, se establece que uno de los mejores es Ansys debido a sus prestaciones que brinda, este posee un ecosistema de programas CAE para diseño, simulación y análisis de partes por elementos finitos FEA, incluye las fases de preparación de *meshing* o malleo, ejecución y post proceso, el programa ejecuta análisis de piezas sometidas a fenómenos físicos usadas en ingeniería y diseño mecánico, puede resolver problemas físicos sometidos a esfuerzos térmicos, fluidos, vibración y aplicaciones específicas. (3DCadPortal, 2019)

Para el proceso de simulación del colector de admisión se utilizó el software de diseño y simulación Ansys, el cual se basa a partir del análisis de fluidos bajo el sistema de elementos finitos, puesto que es posible diseñar y optimizar un producto antes de proceder a su construcción, cabe recalcar que el uso de este software se lo realiza bajo la licencia en versión estudiantil.

CAPÍTULO II

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1.Desarrollo de la propuesta de estudio

La presente propuesta de investigación, se enmarca en la realización del diseño, simulación y análisis de distintos colectores de admisión, para un motor Yamaha de 600 cm³ y de esta manera determinar cuál de los diseños es el que mejor flujo volumétrico brinda a la salida del colector de admisión; considerando las variables de presión y velocidad del fluido. La investigación realizada contribuye al buen funcionamiento del motor que fue implementado al chasis del prototipo de *Formula SAE*, que fue construido por los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz perteneciente a la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas de la Universidad Técnica del Norte.

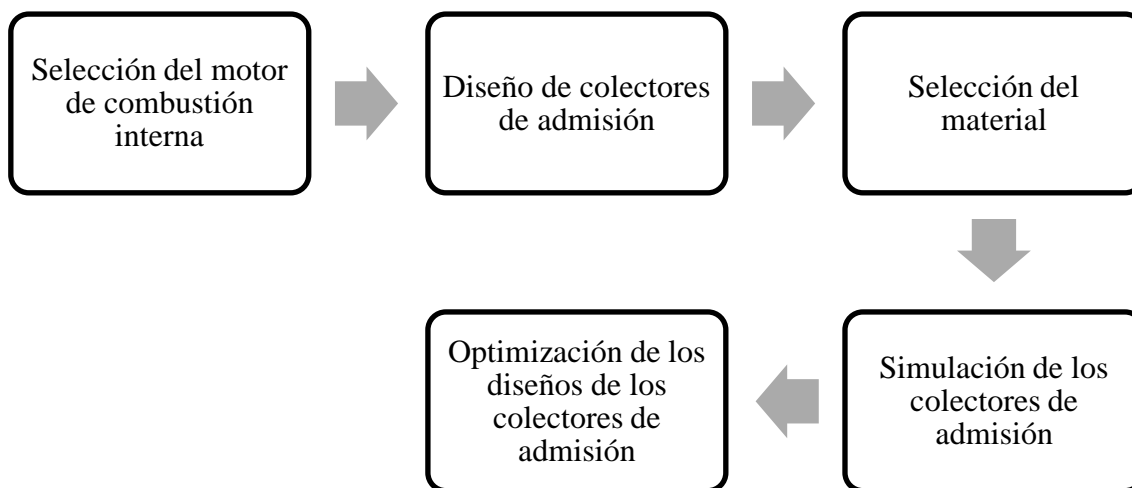


Figura 2.1 Etapas de desarrollo del proyecto

Fuente: Los Autores

Este proyecto de investigación de índole tecnológico se clasifica en tres etapas macro como se evidencia en la figura 2.1, y las cuales se detalla a continuación: en la primera fase se buscó un motor idóneo para ser colocado en el prototipo de vehículo FSAE el cuál cumple con los parámetros establecidos en las normas publicadas por el comité organizador de la competencia, el segundo paso consiste en diseñar los colectores de admisión mediante la utilización de software CAD además se seleccionó los materiales que van a ser aplicados a los diseños con los que se va a realizar una posterior simulación de los colectores de

admisión, posteriormente se procedió a analizar los datos obtenidos para determinar el correcto funcionamiento del motor que llevará el prototipo vehicular FSAE, finalmente los diseños serán optimizados mediante las modificaciones realizadas a los modelos de colectores de admisión.

2.2. Análisis del Reglamento de la Fórmula SAE

La Fórmula SAE como toda competición tiene varios lineamientos y reglamentos, el cual consta de 9 artículos que están subdivididos en secciones de los cuales destaca los objetivos que son dirigidos exclusivamente a generar una competición de estudiantes de ingeniería en mecánica automotriz en el cual se subraya las buenas prácticas de ingeniería, con lo que respecta a las categorías resalta las pruebas estáticas y dinámicas a las cuales están sometidos los vehículos; por otra parte, para centrarse en el estudio de este proyecto se analiza que existen dos limitaciones que se han establecido en este reglamento los cuales están enfocados a la fabricación del colector de admisión y el tipo de motor usado.

Para poder participar en los eventos realizados por esta organización es necesario cumplir todas las normas descritas en el documento.

2.2.1. Requisitos Generales establecidos por el Reglamento de la Formula SAE

2.2.1.1. Artículo IC.1.1 Limitaciones del Motor

De acuerdo a (SAE, 2018) en el artículo IC.1.1.1, los motores utilizados para alimentar el automóvil deben:

- a. Ser motor (es) de pistón utilizando un ciclo de calor primario de cuatro tiempos
- b. Tener un desplazamiento menor o igual a 710 cc por ciclo.

De acuerdo a las limitaciones del motor mencionadas en el reglamento de la Formula SAE, el motor seleccionado para impulsar al vehículo es un motor Yamaha XT 600E de tipo alternativo de cuatro tiempos con una cilindrada de 600 cc.

2.2.1.2. Artículo IC.1.2 Entrada de aire y ubicación del sistema de combustible

Todas las partes del sistema de aire del motor y los sistemas de control, entrega y almacenamiento de combustible (incluido el acelerador o carburador, y el sistema completo de admisión de aire, incluido el filtro de aire y cualquier caja de aire) deben estar dentro de la superficie definida por la parte superior de la barra antivuelco y el borde exterior de los cuatro neumáticos.

De acuerdo a esta sección con respecto a la entrada de aire y ubicación del sistema de combustible el motor si aplica en este apartado el cual se encuentra en el rango permitido por el reglamento.

2.2.1.3. Artículo IC.2.2 Ubicación del sistema de admisión

En el artículo IC.2.2.1, el sistema de admisión debe cumplir IC.1.2.

De acuerdo al artículo IC.2.2.2 de la normativa, cualquier parte del sistema de admisión de aire que esté a menos de 350 mm del suelo debe estar blindado de colisiones de impacto laterales o traseras por estructura construida por T.2.26 / T.2.34 según corresponda.

Con respecto a la ubicación del sistema de admisión no se recurrió a blindar el conjunto del sistema porque sobrepasa los 350 mm entre el suelo y la periferia de colisiones de impacto con el sistema de admisión.

2.2.1.4. Artículo IC.2.4 Restricción del sistema de admisión

En el artículo IC.2.4.3 del reglamento menciona que los diámetros máximos de restricción en cualquier momento durante la competencia son: los vehículos a gasolina 20.0 mm (Guismero, 2017), por tal razón este es un requerimiento que exige la normativa de la *Formula SAE* durante el desarrollo de las pruebas aplicadas.

2.3. Elección del motor

Para la elaboración del proyecto de investigación se eligió un motor de combustión interna de 600 centímetros cúbicos, que pertenece a una motocicleta de Cross o Sport del año 2006, cumpliendo con lo establecido en el reglamento de FSA que establece que el motor de propulsión utilizado para este propósito, debe ser de cuatro tiempos y no sobrepasar los 710 cc como lo manifiesta el reglamento (SAE, 2018); por otra parte desde el punto de vista económico y comercial, este tipo de motor al ser construido en serie por una marca reconocida es fácil de conseguir y económico, lo que beneficia de manera significativa a la consecución de este proyecto, sin dejar alado las características principales para la selección de este motor las cuales son el alto rendimiento de torque y potencia, a su vez es pequeño, liviano.

A continuación, en la tabla 2.1, se detalla las características del motor que se va a utilizar en el proyecto:

Tabla 2.1 Características del motor escogido para la realización del proyecto

Marca	Yamaha
Modelo	XT 600E
Estilo	Cross o sport
Relación de compresión	8.5:1
Válvulas	4
Tipo de combustible	Gasolina
Potencia	45 hp 32.8 kW @ 6500 RPM (Rear Tyre 38.1 hp @ 6300 RPM)
Torque	48.1 Nm @ 5500 RPM

Fuente: (Rodríguez Vidal, 2016)

2.4. Materiales y equipos

A continuación, se procede a detallar cada uno de los materiales y equipos que se utilizaron en el diseño y simulación de los colectores de admisión que posteriormente formarán parte del vehículo prototipo FSAE:

- Calibrador Pie de Rey
- Software de diseño CAD (Solidworks)
- Software de simulación CAE (Ansys)

2.4.1. Calibrador pie de Rey

El calibrador pie de rey “también denominado cartabón de corredera es un instrumento para medir dimensiones de objetos relativamente pequeños, desde centímetros hasta fracciones de milímetros (1/10 de milímetro, 1/20 de milímetro, 1/50 de milímetro). En la escala de las pulgadas tiene divisiones equivalentes a 1/16 de pulgada, y, en su nonio, de 1/128 de pulgadas.” (Rodríguez, 2007)



Figura 2.2 Toma de medidas con calibrador pie de rey

Fuente: Los Autores

Este implemento es utilizado para tomar las diferentes medidas del carburador y el colector de admisión como se observa en la figura 2.2 al obtener los datos, proceder a incorporar las medidas al software CAD.

2.4.2. Software de diseño CAD (Solidworks)

El software que se utilizó para la realización del diseño de los colectores de admisión fue SolidWorks, en vista que en la actualidad es uno de los programas computarizados de diseño más versátil, así como tiene una restricción baja de las herramientas al poseer la licencia pagada.



Figura 2. 3 Diseño de colector de admisión

Fuente: Los Autores

Otra de las características sobresalientes de este tipo de software, tiene a su disposición una biblioteca de materiales actualizada y variada, lo que facilita la optimización de los materiales y diseños que se desea realizarlos en esta plataforma CAD (Dassault Systèmes SolidWorks Corporation, 2019), como se observa en la figura 2.3

2.4.3. Software de simulación CAE (Ansys)

El software de diseño computarizado Ansys *Student* fue el que se utilizó para realizar las simulaciones en el colector de admisión, este *software* posee un menor rango de error en comparación de otros tipos de software similares como se manifestó en el apartado 1.12.2 de este proyecto.

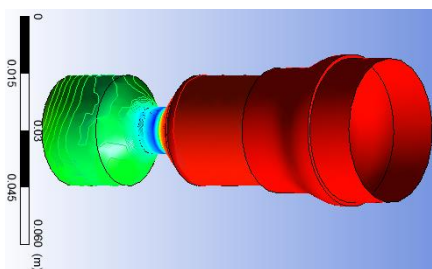


Figura 2. 4 Simulación de elemento en ANSYS

Fuente: Los Autores

En la figura 2.4, se presenta uno de los diseños que se puede desarrollar en el *software* Ansys, con la utilización de sus herramientas de simulación térmicas, estructurales y de flujo, facilita un reporte confiable de resultados en el que posee un sistema de numerología decimal a su vez presenta un reporte de capturas en el que se visualiza el tipo de mallado y cantidad de nodos. (Ansys, Inc., 2019)

2.4.4. Colector de admisión

El desarrollo del presente proyecto de investigación es el colector de admisión el cual viene de fábrica con un diámetro de Max: 47,61 mm – Min: 30,21 mm, un volumen de colector de 30 992,93 mm³ el cual se obtuvo a partir del ingreso de las medidas de este al software de diseño para su respectivo cálculo tomando en cuenta los datos originales del fabricante y una masa de 83,68 g, considerando el material que en este caso es el acero inoxidable, el cual es el material más común que es utilizado para la fabricación de este tipo de componentes de admisión, como se mencionó en las características del carburador, este colector de admisión posee dos fases, una de altas y otra de bajas con los diámetros que se observan en la tabla 2.1 en donde claramente se aprecia la diferencia de diámetros entre los colectores de altas y bajas.

Tabla 2.1 Especificaciones técnicas de los colectores de admisión

Diámetro del colector de Admisión Bajas RPM	Max: 47,61 mm – Min: 36,76 mm
Volumen del colector de Admisión Bajas RPM	30 992,93 mm ³
Masa del colector de Admisión Bajas RPM	83,68 g
Diámetro del colector de Admisión Altas RPM	Max: 47,61 mm – Min: 30,21 mm
Volumen del colector de Admisión Altas RPM	60 698.90 mm ³
Masa del colector de Admisión Altas RPM	60,70 g

Fuente: Los Autores

2.5. Verificación de las entradas de los colectores de admisión

Con el motor extraído, se realizó el desmontaje del carburador y los colectores para analizarlos e integrar las medidas obtenidas de estos en el software de diseño.



Figura 2. 5 Orificios de entrada de colectores de admisión

Fuente: Los Autores

Posteriormente se realizó la simulación para el modelo más idóneo de colector, como se aprecia en la figura 2.5 se observa los orificios del carburador en donde van alojados los colectores y donde se inicia el punto de partida para proceder a realizar el análisis de la simulación para poder determinar cuál de ellos es el mejor.



Figura 2. 6 Colectores de altas y bajas del motor

Fuente: Los Autores

En la figura 2.6 se evidencia claramente el estado situacional del colector de admisión el cual se encontraba sin pernos de sujeción y sus empaques de estanqueidad, con este componente al alcance de la mano se procedió a desmontar y a tomar las medidas que se requieren.

2.6. Análisis y revisión de colectores de admisión

En el análisis y revisión de los colectores de admisión se realizó el respectivo mantenimiento y limpieza, para no tener errores de lectura en la toma de medidas.



Figura 2. 7 Extracción de colectores de admisión para limpieza y mantenimiento

Fuente: Los Autores

Con los colectores de admisión extraídos como se evidencia en la figura 2.7 se procedió a ponerlos a punto para su posterior funcionamiento.



Figura 2. 8 Toma de medidas e identificación de colectores de admisión

Fuente: Los Autores

Las medidas obtenidas de los colectores son los diámetros del colector; como propiedades físicas un volumen y una masa que fue calculado por el programa de diseño Solidworks, tomando en cuenta el material de composición que es el acero inoxidable en el caso del colector estándar, así como los distintos espesores, alturas y medidas necesarias, cabe mencionar que estas medidas fueron obtenidas con la ayuda de un calibrador pie de rey digital como herramienta de exactitud como se evidencia en la figura 2.8.

2.6.1. Carburador

El carburador que se utilizó como base para modelar los colectores de admisión del proyecto es uno de doble Venturi de la marca Teikei, serie Y26PV/1 de origen japonés, que es el más idóneo debido a sus especificaciones de diseño y caudal según lo establece (Yamaha Motor Co., 2000), con esta recomendación se simulará cada uno de los materiales y los diferentes

flujos de funcionamiento en los regímenes de caudal y de sobrecarga de alimentación de aire, cabe recalcar que este modelo de carburador posee dos conductos de ingreso de aire principales que es donde se alojan los colectores de admisión, el cual uno es de altas y el otro es utilizado para las bajas RPM, adicional se puede observar en la tabla 2.2.

Tabla 2.2 Especificaciones técnicas carburador

Marca	TEIKEI
Tipo	Doble Venturi
Año	2006
Surtidor de alta	130 mm
Surtidor de baja	65 mm
Filtro de aire	Poliuretano
Origen	Japón

Fuente: (Rodríguez Vidal, 2016)

2.7. Revisión del carburador

Con la extracción del carburador del motor de combustión interna se procedió a analizarlo de manera minuciosa.



Figura 2. 9 Carburador Teikei, serie Y26PV/1 doble Venturi

Fuente: Los Autores

En el carburador se identificó la marca denominada TEIKEI, serie Y26PV/1, con un sistema de accionamiento de doble Venturi, como se aprecia en la figura 2.9.



Figura 2. 10 Surtidores de alta y baja de carburador

Fuente: Los Autores

Una vez realizado la respectiva limpieza y puesta a punto, se tomó las medidas correspondientes de ambos surtidores con el calibrador pie de rey, las medidas obtenidas son de 130 mm para el surtidor de alta y de 65 mm para el surtidor de baja, mismos que se pueden evidenciar de manera clara en la figura 2.10.

2.8. Diseño de colectores de admisión

2.9. Utilización del Software de diseño CAD (Solidworks)

Con este software se realizó la recreación de las tomas del modelo original de carburador y el colector de admisión, así como sus diferentes variantes, es así como se recrearon varios diseños de colectores para determinar después la validez de cada uno de estos y posteriormente se procedió a realizar un ensamble de cada uno de estos para llegar a determinar el modelo más idóneo.

2.9.1. Colector de Admisión Estándar

En el diseño del colector de admisión estándar, se utilizaron las medidas obtenidas del colector Original para su modelado y su posterior simulación.

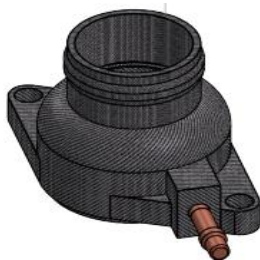


Figura 2. 11 Geometría del colector de admisión estándar en tres dimensiones (3D)

Fuente: Los Autores

A continuación, en la figura 2.11, se presenta el diseño del colector de admisión original/estándar, mediante un modelado en tres dimensiones, considerando los materiales; Aleación de aluminio 6063 – T6, Fibra de Carbono Hexcel AS4C y Acero Inoxidable Forjado del modelo original para aplicar a los posteriores diseños a realizarse.

En el anexo I, se muestra la estructura del colector de admisión en dos dimensiones con sus respectivas medidas y vistas que fueron tomadas del colector de admisión del diseño estándar, para crear un sólido en un software CAD, y así proceder a diseñar este modelo, posteriormente simular en un software CAE, para determinar cuál es el material que brinda mejores prestaciones.

2.9.2. Colector de Admisión Doble Tubo

En esta propuesta de diseño del colector de admisión Doble Tubo, se consideró dos salidas que van conectadas a un mismo ingreso para analizar el comportamiento del fluido.

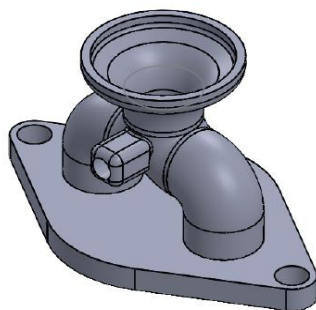


Figura 2. 12 Geometría del colector de admisión doble tubo en tres dimensiones (3D)

Fuente: Los Autores

En la figura 2.12 se presenta el diseño del colector de admisión de doble ingreso, representado por un modelado en tres dimensiones, en el modelo se puede evidenciar la complejidad en su geometría, por ende, se espera que su rendimiento sea el óptimo.

En el anexo II, se logra apreciar al colector de admisión de doble ingreso con sus distintas medidas, en sus diferentes vistas y mediante un software CAD se logra componer un diseño sólido.

2.9.3. Colector de Admisión de Efecto Venturi

En esta propuesta de diseño, se aplicó el efecto Venturi para su modelado y posteriormente analizar el comportamiento del fluido mediante simulación.

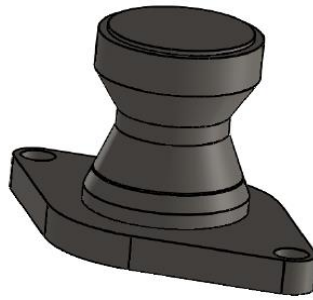


Figura 2. 13 Geometría del colector de admisión Venturi en tres dimensiones (3D)

Fuente: Los Autores

En la figura 2.13 se muestra el diseño del colector de admisión tipo Venturi, con su respectivo modelado en tres dimensiones, en este diseño se aplicó la reducción del diámetro medio del colector de admisión para aumentar la velocidad y eficiencia de ingreso de flujo volumétrico, además de ser un diseño muy sencillo proporciona una alta eficiencia de trabajo en las variables de presión y velocidad.

En el anexo III, se aprecia la forma del colector de admisión tipo Venturi con sus correspondientes dimensiones y vistas para garantizar así su apreciación completa, por medio de un software CAD se logra la construcción de la geometría del diseño.

2.10. Selección de los materiales

Según (Hernández, 2016), nos menciona que se debe considerar una selección de métodos apropiados que permita elegir los materiales más adecuados para la realización del diseño, en el cual este proyecto se enfoca en los métodos de Ashby dentro de los cuales se considera dos métodos de selección de materiales, como es el método de análisis y el método de síntesis, con el objetivo de determinar los materiales a aplicarse a los respectivos diseños.

En el primer método como es el método de análisis, Ashby se enfoca en las áreas técnicas del diseño, estableciendo propiedades a cumplir y materiales candidatos que reposan en bases de datos, a su vez plantea enfocarse en los objetivos y restricciones que son aplicados a la hora de realizar el proceso de diseño, estableciendo dichas restricciones mencionadas en la normativa de la *Formula SAE*, que se aplicaron para cumplir con los objetivos planteados al diseñar los colectores de admisión en el software Solidworks, mediante este programa se seleccionó los materiales que posee en su base de datos para el proceso de diseño y en el proceso de simulación se utilizó el software Ansys Release , permitiendo mejorar masa, peso y el flujo volumétrico desde el ingreso del colector de admisión a la cámara de combustión.

La selección de materiales se enfoca de igual manera en el método de síntesis según Ashby, que expresa los planteamientos y requerimientos de diseño como un grupo de intenciones a cumplir abarcando aspectos estéticos y perceptuales tomando en cuenta que los materiales que se aplica son utilizados en la industria automovilística especialmente en los vehículos de competencia, por ende se seleccionó los materiales como son: Acero Inoxidable, Aleación de Aluminio 6063-T6, Fibra de Carbono Hexcel AS4C; una vez seleccionados los materiales de acuerdo a los métodos utilizados que plantea Ashby se procede a diseñar en el programa de diseño Solidworks.

Para realizar este apartado, se verificó varios tipos de materiales, para determinar los más comunes que se utilizan en el área automotriz, destacando el costo de fabricación y el de adquisición, sin descartar la facilidad de conseguir el tipo de material en el medio; a continuación, se detalla el análisis de los componentes propuestos:

- Aleación de aluminio 6063-T6
- Fibra de Carbono Hexcel AS4C
- Acero Inoxidable Forjado

2.10.1. Aleación de aluminio 6063 – T6

El aluminio y sus aleaciones hace más de tres décadas ocupan un lugar destacado en el proceso de diseño y fabricación de vehículos en la industria de la automoción, pues las aleaciones de aluminio brindan características especiales de buen moldeo, dureza, ligereza, resistencia mecánica y conductividad térmica. Por lo tanto, sus características y fácil adquisición en relación con otros metales preciosos son mejor y mucho más accesible. (Palos Zúñiga, Soria Aguilar, & Valtierra Gallardo, 2016)

Para el caso específico del diseño y manufactura de componentes automotrices se opta por la aleación A319 T6 al ser utilizada esta por la industria automotriz para elaborar los componentes del motor tales como bloques de motor, pistones, y colectores de admisión, debido al aumento de sus propiedades por su composición química y su tratamiento térmico posterior. Este tipo de aleaciones permite obtener un grado de fuerza mayor con capacidad de moldeo, peso ligero y excelente proceso de mecanizado. Al ser una aleación neta en el proceso de fabricación de autopartes de vehículos, el desarrollo de la misma brinda un sin número de ventajas, pero la principal es la contribución en el ahorro de combustible. Por tal razón la elección perfecta es la que brinda en su composición el aluminio aleado principalmente con magnesio y silicio denominado 6063 – T6.

2.10.1.1. Por su aplicación

Además de ser fácil de encontrar en el mercado industrial en una variable gama de ángulos, tubos, lingotes, etc. con los que se puede fabricar un sin número de piezas para el are automotriz (Benavides, 2012).

Al aluminio 6063 T6 presenta buenas propiedades mecánicas, un buen acabado superficial y alta resistencia a la corrosión. además, el Aluminio 6063 T6, es tratable térmicamente además este material permite soldar y anodizar fácilmente lo que lo hace ideal para la fabricación de partes automotrices como son: tapa válvulas, carcasas de transmisión, sistemas de admisión, etc.

2.10.1.2. Por su Disponibilidad

Además de ser muy comercial en el país de Ecuador y disponer de un bajo peso, así como también su costo en materia prima es bajo, y lo más importante es que se dispone de un sin número de máquinas y herramientas, para poder realizar el maquinado y de igual forma existe personal altamente capacitado para trabajos de maquinado en aluminio 6063 T6.

Las características principales que brinda este tipo de material se presentan a continuación en la tabla 2.3.

Tabla 2.3 Propiedades Físicas Aluminio 6063 – T6

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	$6,9 \times 10^{10}$	N/m^2
Coefficiente de Poisson	0.33	N/D
Módulo cortante	$2,58 \times 10^{10}$	N/m^2
Densidad de masa	2700	Kg/m^3
Límite de tracción	240000000	N/m^2
Límite elástico	215000000	N/m^2
Coefficiente de expansión térmica	$2,34 \times 10^{-5}$	K
Conductividad térmica	209	$W/m.k$
Rugosidad	0,00006	μm
Calor específico	900	$J/ kg. k$

Fuente: Solidworks, 2018

2.10.2. Fibra de Carbono Hexcel AS4C

La fibra de carbono conocida también como fibra de grafito es un polímero, creado a partir del polímero llamado poliacrilonitrilo, consiste en un proceso de polimerización vinílica por

radicales libres, que consiste en sintetizar moléculas que contienen enlaces dobles de carbono-carbono. Este material consiste en fibras extremadamente finas entre 5 mm y 10 mm de diámetro compuesto, en su totalidad, de átomos de carbono unidos entre sí formando cristales microscópicos (anillos hexagonales aromáticos), alineados paralelamente en el eje de la fibra. (Rodríguez, 2014)

2.10.2.1. Por sus propiedades

La densidad de la fibra de carbono es considerablemente menor a la de acero, por lo que es el material idóneo en fines que requieren menor peso y mejores prestaciones en calidad y acabado. La fibra de carbono posee propiedades, como mayor resistencia a esfuerzos, fuerza, reducción de peso, baja expansión térmica y el estilismo que es propiedad ideal en la industria aeroespacial, militar y automotriz. No se utiliza por sí mismo, sino que emplea materiales para su refuerzo como resinas epoxi y materiales termoestables, por tal razón se denomina material compuesto y está formado de varios componentes. Los elementos reforzados por fibra de carbono son muy resistentes para su peso. Más fuertes y más ligero, incluso, que el acero. (Ramos, Martínez, Santamaría, & López, 2020)

2.10.2.2. Por el proceso de manufactura

En la fabricación de partes automotrices de geometría simple con la aplicación de fibra de carbono, es fundamental conocer el proceso que se sigue en la manufactura, secuencia y etapas a seguir para su construcción, optimizando tanto tiempos y costos de producción, mejorando la eficiencia en el resultado final del producto.

Para este estudio se brinda las características de la fibra de carbono, donde su resistencia es casi 3 veces superior a la del acero, y su densidad es 4,5 veces menor, denominado Hexcel AS4C, las cuales se muestran en la siguiente tabla 2.4.

Tabla 2.4 Propiedades Físicas Fibra de Carbono Hexcel AS4C

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	$1,3 \times 10^{10}$ - $3,5 \times 10^{10}$	N/m^2
Coefficiente de Poisson	0.33	N/D
Módulo cortante	$2,00 \times 10^{10}$	N/m^2
Rugosidad	0,0000015	μm
Densidad de masa	1780	Kg/m^3

Fuente: Solidworks, 2018

Cabe recalcar que la adquisición es reducida en la localidad del material fibra de carbono, debido a esta causa, ocasiona que el nivel de experiencia en el ámbito de fabricación de partes automotrices sea reducido aplicando este material, y al no existir un manejo estandarizado de manufactura y procesos de producción provoca que sean realizados de manera empírica.

2.10.3. Acero Inoxidable Forjado

Según lo manifiesta (Echeverría, Nuñez , & Huerta, 2010), ha sido por décadas el material predilecto para la industria automotriz debido a su apariencia y gran resistencia, en vehículos ligeros y pesados. Entre los usos se puede destacar:

- **Anticorrosión:** Con esta propiedad se puede emplear para la creación de elementos como silenciadores, tubos de escape, soportes, resortes, limpiaparabrisas, sujetadores y otros elementos vitales para su funcionamiento que componen los automóviles.
- **Acabados Superficiales:** Debido a esta ventaja se emplea para el diseño y fabricación de objetos que le brindan mayor belleza como: manijas de las puertas, aros de las llantas, y parte del tablero.
- En el caso de camionetas todoterreno, autobuses y otros vehículos pesados, este metal es usado en su revestimiento, soldaduras y otros aspectos que mejoran la seguridad en gran medida, debido a que absorbe la energía en caso de impactos.

2.10.3.1. Por su aplicación

El uso de acero inoxidable es indispensable. Su uso es evidente en la mayoría de las partes, como por ejemplo en los silenciadores de escape y convertidores catalíticos. Su gran resistencia a la corrosión, ha demostrado ser la mejor solución ante el problema de descomposición de estos elementos. Además, este metal también es utilizado en, soportes,

resortes, sujetadores, tubos, sistemas de admisión, y otras piezas internas del motor (Sánchez, 2012).

2.10.3.2. Por su Disponibilidad

Es fundamental aclarar que el acero inoxidable si dispone nuestro mercado local y es fácil de adquirir, la desventaja es que el costo del material es alto ya que es cuatro veces más caro que el metal ordinario, y de igual forma su maquinado es costoso debido a que requiere de maquinaria y personal especializado para realizar el trabajo. Al ser un material extremadamente duro requiere herramientas mucho más sofisticadas como es el caso de las brocas para poder realizar perforaciones en el material o el caso de las cuchillas de desbaste del torno deben ser especialmente para acero.

Para este estudio se emplea al Acero inoxidable forjado con varios porcentajes de níquel en su composición puesto que brinda las propiedades necesarias para el uso en colectores de admisión, como son resistencia a la humedad, excelente acabado superficial y buen revestimiento en el contorno del sólido, por tal razón en la tabla 2.5, se presenta las características de este material.

Tabla 2.5 Propiedades Físicas del Acero Inoxidable Forjado

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	$2,0 \times 10^{10}$	N/m^2
Coefficiente de Poisson	0.26	N/D
Módulo cortante	$7,9 \times 10^{10}$	N/m^2
Densidad de masa	8000	Kg/m^3
Límite de tracción	517017000	N/m^2
Límite elástico	206807000	N/m^2
Coefficiente de expansión térmica	$1,1 \times 10^{-5}$	K
Conductividad térmica	19	$W/m.k$
Rugosidad	0,00015	μm
Calor específico	500	$J/ kg.k$

Fuente: Solidworks, 2018

2.10.4. Rugosidad del material

Según (Gutierrez Avila, 2013) la rugosidad, es una propiedad neta de cada material que permite identificar la separación entre las crestas que puede variar entre 4 y 50 veces la

profundidad, dicho esto la rugosidad permite identificar la oposición que genera al paso de un fluido, es decir va directamente proporcional a la velocidad en una distancia de recorrido. La rugosidad no solo es empleada en el proceso de simulación de fluidos, de igual manera es un factor determinante en el proceso de simulación estructural, porque de esta depende las cargas que se debe aplicar para la velocidad de corte y los procesos de creación de componentes mecánicos que son involucrados en el proceso de fabricación de colectores de admisión. (Mendoza Oliva, Vasquez, & Anderson , 2017)

A continuación, se detalla la rugosidad de cada tipo de material los cuales son:

- Rugosidad de la Aleación de Aluminio 6063-T6
- Rugosidad de la Fibra de Carbono Hexcel AS4C
- Rugosidad del Acero Inoxidable Forjado

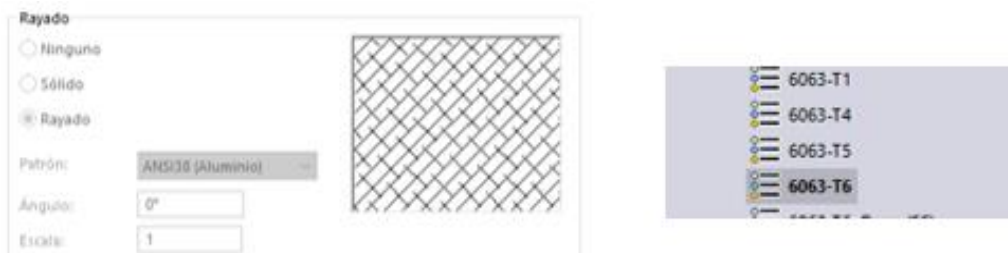


Figura 2. 14 Rugosidad del Aluminio 6063 T6

Fuente: Solidworks 2018

LA figura 2.14, muestra la captura microscópica de la superficie de la aleación de aluminio 6063 T6, que determina la rugosidad propia de este material.



Figura 2. 15 Rugosidad de la Fibra de Carbono Hexcel AS4C

Fuente: Solidworks 2018

En el caso de la fibra de carbono el acabado superficial que este produce, determina la rugosidad que genera mediante el uso de un protocolo ISO, generalmente utilizado para el acero por su similitud estructural, la figura 2.15, muestra la captura microscópica de la superficie de la fibra de carbono.



Figura 2. 16 Rugosidad del Acero Inoxidable Forjado

Fuente: Solidworks 2018

Cabe mencionar que las condiciones iniciales de contorno serán aplicadas tanto en el modelo original como en las dos propuestas de diseño que fueron construidas en el software CAD, en la figura 2.16, se muestra el acabado superficial del material y a su vez se puede apreciar la rugosidad o la separación entre las crestas de la superficie, ya que es un valor específico que posee cada material. (Monge Jingo, 2017)

2.11. Simulación de los colectores de admisión

2.12. Utilización del Software de Simulación CAE (Ansys)

Con el software se realizó la simulación del flujo en relación con tres propuestas de diseño como son: El Colector de Admisión Estándar, Colector de Admisión Doble Tubo y el Colector de Admisión de Efecto Venturi ; colectores que se diseñaron previamente, logrando así obtener resultados producto de la simulación con tres materiales; Aleación de aluminio 6063 – T6, Fibra de Carbono Hexcel AS4C y Acero Inoxidable Forjado; utilizados en el área automotriz; considerando dos variables; presión y velocidad que influyen en torno a la dirección del fluido con el objetivo de obtener datos más apegados a la realidad.

2.13. Simulación

En el análisis CFD, Dinámica de Fluidos Computacional por sus siglas en inglés, para validar un modelo previamente diseñado en un ordenador; cabe mencionar que para la realización de este apartado se utiliza como material primordial el software Ansys en su versión RELEASE 15.0 y una computadora portátil marca Toshiba Satélite con un procesador Core i7 de séptima generación, ocho gigas de memoria RAM, sistema operativo Windows 10 y disco duro de un tera; con lo que utilizando estos materiales tecnológicos a más de generar buenas condiciones de movimiento del fluido, por medio de esta herramienta permite realizar un análisis de verificación de las condiciones del flujo de aire en relación al bajo rendimiento volumétrico.

2.13.1. Tipo de simulación

Por medio de la utilización del software Ansys CFX, se procede a realizar un análisis del comportamiento de fluidos sean estos compresibles o incompresibles, considerando la transferencia de calor que se va a estudiar en modelos con geometrías complejas, así mismo este software permite importar piezas ya existentes, para su posterior mallado y especificación de condiciones iniciales de contorno; una vez seleccionados estos parámetros genera un reporte de resultados.

2.13.2. Generación de la Malla

Para la simulación óptima de los colectores de admisión se optó por usar un mallado de cuerpo completo de forma triangular que se le conoce como malla de superficie triangular que es un algoritmo de conectividad asumiendo posiciones conocidas de cada uno de los nodos de la malla. Según (Lazaro , Lazaro , Peco, & Alvear, 2018), mencionan que la selección del tamaño de celda es fundamental en modelos y simulaciones computacionales. El mallado debe establecer un compromiso entre su ajuste a la geometría y los tiempos de cómputo.

Para estos modelos se ocupó un mallado triangular, en base a la calidad del elemento que se muestra en la figura 2.17, los detalles, características, nodos y elementos son en base al desarrollo del análisis en el software computacional. (Massy & Pena, 2008)

Details of "Mesh"		Statistics	
<input type="checkbox"/> Defaults		<input type="checkbox"/> Nodes	9452
Physics Preference	CFD	<input type="checkbox"/> Elements	4968
Solver Preference	CFX	<input checked="" type="checkbox"/> Mesh Metric	Element Quality
<input type="checkbox"/> Relevance	0	<input type="checkbox"/> Min	2,69064436116335E-02
		<input type="checkbox"/> Max	0,998882129029602
		<input type="checkbox"/> Average	0,498000658800969
		<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,222593473602394

Figura 2. 17 Modelo CFD Y CFX

Fuente: Ansys

Como se puede apreciar en la figura 2.17, para el análisis de simulación se utilizará el modelo CFD, en el cual se definirá la geometría del colector de admisión, así como la generación de la red del mallado y se aplicará el modelo CFX para los tres diseños en donde se especificará, la rugosidad como propiedad del material a utilizar, las condiciones iniciales de contorno y las variables de presión y velocidad que se van a analizar, para determinar el comportamiento del fluido en los diseños a simular.

2.13.3. Generación del mallado del diseño del Colector Estándar

En la geometría del colector de admisión estándar se realiza el mallado triangular para todo el cuerpo del sólido en el modelo CFD.

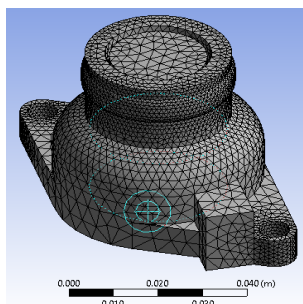


Figura 2. 18 Generación del mallado del diseño STD
Fuente: Los Autores

En el diseño del colector estándar se obtienen los siguientes resultados reflejados en la figura 2.18.

2.13.4. Generación del mallado del diseño del Colector tipo Doble Tubo

Se procede a utilizar un mallado de tipo triangular a toda la geometría del colector de admisión tipo doble tubo aplicando el modelo CFD.

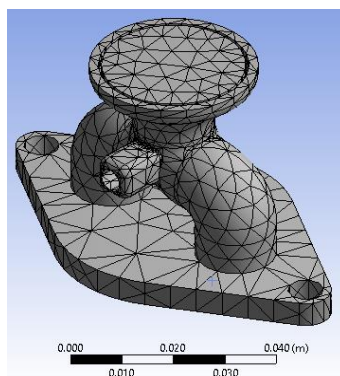


Figura 2. 19 Generación del mallado del diseño doble tubo
Fuente: Los Autores

En el diseño doble tubo se genera los siguientes valores detallados en la figura 2.19.

2.13.5. Generación del mallado del diseño del Colector tipo efecto Venturi

Se aplica un mallado triangular a toda la geometría del colector de admisión tipo efecto Venturi utilizando el modelo CFD.

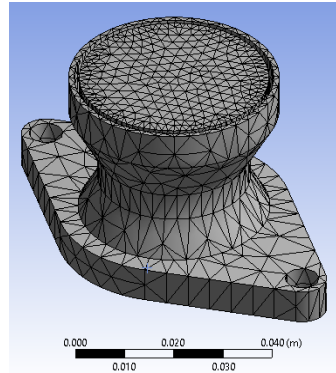


Figura 2. 20 Generación del mallado del diseño Venturi

Fuente: Los Autores

En el diseño Venturi se detallan los siguientes los cuales se visualizan en la figura 2.20.

2.14. Condiciones iniciales de contorno

Para la realización del análisis de las simulaciones se va a aplicar las condiciones de contorno al modelo estándar con el objetivo de tener una referencia de los resultados de la geometría diseñada y sirva como guía en el comportamiento del fluido que este diseño presenta y de esta manera seleccionar el colector de admisión que presenta mejores características acorde a las propiedades que se aplicaron al primer diseño.

Las condiciones de contorno son la base inicial para realizar simulaciones de diseños, en el análisis del flujo se requiere simular la estructura aplicando variables con las que se va a manejar el fluido en la entrada del modelo a simularse, con el objetivo de determinar el comportamiento del fluido en el interior de la estructura.

2.14.1. Fluido

Una de las consideraciones, es la selección del fluido en el cual se va a estudiar su comportamiento en cada una de las propuestas de los colectores de admisión diseñados para posteriormente ser simulados.

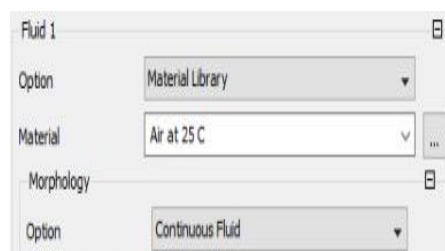


Figura 2. 21 Tipo de fluido

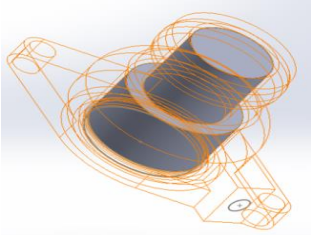
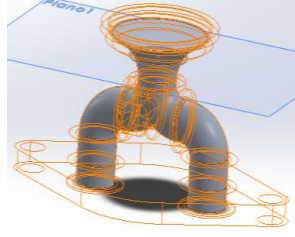
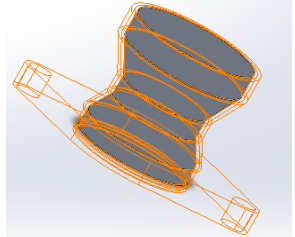
Fuente: Ansys

Para la simulación de los diseños se determinó el tipo de fluido con el que se va a trabajar el cual es el aire, que va a fluir a través de los modelos realizados como se muestra en la figura 2.21.

2.14.2. Volumen del fluido

En el estudio del colector de admisión, se utilizó el volumen de fluido como condición de trabajo para cada uno de los modelos a simular como se aprecia en la tabla 2.6.

Tabla 2. 6 Volumen del fluido

MODELOS		
Colector Estándar	Colector Doble Tubo	Colector Venturi
		
Volumen = 22112.19 milímetros cúbicos	Volumen = 8534.14 milímetros cúbicos	Volumen = 33118.99 milímetros cúbicos

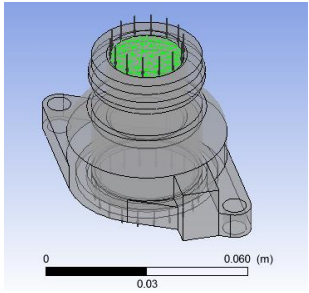
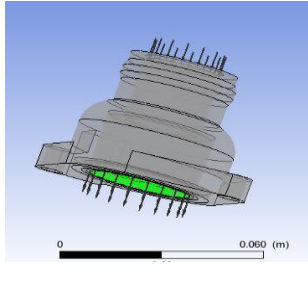
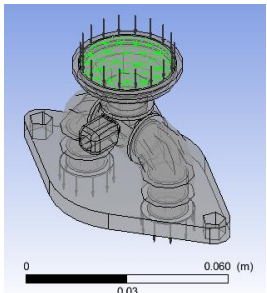
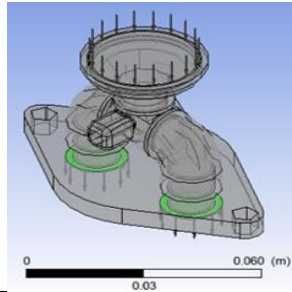
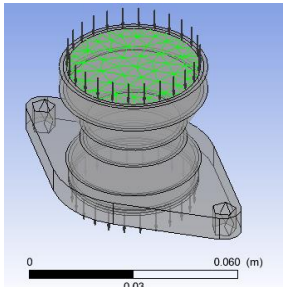
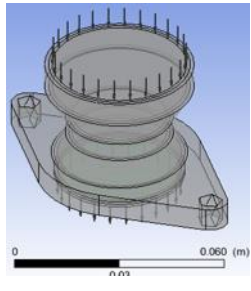
Fuente: Autores

2.14.3. Condiciones de flujo

En la tabla 2.7, se presenta las condiciones de flujo a la entrada y salida del modelo, se consideró analizar el comportamiento del fluido de manera constante utilizando una restricción en el ingreso con una presión de 71 770 Pa, el cual es tomado de manera referencial de varios motores de combustión interna similares y contrastado con el paper citado; adicional se tomó como valor referencial los 2 800 msnm que es la altura promedio a la que están las provincias de la sierra y en la salida se consideró un flujo másico de 0,05 kg/s, valor tomado también de (Gabriel de Paula, 2005)

La Temperatura se trabajó con la opción Isotérmica con el valor referencial de 25 °C, en vista de que no existe una variación relevante que afecte el diseño o la utilización de las propuestas de materiales como lo menciona (Bourell, Stucker, Ilardo, & Williams, 2010).

Tabla 2.7 Restricciones de Ingreso y salida por diseño de colector

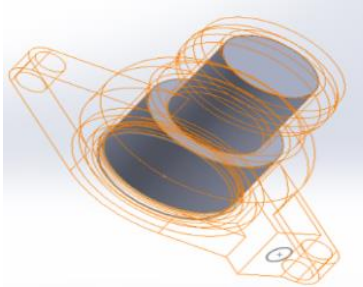
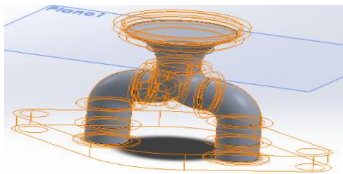
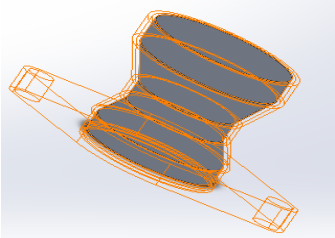
RESTRICCIONES			
MODELO	INGRESO	MODELO	SALIDA
	71 770 Pa		0,05 Kg/s
	71 770 Pa		0,05 Kg/s
	71 770 Pa		0,05 Kg/s

Fuente: Los Autores

2.15. Optimización

A continuación, se presenta la tabla 2.8 en la cual se muestra una comparación entre los valores estándar y los optimizados en el proceso de simulación.

Tabla 2. 8 Valores estándar y los optimizados en el proceso de simulación

Tipo de Colector	Comparación de Valores Optimizados
<p data-bbox="375 320 571 349">Colector Estándar</p> 	<p data-bbox="735 412 1394 562">En este colector, no existe optimización, en vista que se mantienen los diámetros, la masa y el volumen, ya que se tomó como punto de partida para la simulación este modelo. Por otra parte, la optimización de este modelo fue en base al uso de 2 propuestas de materiales diferentes al original.</p>
<p data-bbox="357 712 588 741">Colector Doble Tubo</p> 	<p data-bbox="735 723 1318 752">En este diseño se tiene datos diferentes los cuales son:</p> <p data-bbox="735 763 855 792">Diámetros:</p> <ul data-bbox="783 801 1150 864" style="list-style-type: none"> <li data-bbox="783 801 1150 831">• Diámetro máximo: 32,90 mm <li data-bbox="783 835 1150 864">• Diámetro mínimo: 16 mm <p data-bbox="735 875 954 904">Masa: 79,97 gramos</p> <p data-bbox="735 913 1002 943">Volumen: 8 534,14 mm³</p>
<p data-bbox="352 974 596 1003">Colector Tipo Venturi</p> 	<p data-bbox="735 1019 1318 1048">En este diseño se tiene datos diferentes los cuales son:</p> <p data-bbox="735 1059 855 1088">Diámetros:</p> <ul data-bbox="783 1097 1150 1160" style="list-style-type: none"> <li data-bbox="783 1097 1150 1126">• Diámetro máximo: 42,76 mm <li data-bbox="783 1131 1150 1160">• Diámetro mínimo: 31 mm <p data-bbox="735 1171 970 1200">Masa: 131,48 gramos</p> <p data-bbox="735 1209 1015 1238">Volumen: 33 118,99 mm³</p>

Fuente: Los Autores

CAPITULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado se exponen los resultados del desarrollo de los modelos CAD y simulaciones considerando las propuestas de diseños a implementar, además del análisis, comparación y discusión con propuestas de autores con características similares al prototipo a utilizar. Se aplican los planos en base a la dinámica de fluidos que reflejan la obtención de datos. En esta sección se aprecia el valor de presión como condición inicial de 71 770 Pa como lo menciona (Hinojosa D. , Piña, Erazo , & Salzar, 2014), con un valor referencial a 2 800 msnm, el factor másico del aire a la salida de los diferentes conductos con un valor de $0,05 \frac{kg}{s}$ valor tomado de (Gabriel de Paula, 2005) que menciona el uso de esta propuesta en un vehículo *Formula SAE* con características similares al prototipo en estudio, con la aplicación de estas condiciones se puede determinar, presión de trabajo, velocidad del fluido en tres propuestas de materiales utilizados en la industria automotriz como son acero inoxidable forjado, aleación de aluminio 6063 T6 y fibra de carbono Hexcel AS4C.

3.1. Presentación de resultados del modelo de Colector de Admisión Estándar

Los resultados se obtienen al tomar en cuenta ciertos factores de diseño, como presión de trabajo en Pascales y velocidad del fluido en metros/segundo. Se presenta los siguientes datos en dependencia de tres materiales a analizar cómo son acero inoxidable forjado, aleaciones de aluminio 6063 T6 y fibra de carbono Hexcel AS4C.

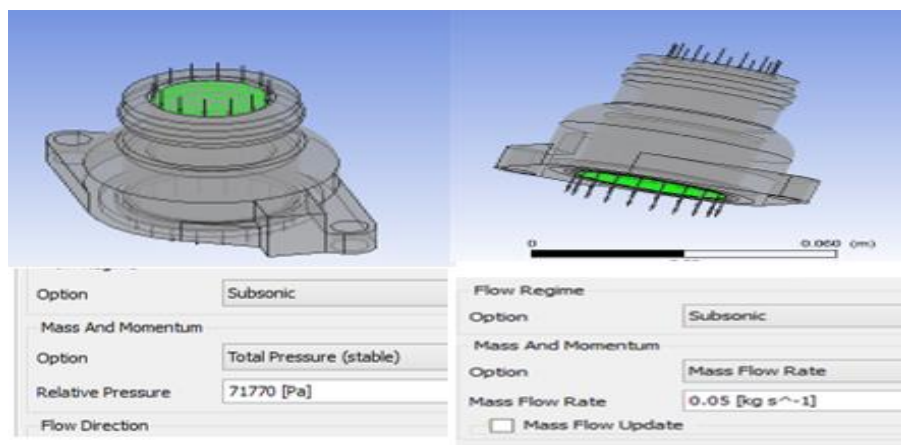


Figura 3. 1 Restricciones de Ingreso y Salida en colector Estándar

Fuente: Los Autores

En la figura 3.1, se puede ver las restricciones de presión al ingreso con un valor de 71 770 Pa y de flujo másico de salida del colector con un valor de $0,05 \frac{kg}{s}$.

3.2. Colector Estándar con Acero Inoxidable Austenítico Forjado

Según (Chango Gutierrez, 2014), el uso de los aceros inoxidable en la industria es cada vez mayor, porque permite tener mejores propiedades corrosivas en relación con otros metales y aleaciones. Los aceros Austeníticos forman el número más elevado de aleaciones. Entre sus propiedades brinda mejor resistencia a la corrosión, endurecimiento en el trabajo en frío, excelente soldabilidad, factor de higiene y limpieza superior en comparación a otras aleaciones, tiene la habilidad de ser funcional en temperaturas extremas y lo más importante no es magnético.

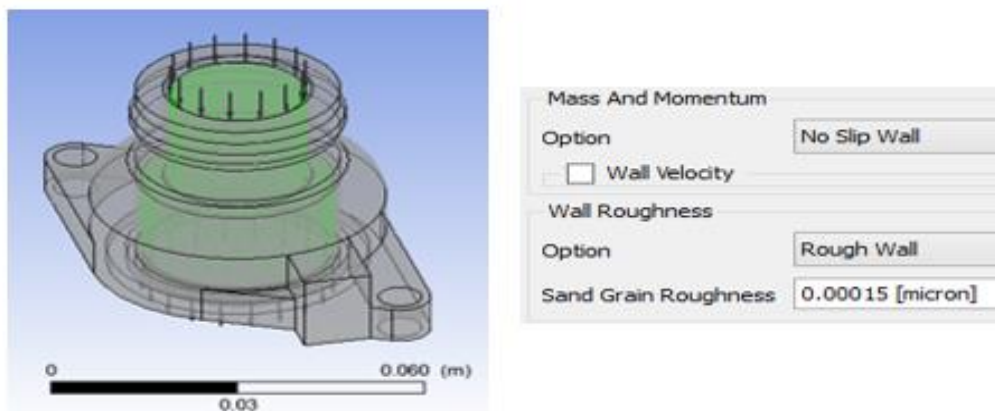


Figura 3. 2 Rugosidad del material en colector de admisión Acero inoxidable forjado.

Fuente: Los Autores

Los resultados se aprecian en relación con la presión de trabajo y velocidad del fluido, para lo cual se presenta los siguientes datos, en base a las restricciones antes mencionadas como se observa en la figura 3.2, se detalla el valor de la rugosidad que es única en cada material, para el caso del acero inoxidable forjado el valor es de 0,00015 micrómetro (Lakshminarayanan, Shanmugam, & Balasubramanian, 2009).

3.2.1. Presión de trabajo

En la figura presenta la presión de trabajo con sus puntos máximos y mínimos además de su presión de salida indicados mediante el software de simulación.

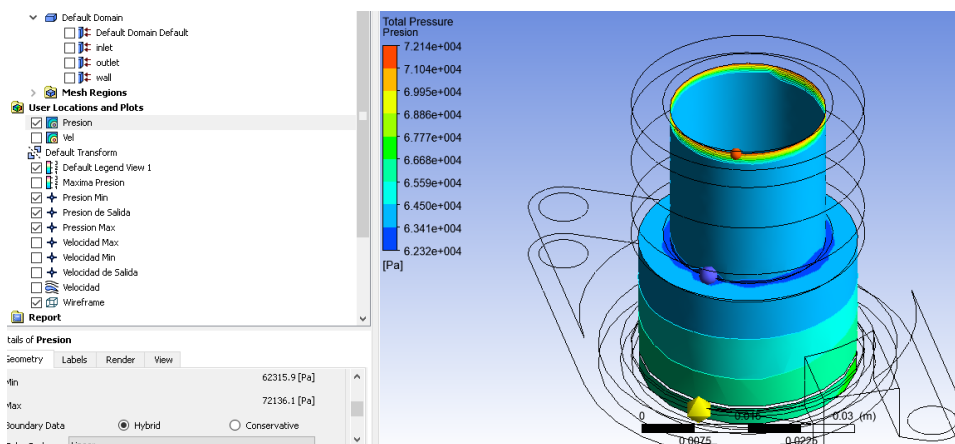


Figura 3. 3 Presión de trabajo en colector de admisión Acero Inoxidable Forjado.

Fuente: Los Autores

En la figura 3.3, se detalla la máxima presión de trabajo con un valor de 72 136,1 Pa y la mínima presión de trabajo con un valor de 62 315,9 Pa, en este caso particular la presión no presenta variaciones significativas con una restricción inicial de 71 770 Pa al ingreso del fluido en la tobera de admisión, cabe mencionar que el análisis empieza varios milímetros después del ingreso y a eso se debe el aumento de la presión en la parte inicial de la geometría. La presión de salida oscila en las tonalidades verde, para este caso específico se realizó el promedio de los valores que genera el sólido con el cual se obtuvo un valor de 67 771,2 Pa.

3.2.2. Velocidad de ingreso del flujo másico a la tobera de admisión

En la figura presenta la velocidad de ingreso del fluido con sus puntos máximos y mínimos además de su velocidad de salida.

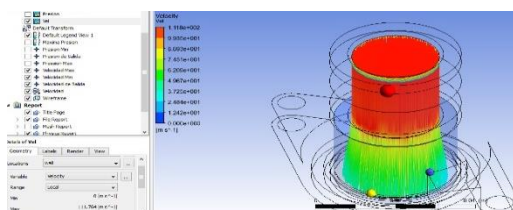


Figura 3. 4 Velocidad de ingreso de flujo másico en el colector de admisión con Acero Inoxidable Forjado.

Fuente: Los Autores

En la figura 3.4, la velocidad de ingreso del flujo másico, presenta dos variables evidentes, la primera al ingreso se presenta la mayor velocidad de ingreso con un valor de $111,764 \frac{m}{s}$, pero a medida que el fluido recorre el modelo empieza a disminuir hasta obtener una velocidad a la salida de $43,46 \frac{m}{s}$ en la salida del colector, para obtener este valor se realizó el promedio de todos los resultados que genera el análisis en las distintas tonalidades de la escala gráfica, con un flujo másico de $0,05 \frac{kg}{s}$.

3.3. Colector Estándar con Aleación de Aluminio 6063 – T6

Para este caso, el análisis del fluido computacional dinámico (CFD) se realizó con la aplicación de aleaciones de aluminio en el diseño estándar.

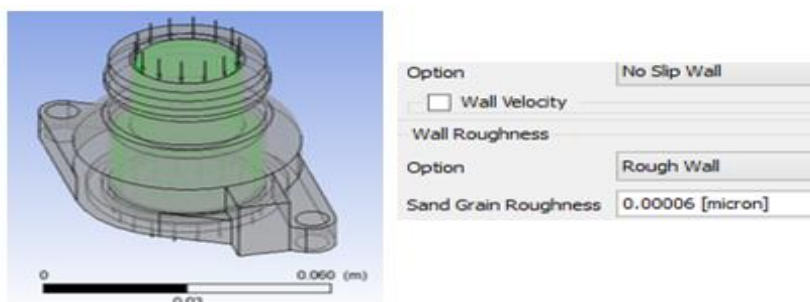


Figura 3. 5 Rugosidad del material en el colector de admisión con Aluminio 6063 T6

Fuente: Los Autores

Por medio de la simulación comparar los resultados de la geometría de este diseño en base a los distintos modelos construidos, en la figura 3.5, se muestra la rugosidad del aluminio 6063 T6.

3.3.1. Presión de trabajo

La presión de trabajo al igual que con el Acero inoxidable, presenta valores similares, comprobando que el uso de un diferente material no afecta las características en este modelo, ya que el recorrido del fluido es mínimo con la rugosidad del material.

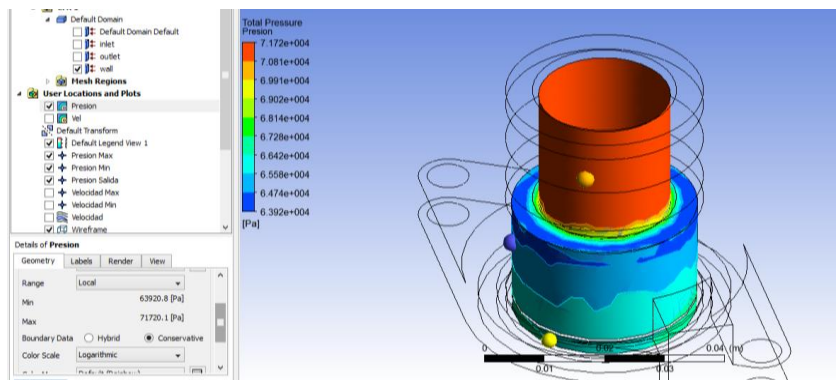


Figura 3. 6 Presión de trabajo en el colector de admisión con Aleación de Aluminio.

Fuente: Los Autores

En la figura 3.6. presenta un valor de presión máxima que es de 71 720,1 Pa que se presenta al ingreso, y como mínima presión se obtiene un valor de 63 920,8 Pa que se genera en la sección donde se acumula la mayor velocidad del fluido, la presión de salida es dada por varias interacciones en la escala gráfica, se realizó el promedio general de estos valores y se obtuvo un resultado de 68 148,36 Pa. (Bolaños & Lopez, 2018), realiza la ejecución de su proyecto con múltiples aceleraciones para validar un prototipo *Formula SAE*, donde menciona que la disminución en la presión, permite generar mayor velocidad dinámica del fluido.

3.3.2. Velocidad de ingreso del flujo másico a la tobera de admisión

La velocidad del flujo másico va en relación a la presión de trabajo y diseño del modelado a estudiar, se presenta los resultados de flujo másico al utilizar como material la aleación de aluminio 6063 T6.

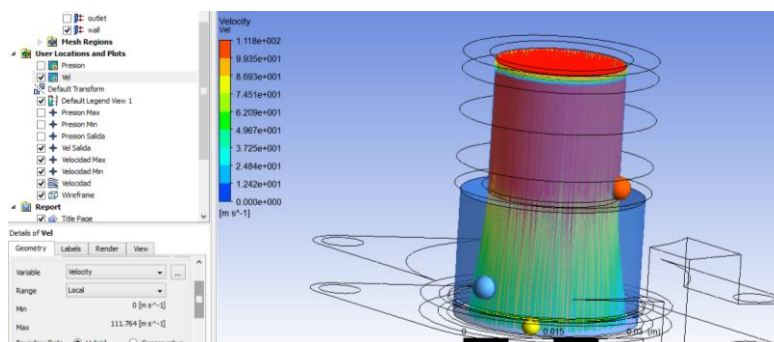


Figura 3. 7 Velocidad de ingreso de flujo másico en el colector de admisión con Aleación de Aluminio

Fuente: Los Autores

Como se puede apreciar en la figura 3.7, en donde la velocidad máxima es de $111,764 \frac{m}{s}$ al ingreso del cilindro, se mantiene hasta una sección establecida, para el siguiente tramo la velocidad del fluido repentinamente disminuye hasta obtener un valor en la salida del colector de $46,25 \frac{m}{s}$ que es la ejecución del promedio de todos los valores que interactúan en la salida del colector, como promedio final.

3.4. Colector Estándar con Fibra de Carbono Hexcel AS4C

Para este estudio se tomó como material base la fibra de carbono, ya que por su versatilidad presenta múltiples beneficios en la industria automotriz.

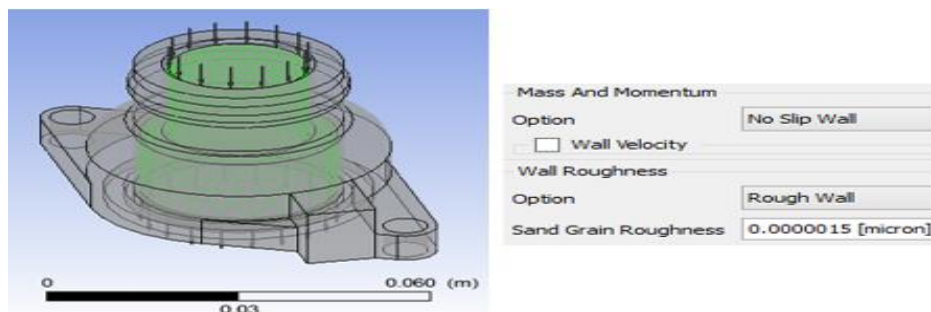


Figura 3. 8 Rugosidad del material en el colector de admisión con Fibra de Carbono Hexcel AS4C

Fuente: Los Autores

Para lo cual se presenta los siguientes resultados, con la rugosidad característica de este material que es de 0,0000015 micrómetros, como se muestra en la figura 3.8.

3.4.1. Presión de trabajo en la tobera de admisión

En el análisis CFD y al igual que las dos propuestas anteriores de materiales los valores de presión son similares, lo que demuestra que la rugosidad del material es despreciada, ya que el tramo de recorrido del fluido es mínimo.

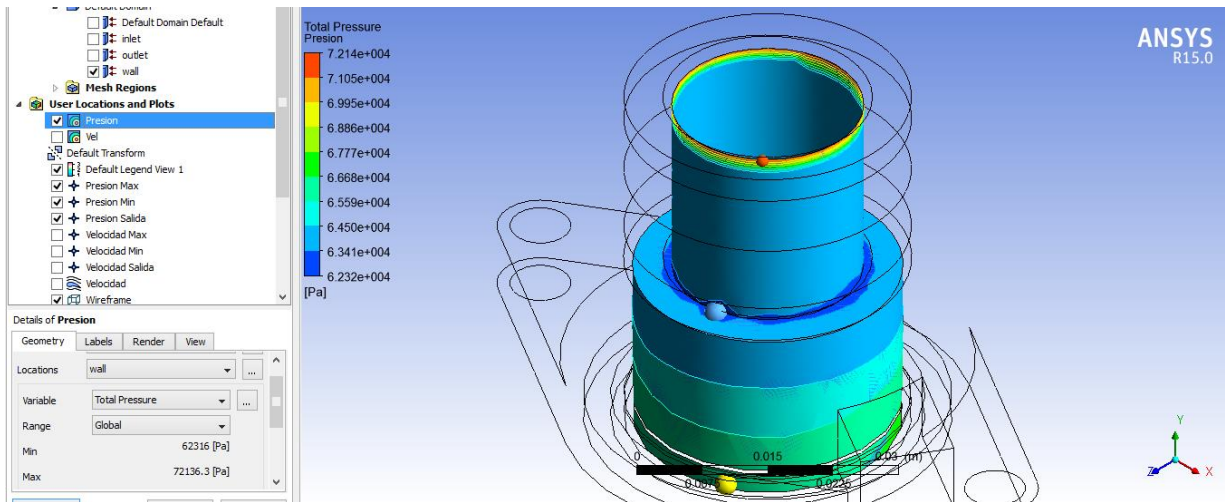


Figura 3. 9 Presión de trabajo en el colector de admisión con Fibra de Carbono.

Fuente: Los Autores

En la figura 3.9, se observa la presión máxima es de 72 136,3 Pa y como presión mínima es de 62 316 Pa, los rangos de tonalidad varían en escalas de colores y demuestran la presión en cada punto de la geometría, para este caso la presión que se aproxima a la salida es un valor que se realizó del promedio de todas estas interacciones con un resultado de 67 771,2 Pa.

3.4.2. Velocidad de ingreso del Flujo másico en la tobera de admisión

En la figura se muestra la velocidad de ingreso del fluido con sus puntos máximos y mínimos además de su velocidad de salida.

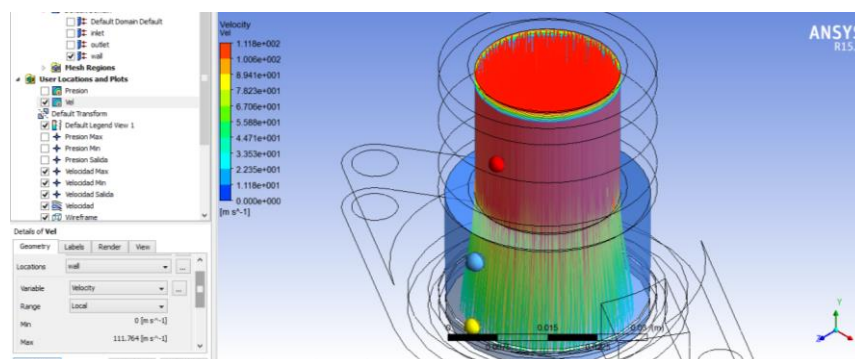


Figura 3. 10 Velocidad de ingreso de flujo másico en el colector de admisión con Fibra de Carbono.

Fuente: Los Autores

En la figura 3.10, se estudia la velocidad de trabajo del colector de admisión con un valor máximo de $111,764 \frac{m}{s}$ y el resultado generado a la salida del colector como velocidad de

salida, es el promedio de todos los valores que se encuentran distribuidos en la escala gráfica con total de $45,47 \frac{m}{s}$, que se encuentra distribuida por todo el colector.

3.5. Presentación de resultados del modelo de Colector de Admisión con Doble Entrada

Esta variación en la propuesta, mejora el diseño original con una salida doble en la toma de ingreso a la cámara de combustión.

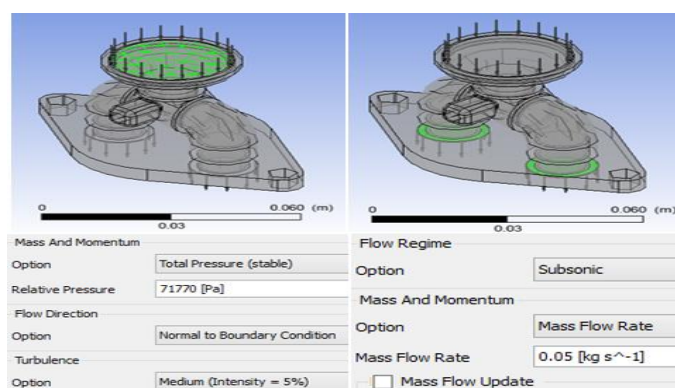


Figura 3. 11 Restricciones de Ingreso y Salida en la primera propuesta de diseño.

Fuente: Ansys

Para este caso se rediseña el colector de admisión para que el fluido ingrese por los dos conductos y mediante el efecto de turbulencia que se produce en el interior del colector de admisión mejora la conducción del fluido a la cámara de combustión, por tal circunstancia se utilizan varias propuestas de materiales, en la figura 3.11, se observa las restricciones al ingreso y a la salida del colector.

3.6. Colector con Doble Entrada con Acero Inoxidable Austenítico Forjado

Para este modelo CAD, (Cárdenas Yáñez, Molina Osejos, & Peralta Zurita, 2017). Mencionan en su estudio el uso de softwares de diseño CAD y modelado CFD que permiten una mejor interpretación del comportamiento del fluido, y la aplicación del mismo en el modelo final.

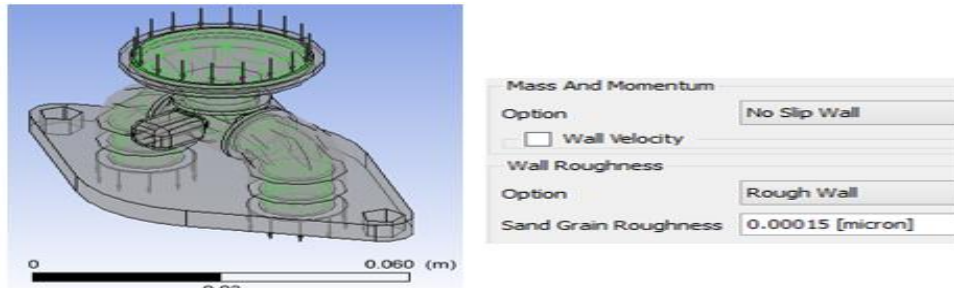


Figura 3. 12 Rugosidad del Acero Inoxidable Forjado en el colector de admisión
Fuente: Ansys

Para este caso la simulación de fluidos permite obtener una visualización gráfica del comportamiento del aire, en el ingreso de la cámara de combustión, el valor obtenido de rugosidad de este material es de 0,00015 micrómetros, como se ve en la figura 3.12.

3.6.1. Presión de trabajo en la tobera de admisión

Por medio del software de simulación se indican los puntos máximos, mínimos y de salida de presión para una mejor apreciación.

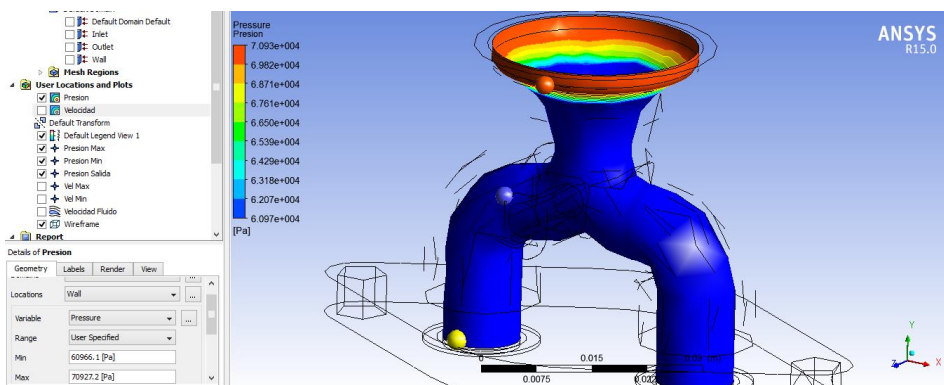


Figura 3. 13 Presión de trabajo en el colector de admisión Acero Inoxidable Forjado.
Fuente: Los Autores

En la figura 3.13, se presenta los resultados del análisis CFD, donde la presión máxima es de 70 927,2 Pa, y como mínima presión se presenta un valor de 60 966,1 Pa. El valor o variación de presión en la salida del colector es una característica específica de este modelo presenta un resultado del promedio de todas las interacciones inmiscuidas en este análisis con un total de 60 966,2 Pa, de esta manera se modifica en dos salidas las condiciones iniciales según (Sobrado & Martin-Gago, 2010).

3.6.2. Velocidad de ingreso del Flujo másico en la tobera de admisión

Por medio del software de simulación se presentan los puntos máximos y mínimos, así como la salida de presión para una mejor apreciación.

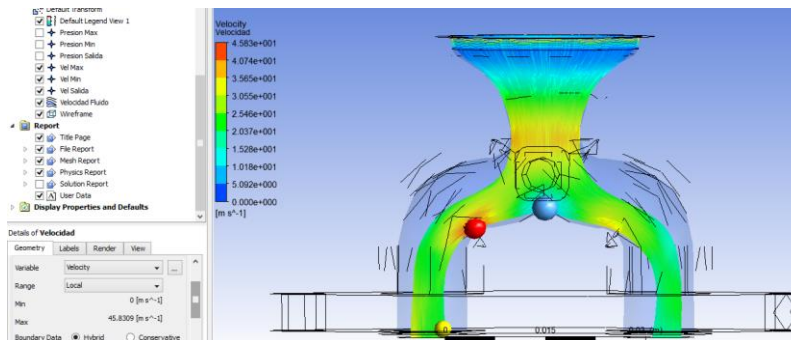


Figura 3. 14 Velocidad de ingreso del flujo en colector de admisión Acero Inoxidable Forjado.

Fuente: Los Autores

La velocidad de ingreso del flujo másico en esta propuesta de diseño, se muestra en la figura 3.14, al utilizar Acero Inoxidable como material base, este caso se aprecia un valor máximo de $45,831 \frac{m}{s}$, el valor que se presenta a la salida del colector es de $25,46 \frac{m}{s}$, el cual es el resultado del promedio de todas las interacciones que a las que se encuentra sometido el fluido a la salida del mismo, con lo que se evidencia que el cambio de geometría, influye directamente en la velocidad de ingreso del flujo másico al cilindro.

3.7. Colector con Doble Entrada con Aleación de aluminio 6063 – T6

En la presente propuesta se expone la propiedad de rugosidad del Aluminio 6063 - T6 para incorporar al modelo de colector con doble entrada.

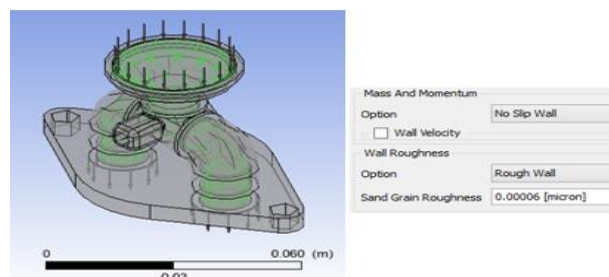


Figura 3. 15 Rugosidad del Aluminio 6063 T6 en el colector de admisión

Fuente: Los Autores

La propuesta del colector se presenta con el material base de Aleaciones de Aluminio, las cuales son utilizadas en la mayor cantidad de vehículos de competencia, por este antecedente

se eligió este material para el proceso de modelado y simulación. (Rocha-Hoyos & Caiza-Quishpe, 2018), con la rugosidad característica del Aluminio 60603 T6, como se muestra en la figura 3.15.

3.7.1. Presión de trabajo en la tobera de admisión

La presión de trabajo en esta propuesta de colector de admisión es una variación a la original, porque se respeta los diámetros de ingreso y las geometrías en las cavidades donde se alojan los pernos.

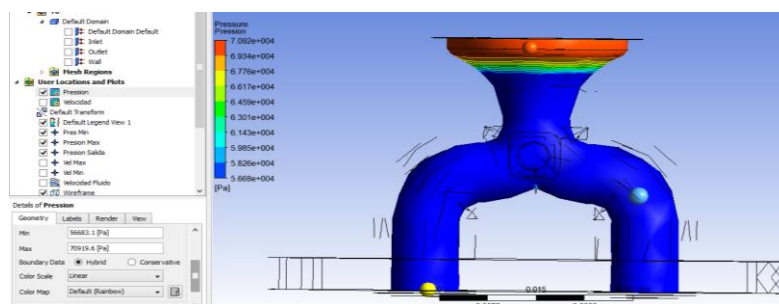


Figura 3. 16 Presión de trabajo colector de admisión con Aleación de Aluminio.

Fuente: Los Autores

En la figura 3.16, se presenta la máxima presión de 70 919,6 Pa, que es la restricción que el modelo computacional genera, y la presión mínima presenta un valor de 59 683,1 Pa. La presión a la salida del colector es la media de todas las interacciones que ejecuto el análisis a la salida del mismo con valor total de 56 683,3 Pa.

3.7.2. Velocidad de ingreso del flujo másico en la tobera de admisión

La velocidad de ingreso del flujo másico, genera variaciones en la salida del colector lo que comprueba que al variar la geometría se puede obtener mejores resultados en relación a la geometría inicial.

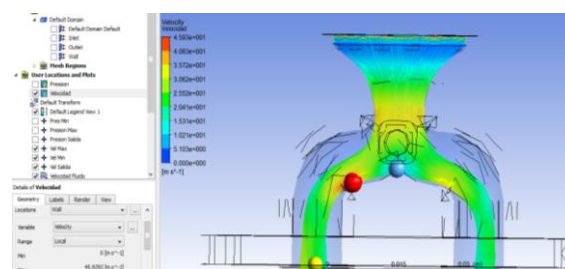


Figura 3. 17 Velocidad de ingreso de flujo en el colector de admisión con Aleación de Aluminio.

Fuente: Los Autores

Para este tipo de diseño se considera que la mayor velocidad es dada en la salida hacia la cámara, con un valor de $45,92 \frac{m}{s}$ y como velocidad en el ingreso de la mezcla con un valor de $25,51 \frac{m}{s}$, que es el promedio de todas las reacciones a las que se encuentra sometido el fluido antes de ingresar a la cámara de combustión, arrojadas por el análisis en el programa de simulación como se observa en la figura 3.17.

3.8. Colector con Doble Entrada con Fibra de Carbono Hexcel AS4C

En este apartado se presenta la rugosidad del material de Aluminio 6063 T6 en la presente propuesta.

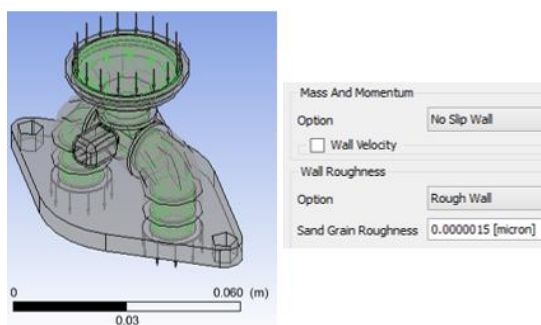


Figura 3. 18 Rugosidad del Aluminio 6063 T6 en el colector de admisión

Fuente: Los Autores

El estudio propone un rediseño de la geometría básica con la utilización de fibra de carbono, como material base para el desarrollo del modelado y simulación del diseño, con una rugosidad de 0,0000015 micrómetros como se observa en la figura 3.18.

3.8.1. Presión de trabajo en la tobera de admisión

La presión de trabajo se presenta a lo largo del colector permitiendo visualizar los puntos máximos, mínimos así como también el punto de salida.

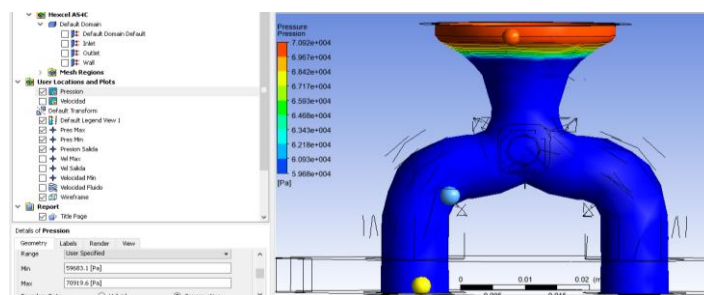


Figura 3. 19 Presión de trabajo en el colector de admisión con Fibra de Carbono.

Fuente: Los Autores

La presión de trabajo es generada por tres valores fundamentales, el primero conocido como presión máxima presenta un valor de 70 919,6 Pa, la segunda es una presión mínima con un resultado final de 59 683,1 Pa y la tercera es la presión de salida del colector que no es más que la interacción de todas las presiones que se encuentran sometidas a la salida con un resultado promedio de 59 683,3 Pa, al igual que las otras propuestas de materiales no presenta mayor variación, por lo que la implementación por material en este tipo de geometría no altera los resultados, tal como se presenta en la figura 3.19.

3.8.2. Velocidad de ingreso del Flujo másico de la tobera de admisión

En el presente diseño se puede apreciar que el fluido presenta variaciones al recorrer el colector de admisión permitiendo estudiarlo de mejor manera por medio del programa de software de simulación.

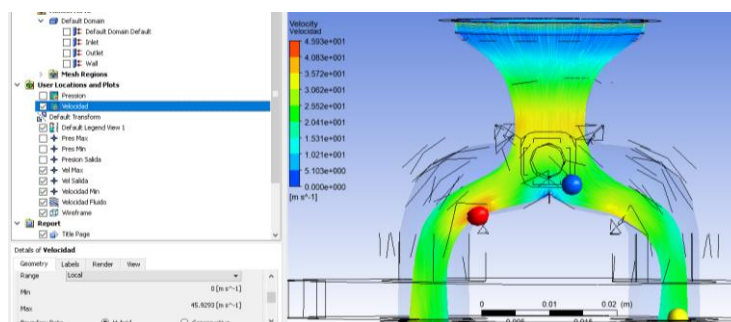


Figura 3. 20 Velocidad de ingreso del flujo en el colector de admisión Fibra de Carbono.

Fuente: Los Autores

La velocidad de ingreso del flujo másico, en esta propuesta se evidencia en la figura 3.20 donde la mayor velocidad de ingreso de la mezcla se genera en el centro del colector con un valor de $45,92 \frac{m}{s}$ y a la salida del colector con un valor de $25,51 \frac{m}{s}$ que es la velocidad a la que ingresa la mezcla a la cámara de combustión resultado del promedio de todas las reacciones que genera el fluido a la salida del colector.

3.9. Presentación de resultados del modelo Efecto Venturi

El estudio de la segunda propuesta de diseño del colector de admisión es basado en el efecto Venturi que provocan los carburadores en los distintos motores.

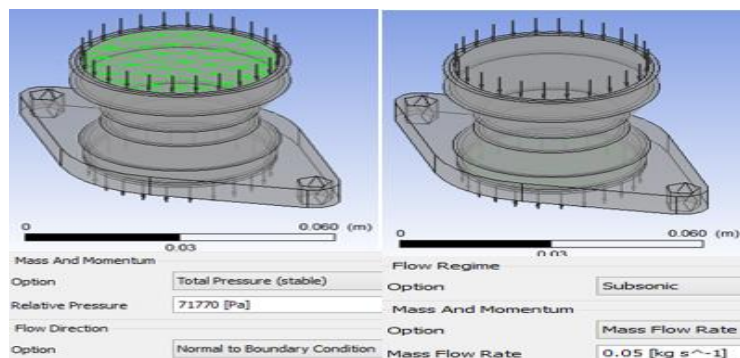


Figura 3. 21 Restricciones de Ingreso y Salida en la segunda propuesta de diseño.
Fuente: Los Autores

En base a la teoría anterior se aprovecha de mejor manera la succión que crea el motor en el tiempo de admisión, en la figura 3.21, se puede observar las condiciones de ingreso y salida.

3.10. Colector Efecto Venturi con Acero Inoxidable Austenítico Forjado

El uso de este tipo de material para el proceso de creación de un colector de admisión, es cada vez mayor en la industria automotriz.

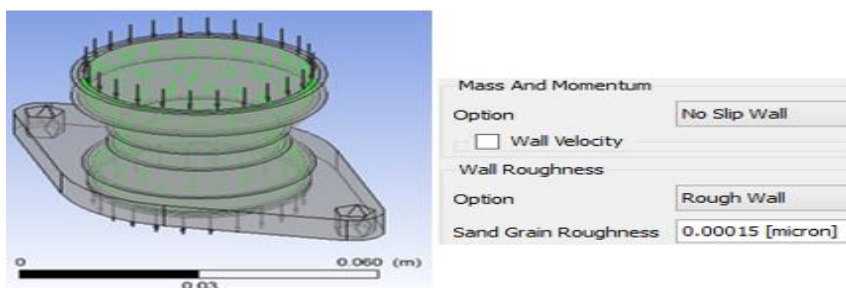


Figura 3. 22 Rugosidad del Acero inoxidable Forjado en el colector de admisión
Fuente: Los Autores

Según (Aguilar, Tabares , & Serna , 2013), el uso de aceros inoxidable Austeníticos ha aumentado, su uso en la industria desde vehículos livianos por la parte estética y tratamientos que este tipo de aceros permite, hasta vehículos pesados que permite una mejor prestación en temas de corrosión y temperatura. La figura 3.22, se aprecia la rugosidad de 0,00015 micrómetros como característica de este material.

3.10.1. Presión de trabajo en la tobera de admisión

La variación en relación a la presión, es evidente en comparación con las dos propuestas antes mostradas.

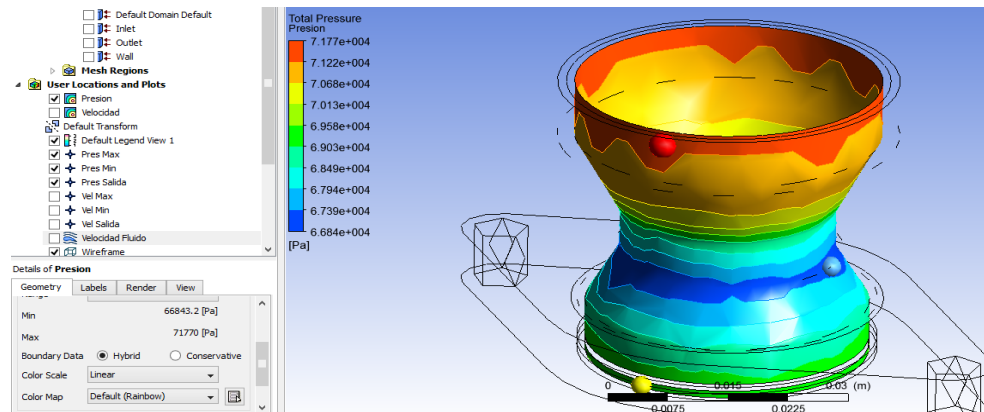


Figura 3. 23 Presión de trabajo en el colector de admisión con Acero Inoxidable Forjado.
Fuente: Los Autores

En la figura 3.23, se presenta como condición de ingreso y restricción en la entrada se asignó un valor de 71 770 Pa, que es la presión máxima. La mínima presión se encuentra en la disminución de diámetros con un valor de 66 843,2 Pa; ya que esta propiedad indica que la disminución de presión permite generar mejor velocidad y turbulencia según (Pauta-Solano & Sanchez Ramirez, 2014). La presión de salida del colector genera un valor de 69 580,1 Pa, que es la media de las todas las interacciones que se aprecia en la escala gráfica y están inmersas en el valor de salida del flujo masico.

3.10.2. Velocidad de ingreso del Flujo másico

La velocidad de ingreso del flujo másico se observa que la característica de este modelo, está en el diseño ya que la variación de diámetros permite aprovechar los cambios de presión y por tal razón mejorar la velocidad de ingreso del fluido.

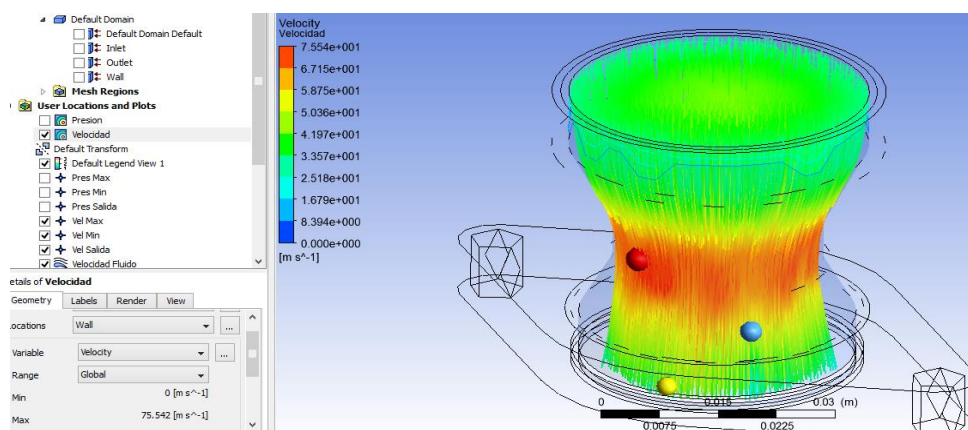


Figura 3. 24 Velocidad de ingreso de flujo en el colector de admisión con Acero Inoxidable Forjado.
Fuente: Los Autores

En la figura 3.24, se observa que en la sección que existe mayor variación se presenta una velocidad máxima de $75,542 \frac{m}{s}$, a la salida del mismo se genera una velocidad promedio de todos los valores que genera este modelo en la salida del colector apreciados en la escala gráfica con un resultado de $41,96 \frac{m}{s}$, aprovechando de mejor manera el llenado del cilindro, en comparación con las dos propuestas antes estudiadas.

3.11. Colector Efecto Venturi con Aleación de Aluminio 6063 – T6

Esta propuesta de diseño utiliza como material base aleaciones de aluminio, cuenta con características especiales de buen moldeo, dureza, ligereza, resistencia mecánica y conductividad térmica que es considerado como un elemento primordial en el sector automotriz de competición. (Zúñiga, 2016).

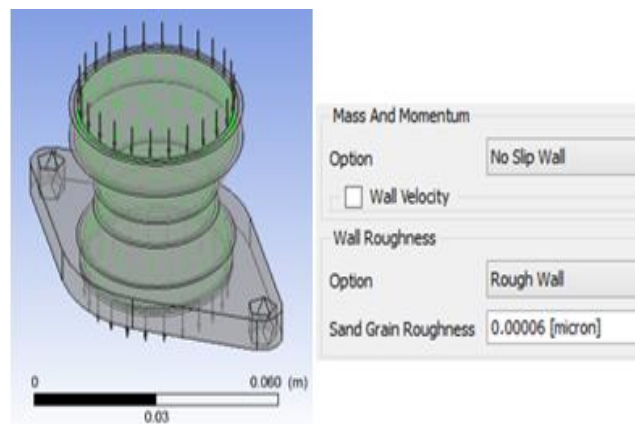


Figura 3. 25 Rugosidad del Aluminio 6063 T6 en el colector de admisión

Fuente: Los Autores

Para iniciar la simulación del colector Efecto Venturi, como primer punto se ingresa en el software las propiedades para analizar el comportamiento del fluido en el interior del colector en estudio, en este caso la rugosidad de trabajo del Aluminio 6063 T6 es de 0,00006 micrómetros como se observa en la figura 3.25.

3.11.1. Presión de trabajo

En este modelo se presenta variaciones en la presión desde la entrada hasta la salida del colector de admisión, permitiendo utilizar el software de simulación para determinar los puntos máximos, mínimos así como la salida de presión.

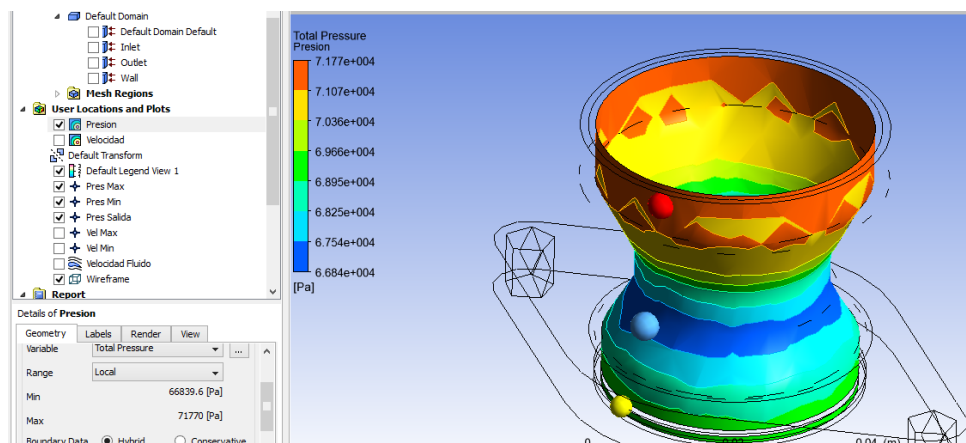


Figura 3. 26 Presión de trabajo en el colector de admisión con Aleación de Aluminio.

Fuente: Los Autores

La figura 3.26, presenta los valores de presión de este modelo, que presenta similitud en los resultados al utilizar acero inoxidable forjado, como material base. La presión máxima es de 71 770 Pa, dada como condición inicial o presión atmosférica y el valor mínimo de presión que genera este diseño es de 66 839,6 Pa. La presión generada a la salida del colector es la media de todas las presiones resultantes arrojadas en el análisis ya que todas ellas se involucran en el valor final de salida para lo cual tenemos un valor de 69 650,67 Pa.

3.11.2. Velocidad de ingreso del Flujo másico

En esta propuesta nos permite observar el recorrido que realiza el fluido con respecto a la velocidad.

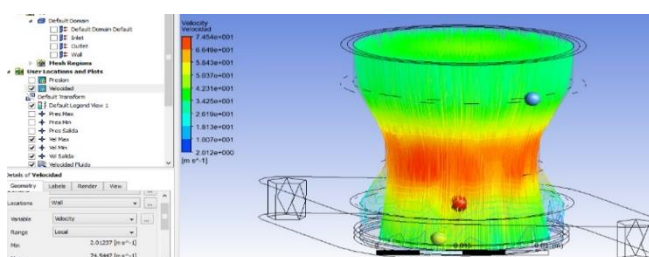


Figura 3. 27 Velocidad de ingreso de flujo en el colector de admisión con Aleación de Aluminio.

Fuente: Los Autores

Velocidad de ingreso del flujo másico, en este caso la figura 3.27, el estudio CFD permite visualizar el valor máximo de velocidad con $74,54 \frac{m}{s}$, el cual se encuentra en la reducción del diámetro aproximadamente, característica que consigue este diseño en comparación con el resto y con un valor de salida promedio del resultado de las múltiples interacciones a las que se encuentra sometido el fluido a la salida del flujo másico con un total de $48,31 \frac{m}{s}$.

3.12. Colector Efecto Venturi con Fibra de Carbono Hexcel AS4C

En el diseño de colector Efecto Venturi presenta un estrechamiento en su parte media en el cual se va a incorporar la rugosidad de la Fibra de Carbono Hexcel AS4C para determinar el comportamiento del fluido.

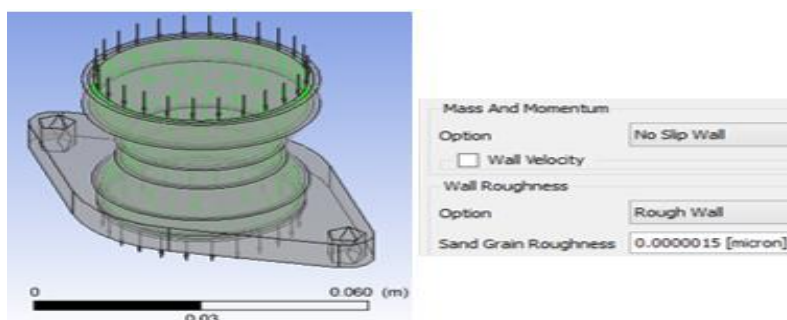


Figura 3. 28 Rugosidad de la Fibra de Carbono Hexcel AS4C en el colector de admisión
Fuente: Los Autores

El uso de fibra de carbono como material base. Según (Rodríguez Vidal, 2016), en su estudio menciona que el uso de fibra de carbono en la industria automotriz es cada vez más frecuente por sus múltiples beneficios en relación a otras aleaciones metálicas, la figura 3.28, muestra la rugosidad característica de este material.

3.12.1. Presión de trabajo

En el colector Efecto Venturi la presión recorre al colector variando los valores de presión.

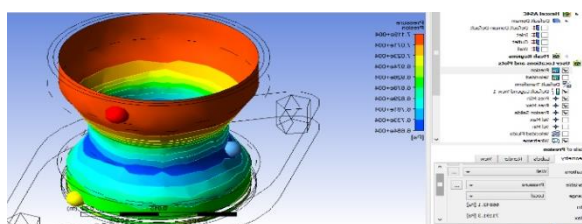


Figura 3. 29 Presión de trabajo en el colector de admisión con Fibra de Carbono.
Fuente: Los Autores

La presión de trabajo en este tipo de colector se exhibe en la figura 3.29, como se muestra en las dos propuestas de materiales antes estudiadas, la presión no presenta variaciones significativas el valor máximo es de 71 191,3 Pa y el valor mínimo es de 66 843,1 Pa. La interacción y variación de estas presiones, se presenta por todo el colector, ocasionando que la velocidad aumente y genere turbulencias favorables que benefician el llenado del cilindro. La presión de salida del flujo másico es la media de todas las presiones involucradas en la salida con un valor total de 69 262,3 Pa.

3.12.2. Velocidad de ingreso del Flujo másico

La velocidad de ingreso del flujo másico, en este modelo se explica en la figura 3.30, al igual que los anteriores resultados, el material no influye en gran proporción ya que el recorrido del fluido es de 40 mm aproximadamente, por tal razón la rugosidad característica de cada material influye poco en el análisis CFD.

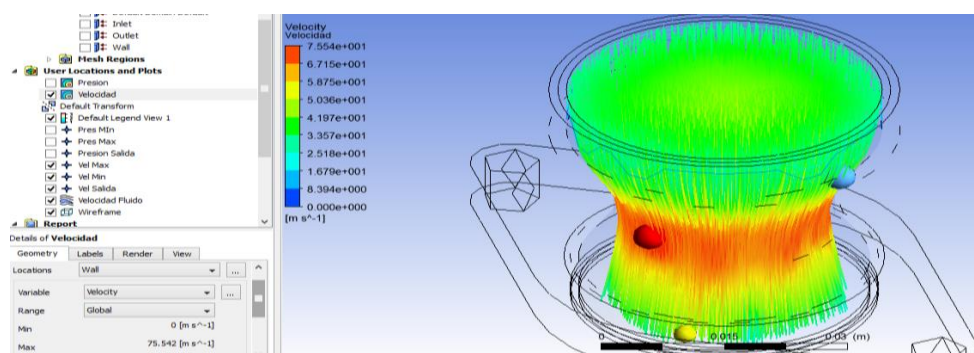


Figura 3. 30 Velocidad de ingreso de flujo en el colector con Fibra de Carbono.

Fuente: Los Autores

Este caso presenta como máxima velocidad un valor de $75,542 \frac{m}{s}$ y la velocidad que se obtiene a la salida del colector es la media del promedio de todas las velocidades a las que se encuentra sometido el fluido en la salida del colector demostrado esto en la escala gráfica y arrojando un valor de $41,97 \frac{m}{s}$.

3.13. Escalas gráficas del Modelo Estándar

Los resultados obtenidos en el análisis dinámico de fluidos CFD, en el interior de la tobera, muestra que se cumple con las condiciones de trabajo del flujo másico en el ingreso al cilindro.

3.13.1. Colector Estándar con Acero Inoxidable Forjado

Según (Liu, Ferng, & Shih, 2012), menciona que los diferentes modelos, generan una mayor turbulencia en variación del diseño del modelo a estudiar. Para lo cual se ha podido determinar que la turbulencia más apropiada, depende del tratamiento de pared o rugosidad, en un intervalo superior a 100 mm.

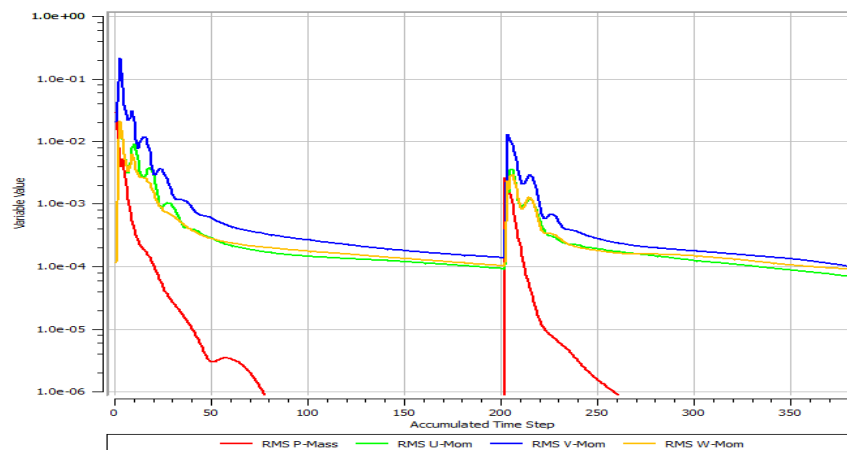


Figura 3. 31 Gráfica de momento másico en colector de admisión con Acero Inoxidable.

Fuente: Los Autores

En este caso el proceso de análisis CFD, genera el valor de momento másico que se aprecia en la figura 3.31, tiene un análisis en un tramo de 40 mm aproximadamente, donde se desprecia la propiedad de rugosidad que posee cada material. Además, se muestran los intervalos de presión, trabajo y volumen, del fluido en un intervalo de tiempo, para lo cual las variaciones no presentan constancia, y existe irregularidad en las curvas en el proceso de trabajo, con lo que un rediseño permitiría mejorar y aprovechar el flujo e ingreso del fluido al motor.

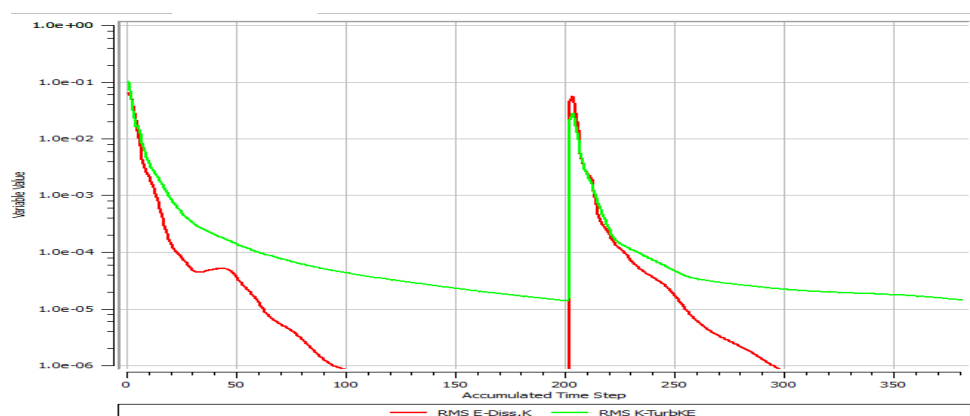


Figura 3. 32 Gráfica de turbulencia en la tobera de admisión Acero Inoxidable

Fuente: Los Autores

En la figura 3.32, se aprecia la turbulencia generada por este modelo y con el uso de este material como base, cabe mencionar que las restricciones iniciales fueron de 71 770 Pa como presión atmosférica a 2 800 msnm y $0,05 \frac{kg}{s}$ como condición de salida. Para este diseño el comportamiento de la turbulencia, presenta variaciones en el tiempo estudiado, como se aprecia en la gráfica las curvas de turbulencia no se mantienen constante y esa variación puede significar una inconformidad en el llenado del cilindro.

3.13.2. Colector Estándar con Aleación de Aluminio 6063 – T6

En la escala del momento masico nos permite determinar la variación del fluido por medio de ondas.

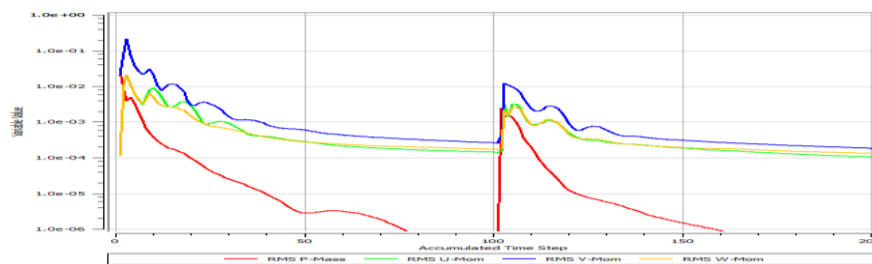


Figura 3. 33 Gráfica de momento másico en colector de admisión Aleación de Aluminio.
Fuente: Los Autores

En la figura 3.33, describe el momento másico del ingreso del fluido en determinado tiempo, la característica que ofrece el aluminio 6063 T6 a diferencia del acero inoxidable forjado, permite una mejor variación en la onda de las curvas, es decir que la interacción permite mejorar de cierta manera el ingreso del fluido en la cámara de combustión.

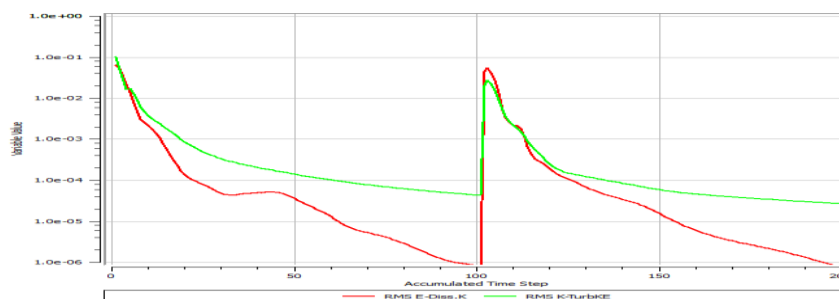


Figura 3. 34 Gráfica de turbulencia en colector de admisión Aleación de Aluminio
Fuente: Los Autores

La figura 3.34 en este caso la variación en las ondas que genera este material, presenta un comportamiento mucho más estable, a comparación del material anterior. De Color rojo se

presenta la disipación de la turbulencia, que como se observa existe pérdidas y de color verde la constante, que presenta mejor estabilidad en relación de la anterior.

3.13.3. Colector Estándar con Fibra de Carbono Hexcel AS4C

En el modelo original se expone con una variación en la materia prima, para este estudio se utiliza la fibra de carbono Hexcel AS4C.

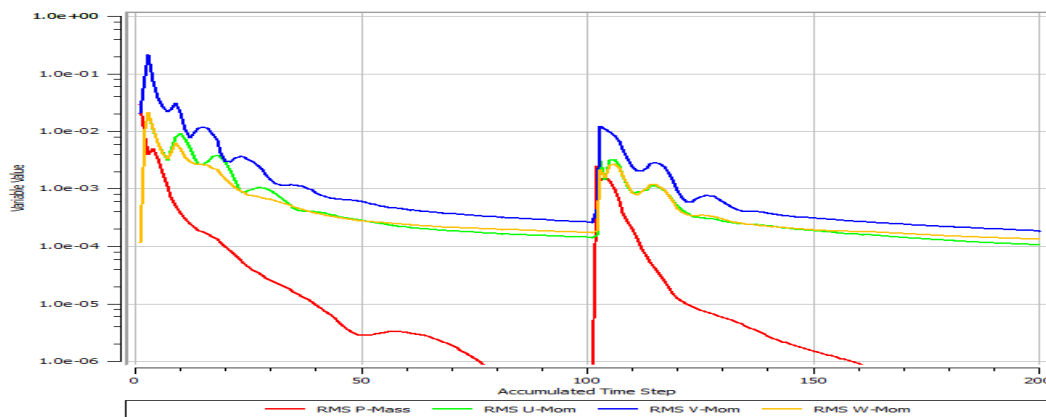


Figura 3. 35 Gráfica de momento másico en colector de admisión Fibra de Carbono.
Fuente: Los Autores

En la figura 3.35, el ingreso presenta la variación de la presión, velocidad y trabajo del fluido en un determinado tiempo y recorrido. Para esto se aprecia que con este material internamente la desviación en las curvas es similar al aluminio 6063 T6, evidenciando caídas bruscas de las ondas, que podría ocasionar pérdidas en el flujo al momento de llenar el cilindro.

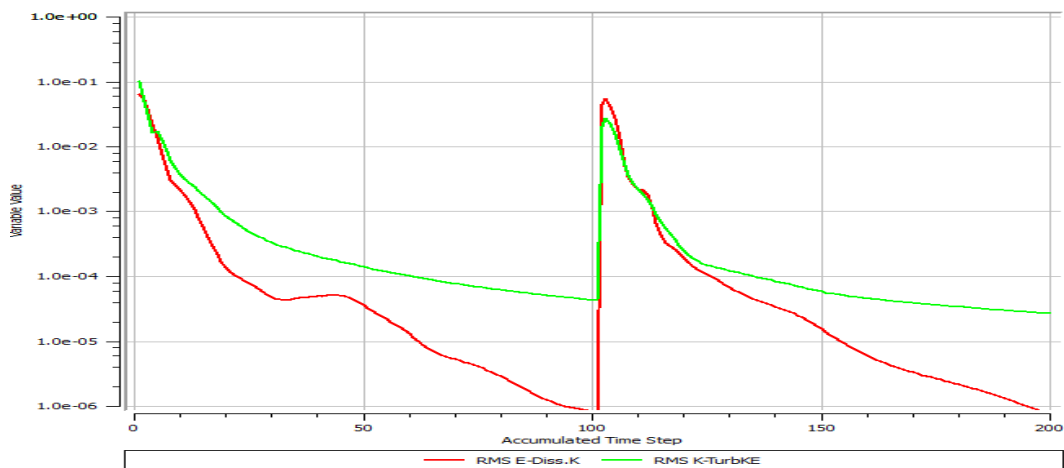


Figura 3. 36 Gráfica de turbulencia en colector de admisión Fibra de Carbono.
Fuente: Los Autores

En la figura 3.36, se evidencia que la turbulencia va en relación a la velocidad de ingreso del fluido, con respecto al tiempo, para este caso con este tipo de material se presenta múltiples variaciones al igual que el resto de propuestas de materiales, lo que demuestra que para este tipo de colector el material que se emplea presentará características similares al momento de utilizarlo.

3.14. Escalas gráficas del Modelo con Doble Entrada

En este caso se observa que el modelo es un rediseño del patrón original en el cual se conserva los diámetros de ingreso, así como los alojamientos de los distintos acoples entre componente, para este caso se evidencia que el factor geometría ayuda a mejorar el llenado del cilindro en eventuales casos, así como mejorar las prestaciones en aspectos relacionados a presiones de trabajo.

3.14.1. Colector con Doble Entrada con Acero Inoxidable Forjado

Se presenta el análisis CFD de la primera propuesta de diseño, cuya característica principal es, la presencia de una doble salida del fluido.

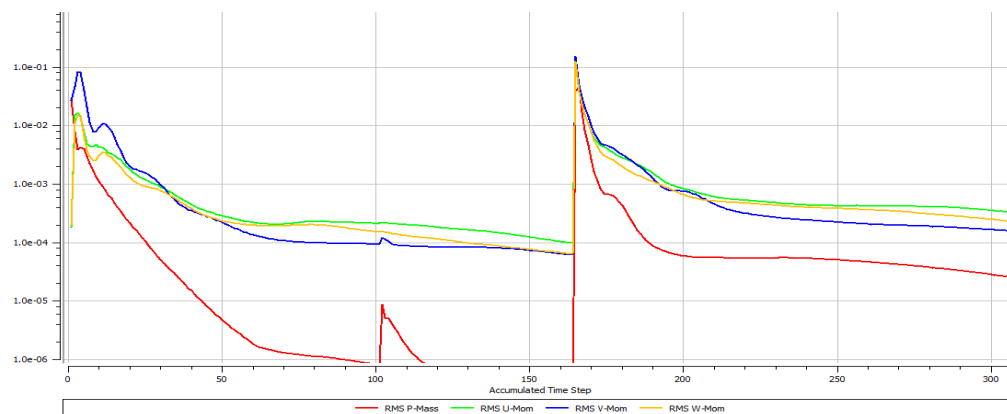


Figura 3. 37 Gráfica de momento másico en colector de admisión Acero Inoxidable.

Fuente: Los Autores

En la figura 3.37, se presenta una disminución mucho mayor de la presión en comparación con las dos propuestas mencionadas, ya que el fluido no transita por todo el modelo. Pero se observa que el comportamiento de la velocidad (azul), trabajo (amarillo) y volumen (verde) no existe variaciones significativas y de cierta forma se mantienen constantes. El caso de la presión (rojo) como se mostró en las gráficas anteriores entre menor sea la presión la velocidad aumenta.

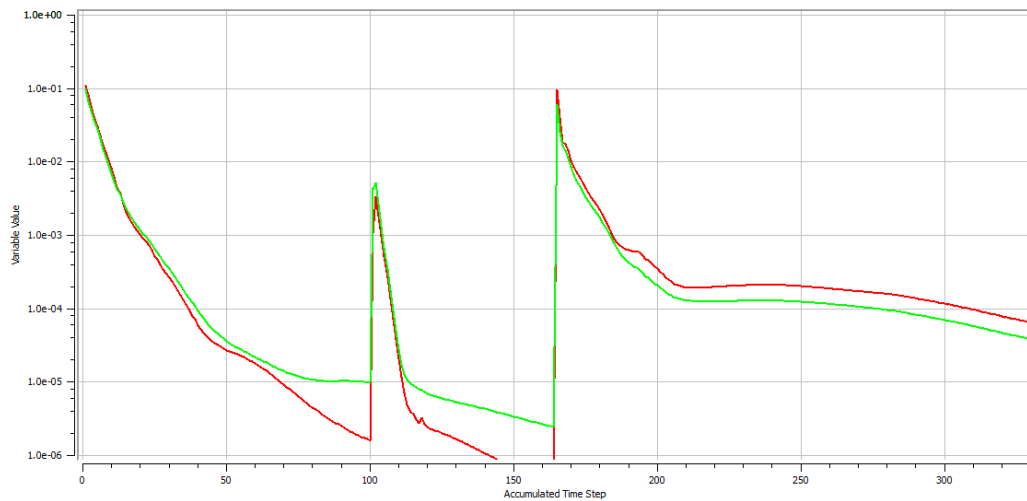


Figura 3. 38 Gráfica de turbulencia en colector de admisión Acero Inoxidable.
Fuente: Los Autores

En la figura 3.38, la turbulencia generada tiende a disminuir, por la gran variación de presiones que este modelo genera, al apreciar la gráfica de velocidad existen puntos de la geometría donde genera mayor velocidad, por tal la curva de turbulencia maneja estas variaciones.

3.14.2. Colector con Doble Entrada con Aleación de Aluminio 6063 – T6

Al utilizar el aluminio 6063 T6, presenta un comportamiento diferente en el fluido en relación al material anterior como se evidencia en la gráfica.

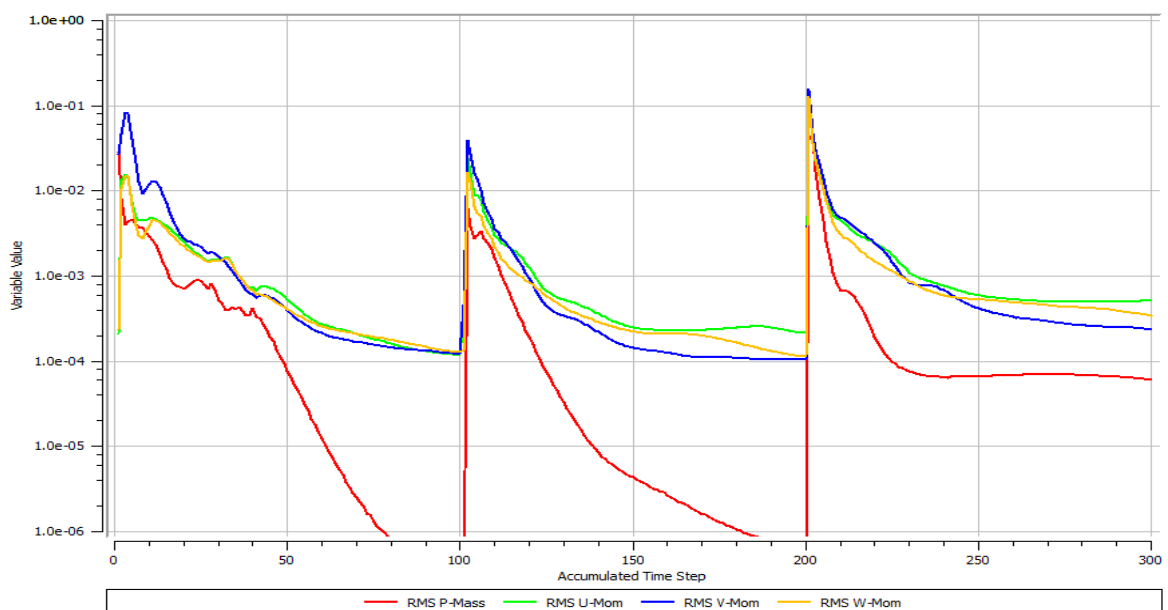


Figura 3. 39 Gráfica de momento másico en colector de admisión Aleación de Aluminio.
Fuente: Los Autores

En la figura 3.39, se presenta en este caso la velocidad (azul), trabajo (amarillo) y volumen (verde), desarrollan grafica variables, pero al igual que el modelo anterior la presión (rojo) desarrollar gráficamente una gran disminución evidente en comparación con las otras curvas.

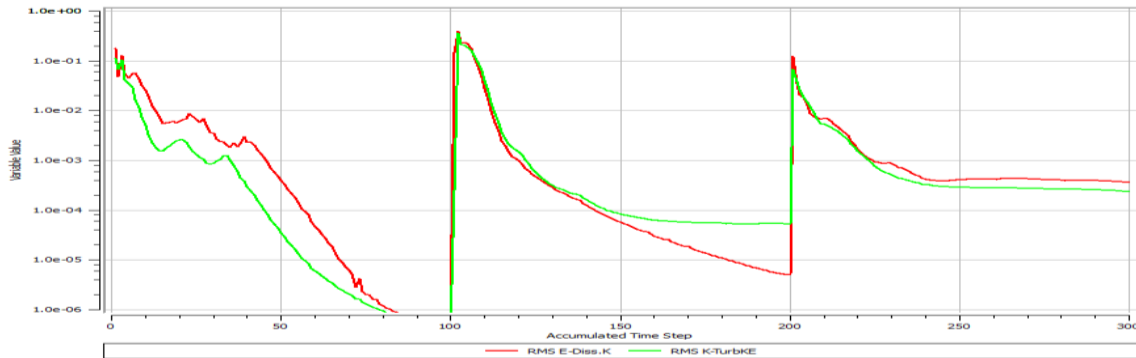


Figura 3. 40 Gráfica de turbulencia en colector de admisión Aleación de Aluminio.

Fuente: Los Autores

En la figura 3.40, expone la turbulencia en relación con la velocidad de ingreso del fluido en un determinado tiempo, para este caso se demuestra que la geometría y el material base es un factor importante, pero como es evidente la diferencia de presiones de este diseño influyen en la turbulencia que este genera, en la gráfica se aprecia que la turbulencia presenta múltiples variaciones que al final arrojaría llenados incompletos o defectuosos en el cilindro.

3.14.3. Colector con Doble Entrada con Fibra de Carbono Hexcel AS4C

Con este tipo de geometría y con las restricciones iniciales, este material presenta, el mejor comportamiento en base a la curva de momento másico.

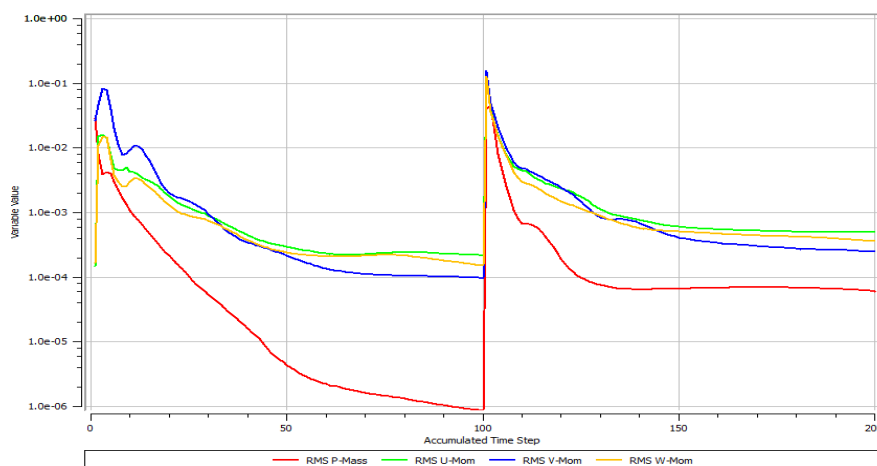


Figura 3. 41 Gráfica de momento másico en colector de admisión Fibra de Carbono.

Fuente: Los Autores

En la figura 3.41, se encuentra que la velocidad (azul), trabajo (amarillo) y volumen (verde), manejan un valor constante sin mayores variaciones, pero al igual que las dos propuestas antes mencionadas de materiales la presión (rojo) crea conflicto y posiblemente el llenado del cilindro sea deficiente.

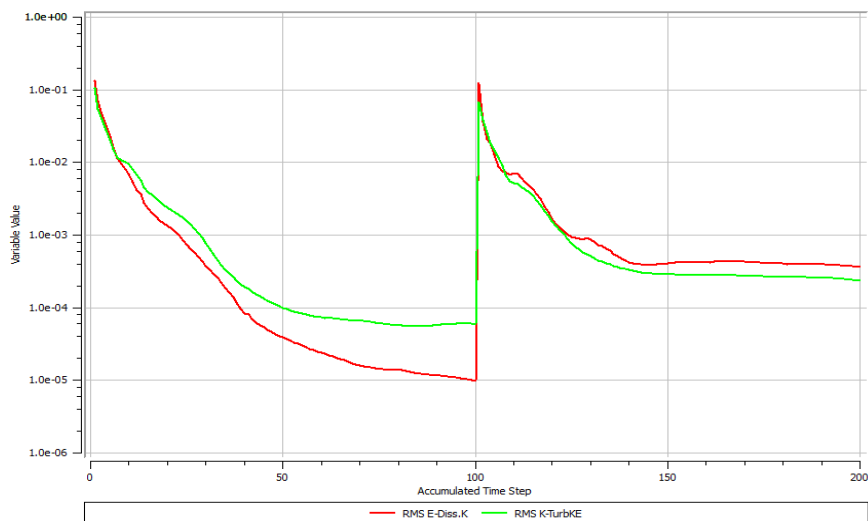


Figura 3.42 Gráfica de turbulencia en colector de admisión Fibra de Carbono.
Fuente: Los Autores

En la figura 3.42, se presenta la gráfica de turbulencia, la cual genera el mejor comportamiento en relación a las dos propuestas anteriores, ya que el comportamiento del fluido presenta variaciones, hasta lograr una estabilidad a medida que el fluido ingresa, el caso particular de esta geometría es que presenta la mayor diferenciación de presiones como se muestra en el análisis CFD de las tres propuestas de materiales.

3.15. Escalas gráficas del modelo Tipo Efecto Venturi

La segunda propuesta de diseño, muestra los resultados del análisis de momento másico y turbulencia. Para el modelo que presenta un diseño similar al Venturi de un carburador, en este caso los mejores resultados son con esta geometría, en relación a las dos propuestas antes mencionadas.

3.15.1. Colector Efecto Venturi con Acero Inoxidable Forjado

Se aprecia la gráfica de momento másico del fluido, donde la velocidad (azul), trabajo (amarillo), volumen (verde) y presión (rojo) presentan los resultados más favorables en comparación con los dos modelos antes estudiados.

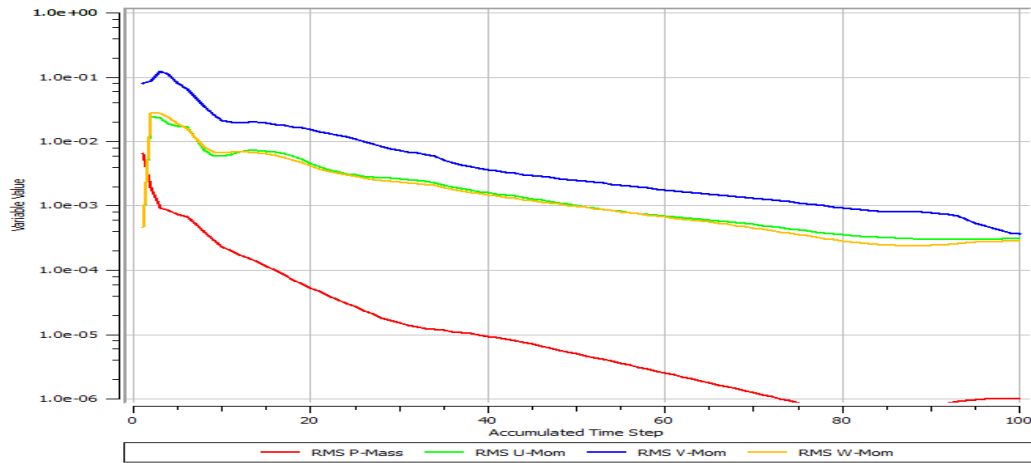


Figura 3. 43 Gráfica de momento másico en la tobera de admisión Acero Inoxidable.
Fuente: Los Autores

En la figura 3.43, este caso específico presenta estos valores tienen simetría entre sí y la variación de presiones es mínima como se muestra en la escala roja y por tal razón se puede mejorar la velocidad de ingreso del flujo másico y por tal razón mejorar el llenado del cilindro y obtener un mejor desarrollo del prototipo *formula SAE*.

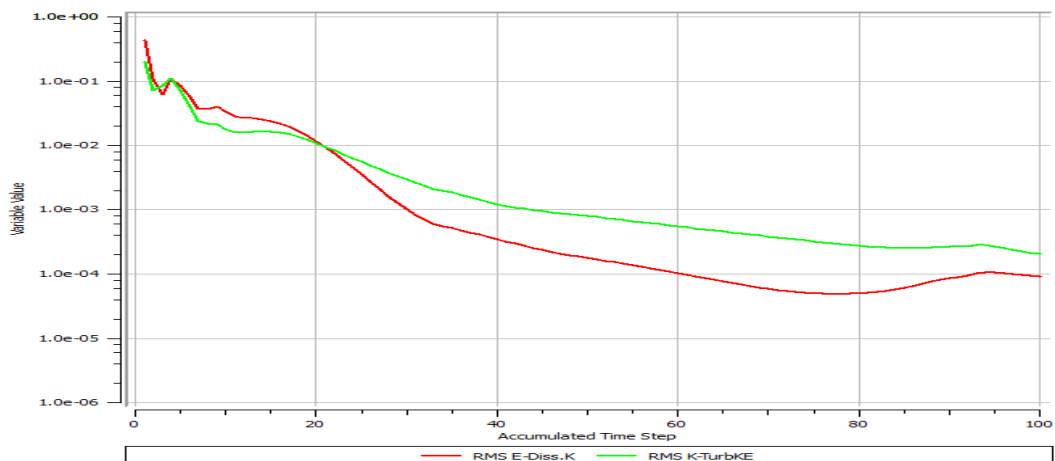


Figura 3. 44 Gráfica de turbulencia en colector de admisión Acero Inoxidable.
Fuente: Los Autores

En la figura 3.44, muestra la turbulencia del colector con la utilización del acero inoxidable como material base, en comparación con las dos propuestas antes estudiadas, los valores de turbulencia presentan curvas estables sin variaciones representativas, por tal razón se puede mejorar el ingreso del fluido, y optimizar el llenado del cilindro.

3.15.2. Colector Efecto Venturi con Aleación de Aluminio 6063 – T6

Esta propuesta utiliza como material base Aleaciones de Aluminio 6063 T6, con las que se efectúa el estudio de momento másico y turbulencia en la geometría.

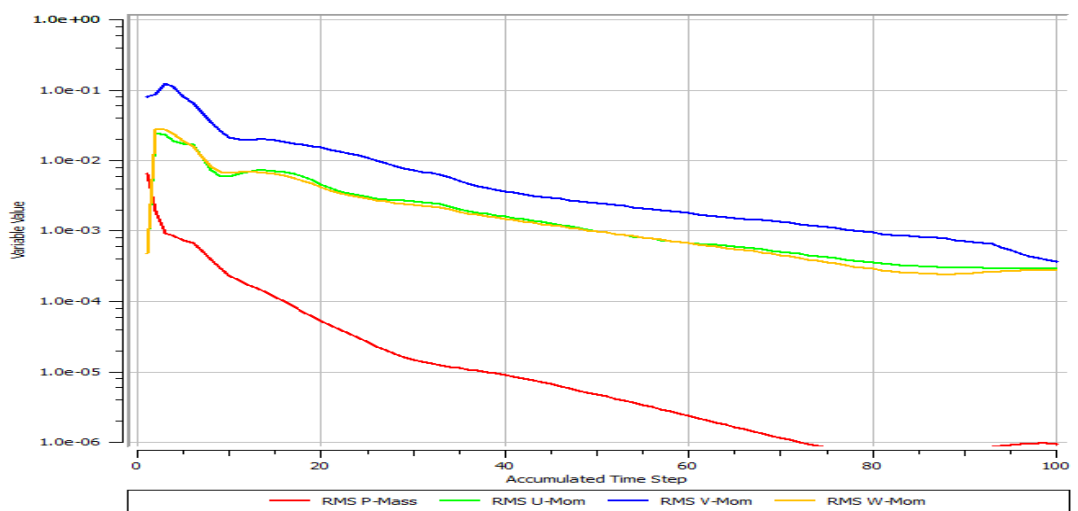


Figura 3. 45 Gráfica de momento másico en colector de admisión Aleación de Aluminio.
Fuente: Los Autores

En la figura 3.45, se presenta la gráfica del momento másico de la tobera de admisión en relación al ingreso de la mezcla. Las curvas de momento másico presentan el trabajo antes detallando en las figuras anteriores, donde la velocidad (azul), trabajo (amarillo) y volumen (verde) muestran estabilidad en el recorrido y de igual manera no se observa variaciones significativas en el tiempo a estudiar. La presión (rojo) presenta variaciones en sus valores, y de esta forma se genera mayor velocidad en el recorrido, hasta optimizar el llenado del cilindro.

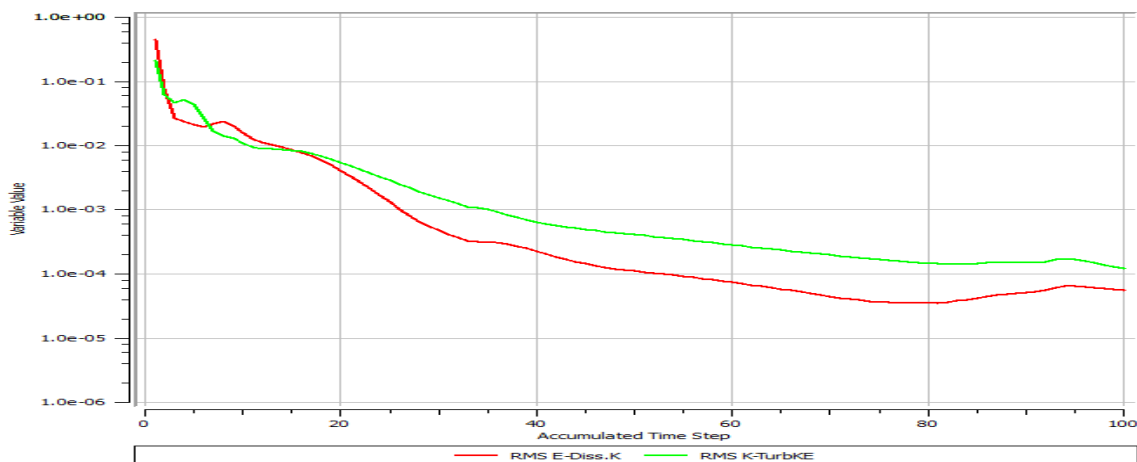


Figura 3. 46 Gráfica de turbulencia en colector de admisión Aleación de Aluminio.
Fuente: Los Autores

La gráfica de turbulencia se muestra en la figura 3.46, evidenciando el proceso que genera esta propiedad en el recorrido del flujo, como se observa en la figura las curvas permanecen constantes y se optimiza el ingreso del fluido en la cámara de combustión.

3.15.3. Colector Efecto Venturi con Fibra de Carbono Hexcel AS4C

Se analiza el momento másico de ingreso del fluido en determinado tiempo con respecto a la velocidad de ingreso del flujo masico.

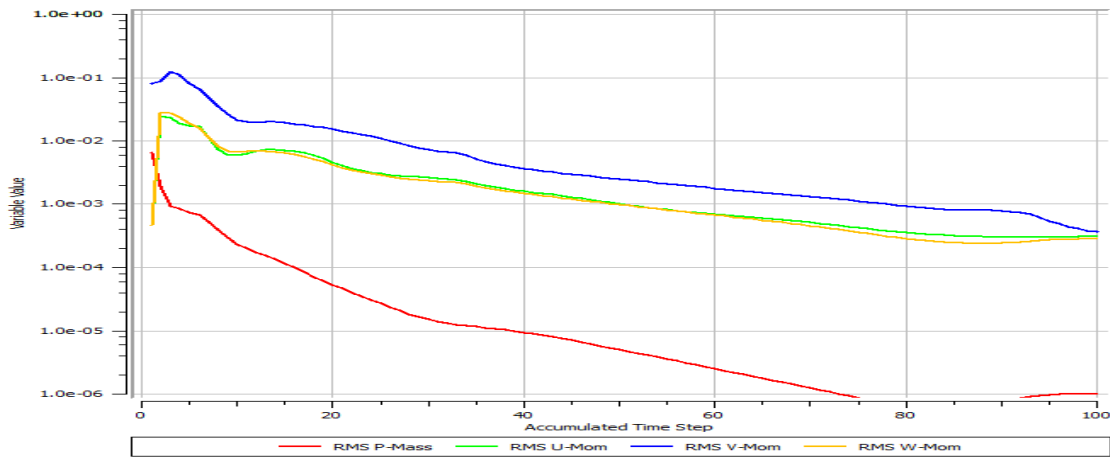


Figura 3. 47 Gráfica de momento másico en colector de admisión Fibra de Carbono.
Fuente: Los Autores

En la figura 3.47, en este caso particular el momento másico presenta múltiples variables que se comportan armónicamente entre sí, y permanecen constantes en el tiempo que dura el ensayo. Como se aprecia la velocidad y presión son factores relacionados entre ellos, es decir si la presión disminuye la velocidad aumenta. Al utilizar este material se permite obtener mínimas ventajas en base a la rugosidad que caracteriza este material, es decir en base a la oposición que genera este valor en el recorrido del fluido.

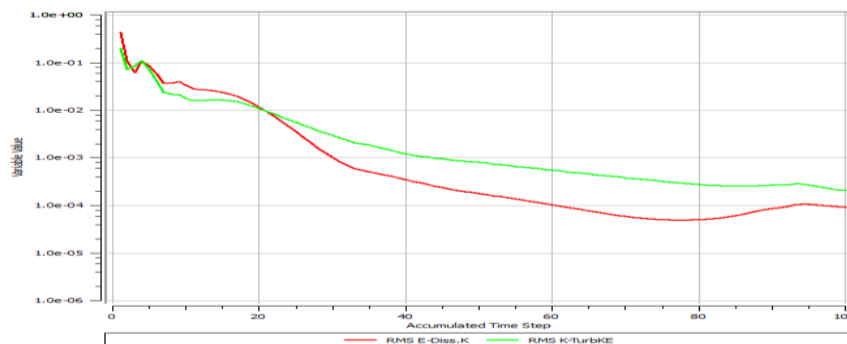


Figura 3. 48 Gráfica de turbulencia en colector de admisión Fibra de Carbono.
Fuente: Los Autores

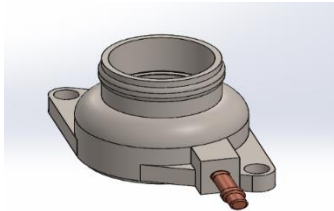
La gráfica de turbulencia se representa en la figura 3.48, aprovechando los momentos de turbulencia que en determinado tiempo se generan para mejorar el llenado del cilindro esta gráfica en especial permite observar que las curvas características presentan valores similares sin generar variaciones y optimizando el recorrido del fluido por el modelo.

3.16. Comparativa entre Resultados

Para realizar una comparativa de resultados lo pertinente es conocer los distintos diseños de modelos, y analizar los rangos máximos de presión y velocidad de ingreso de la mezcla.

En la tabla 3.1, se aprecia el resultado del análisis del colector sin realizar variaciones en el diseño, en este caso la mejor prestación por ingreso del fluido, presión y velocidad es al utilizar como material la aleación de aluminio 6063 T6 y fibra de carbono, como se aprecia en la velocidad de salida del fluido, que genera mejor llenado del cilindro.

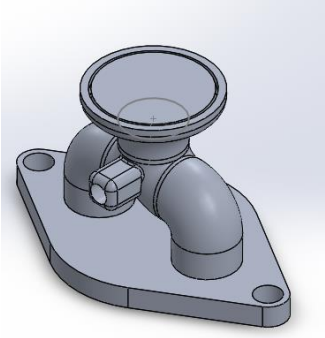
Tabla 3. 1 Colector con diseño original

DISEÑO DE COLECTOR				
MATERIAL BASE				
	Presión de Ingreso a la cámara	Presión de trabajo (Max-Min)	Velocidad del fluido	Velocidad de ingreso del Fluido a la cámara
Acero Inoxidable Forjado	67 771,2 Pa	Valor Máximo: 72 136,6 Pa	Valor Máximo: 111,76 m/s	43,46 m/s
		Valor Mínimo: 62 316,7 Pa	Valor Mínimo: 0 m/s.	
Aleaciones de Aluminio 6063 T6	68 148,36 Pa	Valor Máximo: 72 720,1 Pa	Valor Máximo: 111,76 m/s	46,25 m/s
		Valor Mínimo: 63 920,8 Pa	Valor Mínimo: 0 m/s.	
Fibra de Carbono Hexcel AS4C	67 771,2 Pa	Valor Máximo: 72 136,6 Pa	Valor Máximo: 111.76 m/s	45,47 m/s
		Valor Mínimo: 62 316,7 Pa	Valor Mínimo: 0 m/s.	

Fuente: Los Autores

En la tabla 3.2, se presentan los resultados del colector con rediseño en su CAD, para este caso la variación en la geometría presenta un mejor desarrollo en presión de trabajo con el uso de la aleación de aluminio 6063 T6 y fibra de carbono. Para aprovechar un mejor llenado del cilindro, estas dos propuestas de materiales presentan el mismo comportamiento en la velocidad de salida del colector, y por tal se mejora el llenado del cilindro, cabe mencionar que a comparación con el primer modelo este rediseño, presenta falencias y no mejora la funcionalidad, así como genera espacios por donde el fluido tiene dificultades al transitar.

Tabla 3. 2 Rediseño de colector de admisión con doble ingreso

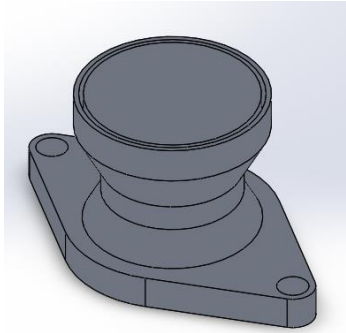
DISEÑO DE COLECTOR				
MATERIAL BASE				
	Presión de Ingreso a la cámara	Presión de trabajo (Max-Min)	Velocidad del Fluido	Velocidad de ingreso del Fluido a la cámara
Acero Inoxidable Forjado	60 966,1 Pa	Valor Máximo: 70 927,2 Pa	Valor Máximo: 45,87 m/s	25,46 m/s
		Valor Mínimo: 60 966,1 Pa	Valor Mínimo: 0 m/s.	
Aleaciones de Aluminio 6063 T6	56 683,3 Pa	Valor Máximo: 70 919,6 Pa	Valor Máximo: 45,92 m/s	25,51 m/s
		Valor Mínimo: 56 683,1 Pa	Valor Mínimo: 0 m/s.	
Fibra de Carbono Hexcel AS4C	56 683,3 Pa	Valor Máximo: 70 919,6 Pa	Valor Máximo: 45,92 m/s	25,51 m/s
		Valor Mínimo: 56 683,1 Pa	Valor Mínimo: 0 m/s.	

Fuente: Los Autores

En la tabla 3.3, se presenta los datos para la segunda propuesta de rediseño del colector de admisión en los que se aprecia que el material presenta variaciones en la presión de trabajo,

generando velocidades del fluido y turbulencia variables que repercutirá el llenado del cilindro. El material que obtuvo la mejor prestación es la aleación de aluminio 6063 T6. Este material genera mayor presión, que a su vez aumentará la velocidad de salida del fluido y permite ganar mayor velocidad en comparación con los dos materiales propuestos.

Tabla 3. 3 Rediseño de colector de admisión con variación de diámetros

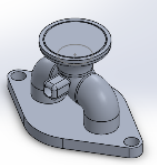
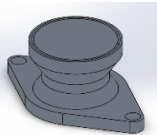

DISEÑO DE COLECTOR				
MATERIAL BASE				
	Presión de Ingreso a la cámara	Presión de trabajo (Max-Min)	Velocidad del Fluido	Velocidad de ingreso del Fluido a la cámara
Acero Inoxidable Forjado	69 580,1 Pa	Valor Máximo: 71 770 Pa	Valor Máximo: 75,54 m/s	41,96 m/s
		Valor Mínimo: 66 843,2 Pa	Valor Mínimo: 0 m/s.	
Aleaciones de Aluminio 6063 T6	69 656,67 Pa	Valor Máximo: 71 770 Pa	Valor Máximo: 75,66 m/s	48,31 m/s
		Valor Mínimo: 66 839,6 Pa	Valor Mínimo: 2,012 m/s	
Fibra de Carbono Hexcel AS4C	69 262,3 Pa	Valor Máximo: 71 191,3 Pa	Valor Máximo: 75,54 m/s	41,97 m/s
		Valor Mínimo: 66 843,1 Pa	Valor Mínimo: 0 m/s	

Fuente: Los Autores

La propuesta de diseño que mejor se adecuó al análisis CFD y CFX, fue el segundo diseño que presenta variaciones de diámetros, similar al efecto Venturi en la tabla 3.4, en comparación con el diseño original y con el material que este se encuentra fabricado el cual es el Acero Inoxidable, se muestra los valores de velocidad de salida de los colectores que destacaron y los materiales que presentaron mejores resultados, ya que este valor permite identificar cual va a ser la velocidad de salida del fluido y permite mostrar que turbulencia esta crearía para optimizar el llenado del cilindro, mediante un cuadro comparativo con

porcentajes de diferencia con los mejores materiales y modelos que se adecuaron al análisis de flujo.

Tabla 3. 4 Porcentajes de Variación por diseño y material

Diseño CAD	Material	Velocidad de Salida	Porcentaje de Diferencia en base al modelo Estándar
	Fibra de Carbono Hexcel AS4C	25.51 m/s	-41.30 %
	Aleaciones de Aluminio 6063 T6	48.31 m/s	11.16 %
	Fibra de Carbono Hexcel AS4C	46.25 m/s	6.42 %

Fuente: Autores

El diseño que presenta mejor resultado es el que genera variaciones de diámetros, que está basado en el efecto Venturi, este caso permite resaltar que el material que mejor se adapta es la aleación de aluminio 6063 T6, utilizada en el campo automotriz y aeronáutico para la fabricación de autopartes. Con una ventaja significativa en velocidad de salida del flujo de 11.16% en comparación con el diseño original, y de igual manera en el análisis dinámico de fluidos permite destacar con mejores resultados en base a presión, trabajo y velocidad, de la misma manera la turbulencia que este modelo genera, permite suponer que se optimizará el llenado del cilindro de mejor manera y por tal el comportamiento dinámico del motor aumentaría en cierto porcentaje.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

1. Mediante la utilización del software CAD se generó tres propuestas de diseños de colectores de admisión, como es el modelo estándar, modelo tipo doble tubo, y el modelo tipo efecto Venturi, para posteriormente determinar qué modelo es el que mejor flujo volumétrico brinda al motor, dando como resultado que el diseño tipo Venturi se antepone ante las dos propuestas de modelos, debido a que en el diseño existe una reducción de su diámetro medio, por lo tanto, permite que la velocidad de ingreso sea mayor e ingrese de manera directa a la cámara de combustión.
2. Para el diseño de los modelos en tres dimensiones (3D) de los colectores de admisión, se utilizó el software CAD SolidWorks, ahorrando tiempo durante el proceso de diseño y mediante las herramientas de modelado que son respaldadas por Solidworks, permite controlar y gestionar de forma fiable los datos reales de cada uno de los diseños de cada colector.
3. Por medio de un software de simulación CAE, se logró realizar las simulaciones pertinentes para cada una de las propuestas de diseños, teniendo en cuenta el tipo de material empleado en cada modelo, para el análisis de simulación se consideró el Aluminio 6063-T6 por su buena conductividad térmica y resistencia mecánica, Acero Inoxidable forjado porque es un material de gran resistencia mecánica y buenas propiedades de resistencia a la humedad y la Fibra de carbono Hexcel AS4C porque tiene una mayor resistencia a esfuerzos y es un material que tiene menor densidad que el acero lo que lo hace liviano; para analizar las variables de presión y velocidad con el objetivo de verificar el comportamiento dinámico del fluido, en el interior de cada colector de admisión.
4. Como resultado obtenido del análisis CFD y CFX, mediante Ansys, se logró obtener datos comparativos, obteniendo como resultado que los tres diseños propuestos presentaron un mejor comportamiento en velocidad de ingreso del fluido al cilindro mejorando de esta manera el llenado del mismo para el funcionamiento óptimo del motor, al utilizar como material la aleación de aluminio 6063-T6, el cual se antepone a los otros materiales aplicados, generando en el diseño de efecto Venturi un valor

de 48,31 m/s, seguidamente está el modelo estándar con el material de fibra de carbono Hexcel AS4C un valor de 46,25 m/s y finalmente se encuentra el modelo doble tubo con el material fibra de carbono Hexcel AS4C con un valor de 25,51 m/s.

5. El modelo de colector tipo efecto Venturi con aleación de aluminio 6063-T6, destaca entre las demás propuestas de diseño, el cual presenta un porcentaje de velocidad de flujo a la salida con un valor de 11,16%, siendo mayor al comparar los resultados con el modelo estándar.
6. Mediante el análisis de resultados de las escalas gráficas, se logró comparar el comportamiento del fluido en el interior de los colectores, a través de las respectivas variantes de flujo másico y turbulencia, para de esta forma seleccionar el modelo y material que se anteponga a los demás.
7. En el diseño de efecto Venturi, con el material de aleación de aluminio 6063-T6, se analizó el momento másico y la turbulencia de ingreso del fluido en determinado tiempo; con respecto a la velocidad de ingreso de la mezcla, en este caso particular el momento de flujo no presenta cambios significativos la cual muestra estabilidad de trabajo en todo el cuerpo del colector de admisión, generando un ingreso constante del fluido con mínima turbulencia debido a su geometría mejorando los resultados en el desempeño y combustión de la mezcla.

4.2. Recomendaciones

1. Realizar diseños simples que otorguen un gran rendimiento volumétrico, así como también el aumento de presión siendo directamente proporcional a la temperatura garantizando el correcto llenado del cilindro.
2. Se recomienda utilizar materiales que tengan propiedades de resistencia a esfuerzos y conductividad térmica, así como también su peso, para la manufactura de los distintos diseños que se pueden realizar para ser adaptados a algún prototipo vehicular.
3. Es recomendable utilizar programas computarizados como el software Ansys Estudiantil que permite seleccionar el tipo de material al cual se va aplicar los diseños sean estos realizados en programas de diseño como el Solidworks o a su vez en el Ansys, para poder realizar simulaciones de flujos volumétricos aplicando las condiciones de contorno para determinar su comportamiento.
4. Para el desarrollo en conjunto de los sistemas que componen al prototipo *formula SAE*, debe ser meticuloso en cuanto a su diseño, así como en la documentación de los materiales y procesos de fabricación. Por otra parte, se debe conocer con detalle el reglamento del año en curso para no cometer errores que descalifiquen al equipo de la participación de la competencia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Albanesi, A., Zanotti, A., & Calvo, N. (Noviembre de 2005). Simulación numérica de los movimientos característicos del flujo en cilindros de motores alternativos de alta performance. (A. Larreteguy, Ed.) *Mecánica Computacional*, XXIV, 1-19.
2. (FEDAK), F. E. (2018). Federación Ecuatoriana de Automovilismo y Kartismo Deportivo (FEDAK). Obtenido de Federación Ecuatoriana de Automovilismo y Kartismo Deportivo (FEDAK): <http://fedak.com.ec/index.php/nosotros#:~:text=La%20Federaci%C3%B3n%20Ecuatoriana%20de%20Automovilismo,cuales%20comprenden%20diferentes%20modalidades%20como%3A>
3. 3DCadPortal. (11 de mayo de 2019). 3DCadPortal. Obtenido de 3DCadPortal: <http://www.3dcadportal.com/ansys.html>
4. Acebes, S. S. (2017). *MOTORES (Transporte y Mantenimiento de Vehículos)*. Editex.
5. Aguilar, S., Tabares, R., & Serna, C. (2013). Transformaciones microestructurales de uniones soldadas de acero inoxidable austenítico con acero inoxidable ferrítico. Quito.
6. Alexander, O., Cano, F., Arango, J., & Montoya, C. (2017). Estudio comparativo de las propiedades mecánicas de fibras de vidrio y queratina. *Scientia Et Technica*, 408.
7. Ansys, Inc. (2019). Ansys.com. Obtenido de Ansys.com: <https://www.ansys.com/solutions/solutions-by-industry/automotive>
8. Aristizabal, A., & Cisneros, D. (11 de noviembre de 2010). Repositorio Universidad Internacional del Ecuador. Obtenido de Repositorio Universidad Internacional del Ecuador: <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/192/1/T-UIDE-0653.pdf>
9. Barroso, D. A., & Bessa, J. (2015). ANÁLISE DO BALANÇAMENTO DA SUSPENSÃO DO PROTÓTIPO FÓRMULA SAE POR MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS. *HOLOS*, 170-181.
10. Bayas, A. (2017). Rugosidad superficial. *GRUPO TECNOLOGÍA MECÁNICA – PROCESOS DE FABRICACIÓN*, 1.
11. Benavides, I. E. (2012). Diseño de un dispositivo experimental de maquinado para aleaciones de aluminio silicio. San Nicolás de los Garza: Universidad Autónoma de Nuevo León.
12. Betancourt, A. (14 de marzo de 2015). Formula SAE. *Noticias Vigo*, pág. 1.
13. Bolaños, J. A., & Lopez, M. (2018). Metodología de diseño aerodinámico para un vehículo tipo Fórmula SAE. *MEMORIAS DEL XXIV CONGRESO INTERNACIONAL ANUAL DE LA SOMIM, CAMPECHE, MÉXICO*, 10-16.
14. Bonilla, A. (2003). *Herramientas de diseño e ingeniería*. Salamanca: GUIA TECNOPYME.
15. Bourell, D., Stucker, B., Ilardo, R., & Williams, C. (2010). Design and manufacture of a Formula SAE intake system using fused depositio modeling and fiber-reinforced materials. *Rapid Prototyping Journal*, 22-31.
15. Broatch, A., Novella, R., & García-Tíscar, J. (22 de Septiembre de 2018). En el cambio de las características acústicas de los motores de compresión-ignición cuando se opera con gasolina de combustión de premezcla parcial. *Ingeniería Térmica Aplicada*, 5-9.
16. Calleja, D. (2015). Mantenimiento de sistemas auxiliares del motor de ciclo otto. En D. G. Calleja, *Mantenimiento de sistemas auxiliares del motor de ciclo otto* (pág. 224). Madrid: Paraninfo.

17. Calleja, D. G. (2015). Mantenimiento de sistemas auxiliares del motor de ciclo otto. En D. G. Calleja, *Mantenimiento de sistemas auxiliares del motor de ciclo otto* (pág. 224). Madrid: Paraninfo.
18. Cárdenas Yáñez, R., Molina Osejos, J. V., & Peralta Zurita, D. B. (2017). Implementación de una persiana para evitar el recalentamiento del motor de combustion interna en un Autobus AK. *Ingeniería Mecánica Innovación y Futuro*, 19.
19. Cerpa, L. M. (15 de Febrero de 2016). Diseño preliminar de un motor a pistón para un vehículo urbano empleado en la competencia Shell Eco-Marathon. *Ingenius*, 17(34), 61-75. Obtenido de <file:///C:/Users/Equipo/Downloads/Dialnet-DisenoDeUnaInterfazGraficaDeUsuarioParaElControlDe-5762969.pdf>
20. Chango Gutierrez, P. (2014). Análisis de los problemas de corrosión en la soldadura de los aceros inoxidables AISI 304L y 316L. Quito: Escuela Politecnica Nacional, Tesis.
21. Claudio de Castro, G. R. (6 de 12 de 2018). Estudio de colectores de admisión de un motor de combustión interna: Una nueva geometría basado en resultados experimentales y simulaciones numéricas. *Ciencia e Ingeniería del Progreso Térmico*, 1-5.
22. Dassault Systèmes . (11 de abril de 2019). SolidWorks. Obtenido de SolidWorks: <https://www.3ds.com/es/productos-y-servicios/solidworks/>
23. Dassault Systèmes SolidWorks Corporation. (2019). Solidworks.com. Obtenido de Solidworks.com: <https://www.solidworks.com/es>
24. Delgado , M., Sánchez , G., & Flores , O. (2015). Reciclaje de aluminio: oportunidades de desarrollo en Bogotá (Colombia). *Gestión y ambiente*, 135-152.
25. Diaz, D., Hurtado, J., Molina , P., & Valarezo, J. (25 de enero de 2014). Repositorio Universidad Politécnica Salesiana Cuenca. Obtenido de Repositorio Universidad Politécnica Salesiana Cuenca: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6277>
26. Echeverria, M., Nuñez , E., & Huerta, J. (11 de marzo de 2010). INDURA. Obtenido de INDURA: <http://www.indura.com.ec/Descargar/Manual%20de%20Aceros%20Inoxidables?path=%2Fcontent%2Fstorage%2Fec%2Fbiblioteca%2F76c04d6268cc493f8a071902e5baeb5.pdf>
27. Escuela Politécnica Superior Universidad Carlos III de Madrid. (14 de mayo de 2018). Formula UC3M. Obtenido de Formula UC3M: http://formulauc3m.com/formula_student/
28. Estruch, A. P. (2016). Vehículo de competición fórmula SAE: Diseño y optimización del chasis. Valencia: Universitat Politècnica de Valencia.
29. e-Tech Racing. (11 de febrero de 2019). FORMULA STUDENT. Obtenido de FORMULA STUDENT: <https://www.etechracing.es/formula-student/>
30. Fernando, L., & Tobar, J. (10 de febrero de 2011). Repositorio Universidad Politécnica Salesiana. Obtenido de Repositorio Universidad Politécnica Salesiana: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1151/16/UPS-CT001865.pdf>
31. Fygueroa, S., Araque , J., & Vil, C. (2017). Perfiles de Velocidad en el Cilindro de un Motor Alternativo. *Información tecnológica*, 73-78.
32. Gabriel de Paula, E. (2005). Formula SAE Suspension Design. SAE TECHNICAL XIV Congresso e Exposição Internacionais , 2-8.
33. García, J., Soriano , E., & García , L. (2015). Análisis Comparativo de Herramientas Informáticas CAD-CAM-CAE Utilizadas en Ingeniería Mecánica. XX Congreso Internacional de Ingeniería Mecánica, 3-6.

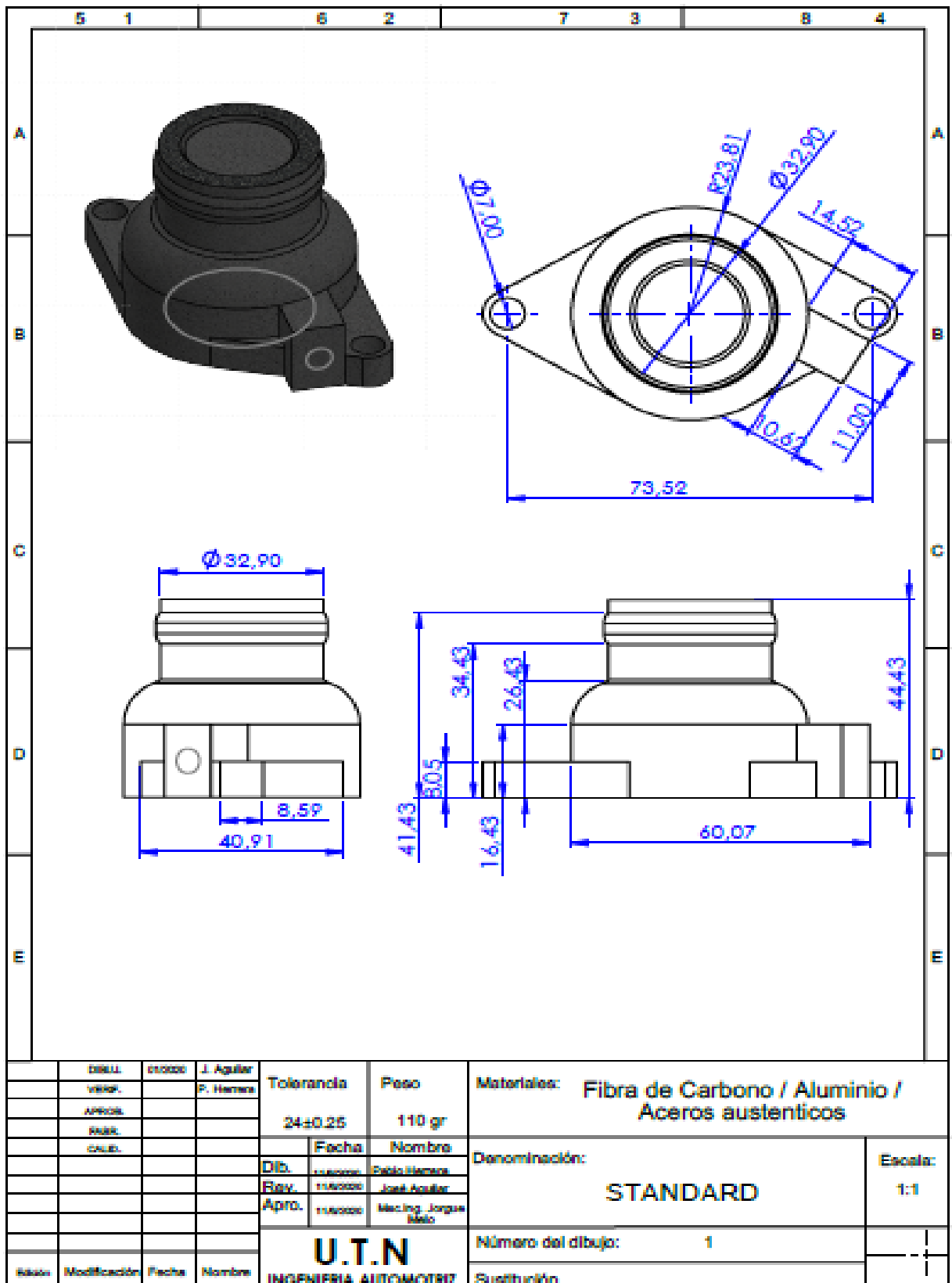
34. Garcia, P. M. (15 de mayo de 2015). Nuevo motor Audi 2.0 TFSi de ciclo Miller. Obtenido de Autopista.es: <https://www.autopista.es/tecnologia/articulo/nuevo-motor-Audi-TFSi-ciclo-miller-103732>
35. Garrido, M. j. (2016). El automovilismo deportivo en México. Sus primeros clubes. *Historia Crítica*, 105 - 123.
36. Geofumadas. (08 de marzo de 2009). Geofumadas. Obtenido de Geofumadas: <https://www.geofumadas.com/comparacin-entre-software-cad/>
37. Gismero, A. (22 de febrero de 2017). Repositorio Universidad Politécnica de Madrid. Obtenido de Repositorio Universidad Politécnica de Madrid: <http://oa.upm.es/45307/>
38. Gonzales Calleja, D. (2018). Elementos constructivos. En D. Gonzales Calleja, Motores (pág. 69). Madrid: Paraninfo.
39. Gonzales, D. (2011). Motores LOE. En D. Gonzales, Motores LOE (pág. 227). Madrid: araninfo.
40. Guismero, A. (22 de febrero de 2017). Repositorio Universidad Politécnica de Madrid. Obtenido de Repositorio Universidad Politécnica de Madrid: <http://oa.upm.es/45307/>
41. Gutierrez Avila, Y. (2013). GutEstudio de rugosidad en maquinado por el proceso de torneado en Climet Ltda basado en las normas ISO de rugosidad. Quito: Thesis.
42. Hernández, C. P. (2016). Selección de materiales y procesos de transformación en diseño de productos, un ejercicio de colaboración interdisciplinaria. *La Transdisciplina en el Arte y el Diseño*, 42-43.
43. Hinojosa , D., Piña, D., Erazo , G., & Salzar, F. (2014). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE INGRESO Y SALIDA DE GASES DEL MOTOR HONDA CBR600 F4i PARA EL PROTOTIPO FORMULA SAE 2014. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, 2-22.
44. Hinojosa, D., & Piña, D. (12 de abril de 2015). Repositorio Institucional de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Obtenido de Repositorio Institucional de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/9428/1/T-ESPEL-MAI-0511.pdf>
45. Horton, J. (08 de Mayo de 2018). La Institución de Ingenieros Mecánicos (IMechE). Obtenido de La Institución de Ingenieros Mecánicos (IMechE): <http://www.revistaingenieriaindustrial.com/2018/05/08/la-institution-of-mechanical-engineers/>
46. Jiménez, D., & Solorio, F. (2007). Campo de Flujo no Estacionario en un Modelo del Múltiple de Admisión de un Motor de Combustión Interna. *Información Tecnológica*, 19.
47. Lakshminarayanan, A. K., Shanmugam, K., & Balasubramanian, V. (2009). Effect of Welding Processes on Tensile and Impact Properties, Hardness and Microstructure of AISI 409M Ferritic Stainless Joints Fabricated by Duplex Stainless Steel Filler Metal. *Journal of iron and steel research*, 66-72.
48. Lazaro , D., Lazaro , M., Peco, J., & Alvear, D. (2018). Influencia del mallado en el modelado computacional de incendios en centrales nucleares. *Informes de la Construcción*, 549.
49. Lema , C., & Tobar, G. (2011). ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO TERMODINÁMICO DEL MOTOR Y PARÁMETROS FÍSICOS DE LOS COLECTORES DE ADMISIÓN Y ESCAPE EN EL MOTOR ESTÁNDAR. En C. Lema, & G. Tobar, DISEÑO DE LOS COLECTORES DE ADMISIÓN Y ESCAPE CON ANÁLISIS COMPARATIVO PARA UN MOTOR ESTÁNDAR G10 DE UN

- VEHÍCULO SUZUKI FORSA” (págs. 14 - 22). Cuenca: UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA.
50. Liu, C., Ferng, Y., & Shih, C. (2012). CFD evaluation of turbulence models for flow simulation of the fuel rod bundle with a spacer assembly. *Applied Thermal Engineering*, 389-396.
 51. Martínez, H. G. (2008). *Manual Práctico del Automóvil*. Madrid: MMVIII.
 52. Massy, G., & Pena, N. (2008). El Mallado Estructurado en MRTD. *Quantum Series*, 35.
 53. Mediavilla, J. J. (2016). Diseño y construcción de colectores de admisión de aire con tomas individuales para cada cilindro del motor de un vehículo Chevrolet corsa evolution. *INNOVA Research Journal*, 123-128.
 54. Mediavilla, J. J. (2016). *INNOVA Research Journal*. Diseño y construcción de colectores de admisión de aire con tomas individuales para cada cilindro del motor de un vehículo Chevrolet corsa evolution, 14.
 55. Mendoza Oliva, C., Vasquez, T., & Anderson, V. (2017). Efecto de la velocidad de avance y la profundidad de corte sobre la rugosidad, fuerza de corte y potencia específica de corte para el mecanizado del aluminio 6061-t6. Thesis.
 56. Monge Jingo, C. (2017). Modelo numérico de un canal de fuerte pendiente con rugosidad variable aplicando el software Ansys CFX y comparación con los resultados obtenidos en el paquete computacional OpenFOAM. Quito: Thesis.
 57. Moreta, B. (23 de julio de 2013). Con aporte ecuatoriano se construye un monoplaza. *Diario el Norte*, pág. 12.
 58. Otero Potosi, S. A. (2017). *Manual Básico Acerca del Automovil y su Motor*. Ibarra: IST 17 de Julio.
 59. Palos Zúñiga, A. C., Soria Aguilar, M., & Valtierra Gallardo, S. (2016). Aleaciones de aluminio A-319 T6 en la industria automotriz. *CienciaAcierta*, 1-5.
 60. Paredes-Dugarte, S., & Hidalgo-Prada, B. (2015). Comportamiento a la corrosión de los aceros grado API J-55, P-110 y N-80 en mediosalino con flujo de CO₂. *Revista INGENIERÍA UC*, 53.
 61. Pauta-Solano, J., & Sanchez Ramirez, M. (2014). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA CARROCERIA DE UN VEHICULO DE COMPETENCIA TIPO FORMULA SAE*. CUENCA: UPS.
 62. Perez, L. (20 de junio de 2016). 20 minutos. Obtenido de 20 minutos: <https://www.20minutos.es/noticia/2767682/0/monoplaza-espanol-formulae-cat09e/>
 63. Pérez, L. (20 de 06 de 2016). CATO9e, El coche español que competirá en la Formula Student. Obtenido de <https://www.20minutos.es/noticia/2767682/0/monoplaza-espanol-formulae-cat09e/>
 64. Picón Mejía, J. (12 de mayo de 2016). Repositorio Universidad Politécnica Salesiana. Obtenido de Repositorio Universidad Politécnica Salesiana: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12130/1/UPS-CT006050.pdf>
 65. Plaza, D. (14 de abril de 2016). motor.es. Obtenido de motor.es: <https://www.motor.es/formula-1/agarre-mecanico-y-aerodinamico-201627126.html>
 66. Pretexsa. (5 de agosto de 2016). Pretexsa.com. Obtenido de Pretexsa.com: <http://www.pretexsa.com/vV21xQvX.html>
 67. Quintero, P. (30 de junio de 2015). Repositorio de grado Universidad de Navarra. Obtenido de Repositorio de grado Universidad de Navarra: <https://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/19365/Memoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
 68. Quiroz, W. V. (2017). Diseño, análisis y construcción de un múltiple de admisión para un vehículo de competencia de.

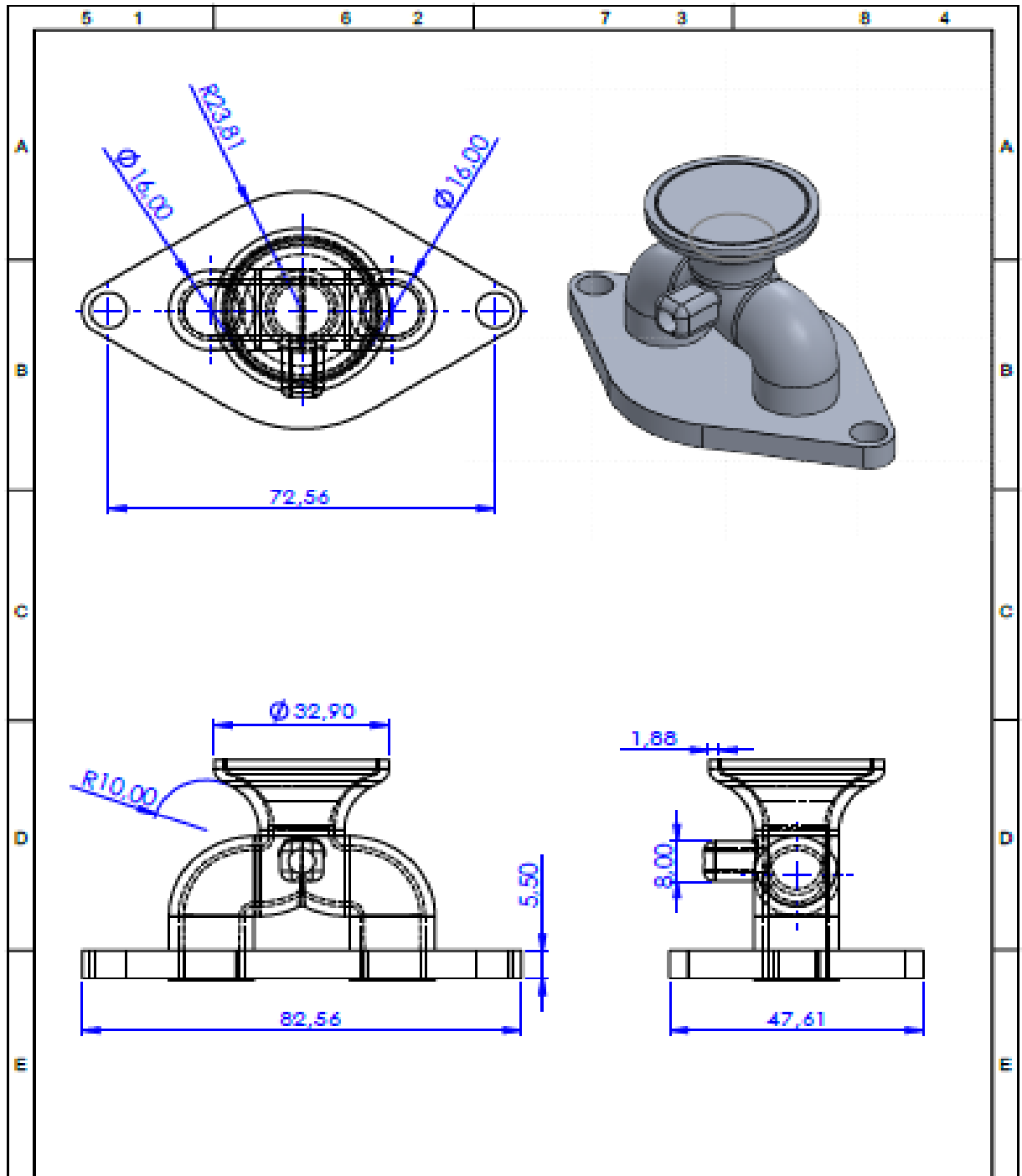
69. Rajesh Holkar, Y. N.-P. (Febrero de 2015). Numerical Simulation of Steady Flow through Engine Intake. Obtenido de <https://pdfs.semanticscholar.org/3752/e199aa6a12691608d3b974024df9b0fe60b0.pdf>
70. Ramos, D., Martínez, C., Santamaría, E., & López, V. (2020). Estructura Monocasco de plasticos Reforzados con Fibra de Carbono (CFRP) para Coches de Formula Student. DYNA Ingenieria e industrias, 18-22.
71. Rocha-Hoyos, J., & Caiza-Quishpe, L. A. (2018). Incidence of the use of extra gasoline and mixing to the 5% with anhydrous ethanol in the microfilters of the multipoint injectors. Enfoque UTE, 28-38.
72. Rodríguez Vidal, C. (03 de febrero de 2016). Análisis de Máquinas. Obtenido de Análisis de Máquinas: <http://analisismaquinas.blogspot.com/2016/02/yamaha-xt-600-e.html?m=1>
73. Rodriguez, A. (2014). ANÁLISIS TÉCNICO – FIBRA DE CARBONO. Brasil: AlbrodpulF1.
74. Rodríguez, O. F. (2007). Máquinas, Métodos y Control Dimensional del Procesamiento. Curso del Instituto de Actualización Empresarial (IAEA), 1.
75. Romero, J., & Queipo, N. (2017). Diseño óptimo basado en metamodelos de un pedal de freno tipo Fórmula SAE. . Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia, 11-15.
76. SAE, F. (11 de Junio de 2018). SAE International (Rules 2019). Obtenido de file:///C:/Users/Lisbeth%20Aguilar/Downloads/FSAE_Rules_2019_V1.pdf
77. Sánchez, Á. A. (2012). Optimización de los parámetros del proceso de plasma. Mexico: Corporación Mexicana de Investigación en Materiales.
78. Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2017). Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021. Toda una Vida. En S. N. Desarrollo, Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021. Toda una Vida (págs. 80 - 82). Quito: SENPLADES.
79. Shivdeep, D., & Gowreesh, S. (2019). Design and Analysis of an Intake Manifold in a Multi-Cylinder Engine Student Formula Car Using Solid Works and Ansys. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 1934.
80. Sistach, J. (10 de 11 de 2018). Fórmula student: la gran desconocida. Obtenido de Fórmula UC3M: <http://formulauc3m.com/articulos/formula-student-la-gran-desconocida/>
81. Sobrado, J., & Martín-Gago, J. (2010). La tecnología de vacío en la simulación espacial. Real Sociedad Española de Física, 4-11.
82. Somoano, P. (2017). ISB Sport Bearings. Obtenido de ISB Sport Bearings: <https://isbsport.com/vilanova-formula-team-formula-student-2017/>
83. Universitat Politècnica de Catalunya. (2019). UPC Ecoracing. Obtenido de UPC Ecoracing: <http://www.ecoracing.es/index.php/es/articulosinicio/487-eventos-estaticos-de-la-formula-student-la-ingenieria-del-diseno>
84. Valdés, J. (30 de abril de 2020). Espirituvintage. Obtenido de Espirituvintage: <https://espirituvintage.com/2020/04/30/sistema-de-admision/>
85. Yamaha Motor Co. (2000). Manual del propietario XT600E. Manuales Yamaha, 53.
86. Yolanda, M., & Morales, R. (2014). Caracterización de un motor de combustión interna con dos tipos de combutible. Instituto mexicano del transporte, 1-22. Obtenido de <file:///C:/Users/Toshiba/Downloads/articulo-motor.pdf>
87. Zúñiga, A. C. (2016). Aleaciones de aluminio A-319 T6 en la industria automotriz . Ciencia Cierta, 1-5.

ANEXOS

Anexos I Planos de diseño del colector de admisión estándar/original con vistas.

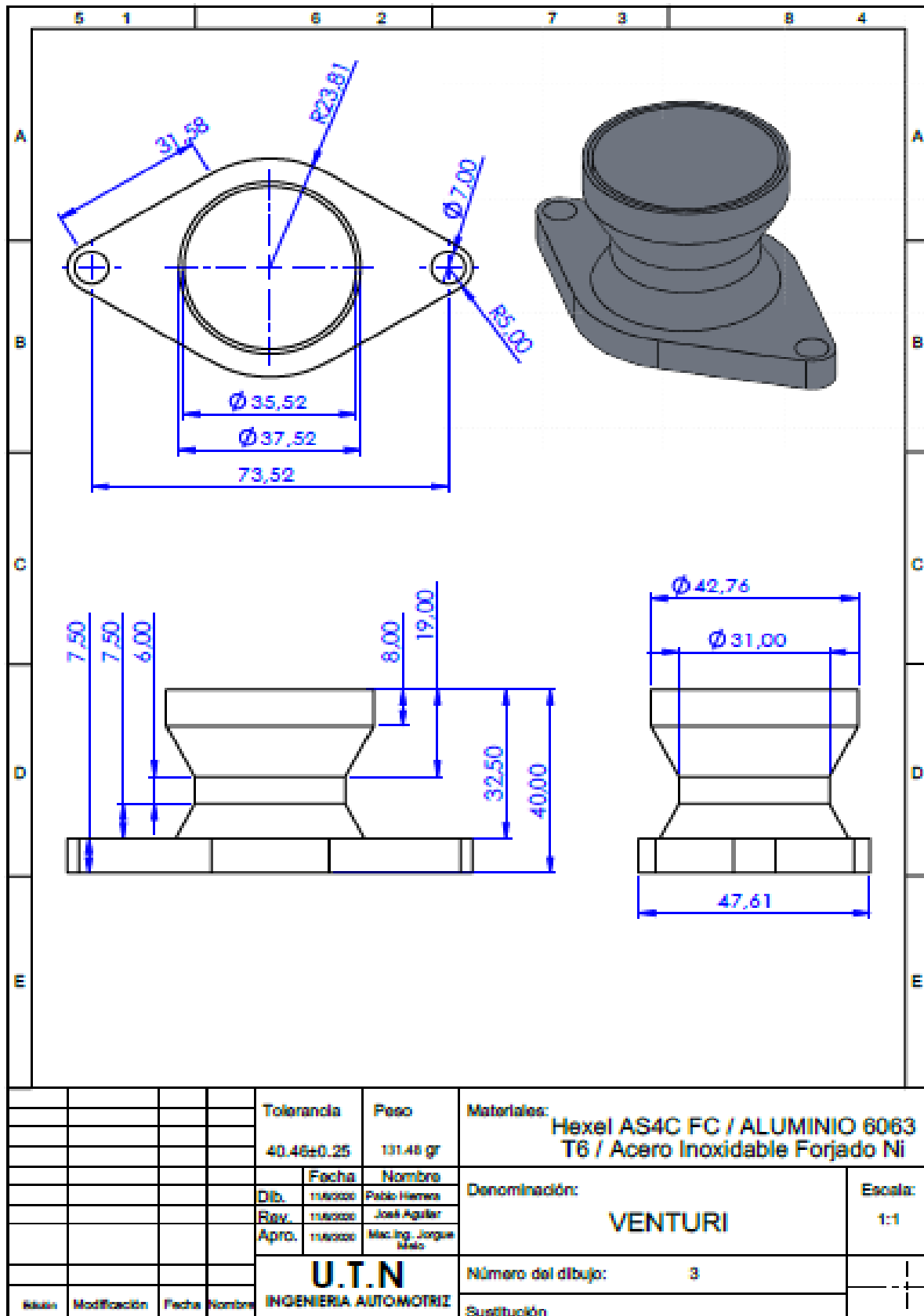


Anexos III Planos de diseño del colector de admisión doble tubo con vistas.

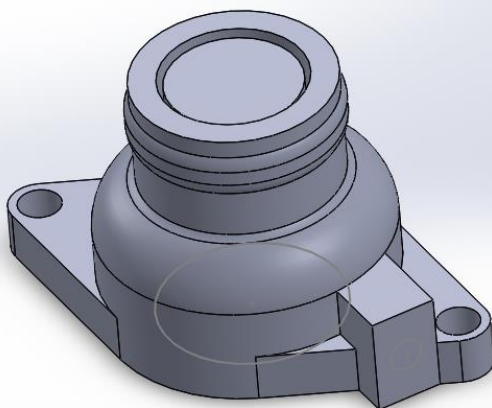
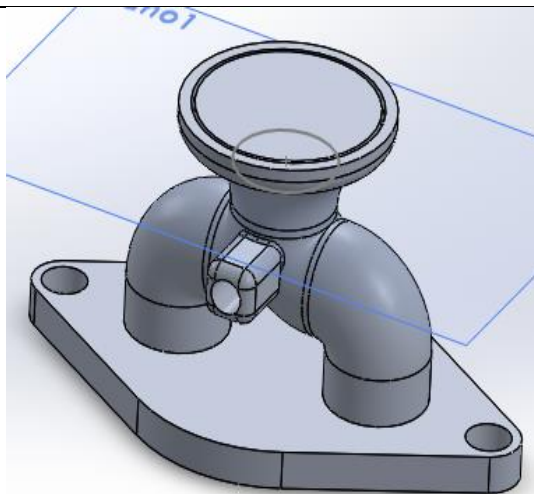
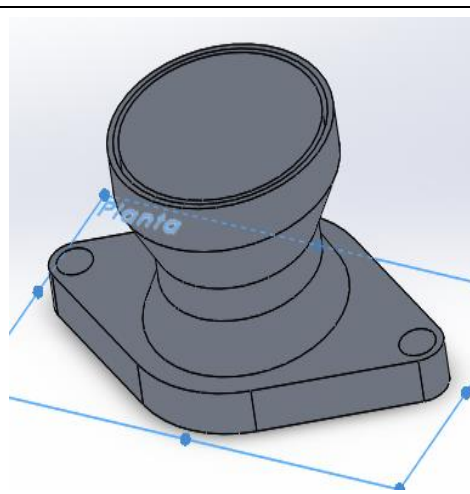


				Tolerancia	Peso	Materiales:	
				40.46±0.25	79.97 gr	Hexel AS4C FC / ALUMINIO 6063 T6 / Acero Inoxidable Forjado Ni	
				Fecha	Nombre	Denominación:	
				Dib. 11/02/00	Pablo Herrera	DOBLETUBO	
				Rev. 11/02/00	José Aguilera		
				Apro. 11/02/00	Msc. Ing. Jorge Maza		
				U.T.N INGENIERIA AUTOMOTRIZ		Número del dibujo:	2
Revisión	Modificación	Fecha	Nombre			Sustitución	

Anexos III Planos de diseño del colector de admisión de efecto Venturi con vistas.



Anexos IV Diseños de los colectores de admisión

COLECTOR DE ADMISIÓN DISEÑO ORIGINAL**PROPUESTAS DE DISEÑOS****COLECTOR DOBLE TUBO****COLECTOR VENTURI**

Anexos V Reporte de Datos

Domain Physics for CFX	
Domain - Default Domain	
Type	Fluid
Location	B55
Materials	
Air at 25 C	
Fluid Definition	Material Library
Morphology	Continuous Fluid
Settings	
Buoyancy Model	Non Buoyant
Domain Motion	Stationary
Reference Pressure	1.0000e+00 [atm]
Heat Transfer Model	Isothermal
Fluid Temperature	2.5000e+01 [C]
Turbulence Model	k epsilon
Turbulent Wall Functions	Scalable

Anexos VI Condiciones de contorno para la simulación

Boundary Physics for CFX		
Domain	Boundaries	
Default Domain	Boundary - inlet	
	Type	INLET
	Location	inlet
	Settings	
	Flow Direction	Normal to Boundary Condition
	Flow Regime	Subsonic
	Mass And Momentum	Total Pressure
	Relative Pressure	7.1770e+04 [Pa]
	Turbulence	Medium Intensity and Eddy Viscosity Ratio
	Boundary - outlet	
	Type	OUTLET
	Location	outlet
	Settings	
	Flow Regime	Subsonic
	Mass And Momentum	Mass Flow Rate
	Mass Flow Rate	5.0000e-02 [kg s ⁻¹]
	Boundary - Default Domain Default	
	Type	WALL
	Location	F10.55, F129.55, F130.55, F131.55, F132.55, F133.55, F135.55, F136.55, F137.55, F138.55, F139.55, F140.55, F141.55, F142.55, F15.55, F16.55, F17.55, F18.55, F19.55, F21.55, F4.55, F41.55, F42.55, F43.55, F44.55, F45.55, F46.55, F47.55, F48.55, F5.55, F53.55, F54.55, F6.55, F7.55, F8.55, F9.55

Anexos VII Proceso Práctico

PROTOTIPO FÓRMULA SAE

Retiro del prototipo *Formula SAE* del Estadio de la Universidad Técnica del Norte para las posteriores adaptaciones a realizarse.

IMPLEMENTACIÓN DE COMPONENTES

Para el montaje del motor, como punto de partida se colocaron unas platinas de acero de 2mm de espesor que fueron soldadas a la estructura del chasis y fijadas al motor mediante pernos como soporte.

		<p>Colocación de los colectores de admisión originales</p>
		<p>Adaptación de un eje rígido y diseño del estriado de las juntas homocinéticas para el acople y montaje de los demás accesorios de transmisión de movimiento del motor a las ruedas posteriores.</p>
		<p>Montaje de la catalina y cadena para transmitir el movimiento al eje de transmisión.</p>
		<p>Adaptación y montaje del mecanismo de embrague y aceleración con sus pedales respectivos.</p>



Montaje del depósito de combustible ubicado en la parte superior del motor para evitar el calentamiento del mismo.



Finalización del montaje del motor e implementación de componentes.

ENTREGA DEL PROTOTIPO DE *FÓRMULA SAE* PUESTO EN MARCHA

