



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**TEMA: ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS
CARACTERÍSTICOS DEL MOTOR DAEWOO SOHC DEL
VEHÍCULO CHEVROLET AVEO FAMILY 1.5 LT UTILIZANDO
MATERIALES TERMOPLÁSTICOS EN EL COLECTOR DE
ADMISIÓN.**

**AUTORES: CARLOS FERNANDO CALDERÓN SÁNCHEZ
JUAN CARLOS ORTIZ REYES**

DIRECTOR: ING. DANILO ZAMBRANO

LATACUNGA

2017



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL MOTOR DAEWOO SOHC DEL VEHÍCULO CHEVROLET AVEO FAMILY 1.5 LT UTILIZANDO MATERIALES TERMOPLÁSTICOS EN EL COLECTOR DE ADMISIÓN”** realizado por los señores **CARLOS FERNANDO CALDERÓN SÁNCHEZ Y JUAN CARLOS ORTIZ REYES**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores **CARLOS FERNANDO CALDERÓN SÁNCHEZ Y JUAN CARLOS ORTIZ REYES** para que lo sustenten públicamente.

Latacunga, Agosto



Ing. DANILO ZAMBRANO
DIRECTOR



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y

MECÁNICA

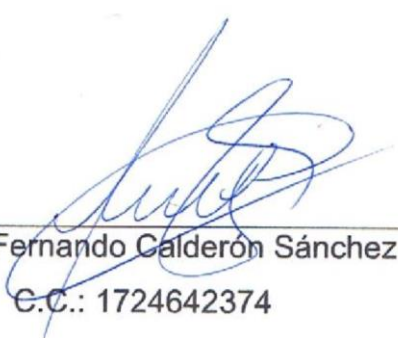
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **CARLOS FERNANDO CALDERÓN SÁNCHEZ**, con cédula de ciudadanía N° 1724642374, Y **JUAN CARLOS ORTIZ REYES**, con cédula de identidad N° 0502254907, declaramos que este trabajo de titulación **“ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL MOTOR DAEWOO SOHC DEL VEHÍCULO CHEVROLET AVEO FAMILY 1.5 LT UTILIZANDO MATERIALES TERMOPLÁSTICOS EN EL COLECTOR DE ADMISIÓN”** ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaramos que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, Agosto



Carlos Fernando Calderón Sánchez

C.C.: 1724642374



Juan Carlos Ortiz Reyes

C.C.: 0502254907



ESPE

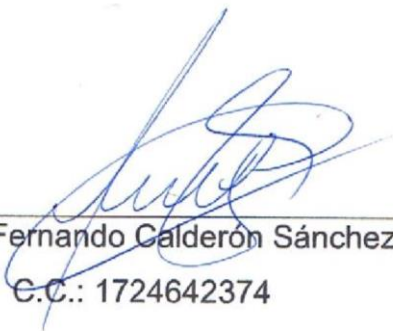
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**


AUTORIZACIÓN

Nosotros, **CARLOS FERNANDO CALDERÓN SÁNCHEZ Y JUAN CARLOS ORTIZ REYES**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación “**ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL MOTOR DAEWOO SOHC DEL VEHÍCULO CHEVROLET AVEO FAMILY 1.5 LT UTILIZANDO MATERIALES TERMOPLÁSTICOS EN EL COLECTOR DE ADMISIÓN**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Latacunga, Agosto



Carlos Fernando Calderón Sánchez
C.C.: 1724642374



Juan Carlos Ortiz Reyes
C.C.: 0502254907

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico principalmente a mi madre, Martha Sánchez, quien con mucho esfuerzo, sacrificio y sobretodo con amor me ha guiado, formado e inculcado valiosos valores, ella siempre ha estado ahí, dándome su confianza y apoyo incondicional, es un ejemplo de lucha y perseverancia y gracias a todo lo que ella ha hecho, he culminado esta importante etapa de mi vida.

A mis hermanos, a las mayores Marcia y Ana que siempre estuvieron apoyándome cuando lo necesitaba y no me abandonaron y los menores Kevin y Alejandra a los cuales les espero servir como ejemplo para que salgan adelante en sus estudios.

Al Señor Víctor Ramos que siempre me ha ayudado y apoyado desde pequeño y con orgullo puedo decir que ha sido un pilar muy importante para haber llegado a donde estoy.

A mi padre, Miguel Calderón, al cual me hubiera gustado mucho que me viera a donde he llegado.

Carlos Calderón

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico principalmente a Dios y a mis padres, Juan Alberto Ortiz Sánchez y Elvia Marlene Reyes Vallejo, quienes desde que nací, hasta el presente día, me brindaron con mucho esfuerzo y amor el apoyo fundamental para que en la vida sea un profesional competente.

A mis abuelitas, Raquel Vallejo y Laura Sánchez, que siempre han estado apoyándome en todas las etapas de mi vida.

A mi familia en general que de una u otra manera pusieron su granito de arena para que el presente trabajo sea realizado.

Juan Carlos Ortiz

AGRADECIMIENTO

A mi madre por todo el apoyo que siempre me brindo y me permitió alcanzar esta meta en mi vida.

A mis hermanos por ayudarme siempre cuando lo necesité y estar pendientes de mí.

Al Señor Víctor Ramos que me ha ayudado y apoyado en todo momento para avanzar en mis estudios.

A mis tíos y tías que pusieron su granito de arena cuando más lo necesitaba para poder culminar esta etapa de mi vida.

A los maestros que me brindaron sus conocimientos y amistad durante la carrera.

A mis amigos por su compañía, amistad y el tiempo que compartieron conmigo.

A mi compañero y amigo de tesis que con su apoyo y conocimientos pudimos salir delante de las dificultades que se nos presentaron para terminar nuestro proyecto.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L que ha sido mi segundo hogar y por permitirme salir de sus aulas siendo un profesional.

Carlos Calderón

AGRADECIMIENTO

A mi padre y a mi madre por todo el apoyo incondicional que siempre me han brindado, el cual me permitió culminar una etapa importante en mi vida.

A Dios, el cual siento que siempre me ha ayudado a llevar mi vida estudiantil de una manera correcta y tomar decisiones específicas en mi carrera.

A mi tía Cecilia Ortiz y familia, que siempre estuvo pendiente de mí, llegándome a considerar no solo un sobrino si no como su hijo menor.

A la familia que yo escogí, que son mis amigos, los cuales siempre estuvimos unidos por sobre todas las cosas.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L que ha sido mi segundo hogar y por permitirme salir de sus aulas siendo un profesional.

Juan Carlos Ortiz

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA	i
CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
AGRADECIMIENTO	viii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xvi
ÍNDICE DE TABLAS	xxiv
ÍNDICE DE ECUACIONES	xxvi
RESUMEN	xxviii
ABSTRACT	xxix

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Planteamiento del problema	2
1.3. Descripción resumida del proyecto	3
1.4. Justificación e importancia	4
1.5. Objetivos del proyecto.....	6
1.5.1. Objetivo general	6
1.5.2. Objetivos específicos	6
1.6. Metas	7
1.7. Hipótesis	7
1.8. Variables de la investigación.....	7
1.9. Operacionalización de variables	8
1.10. Metodología de la investigación	9

1.10.1.	Método deductivo.....	9
1.10.2.	Método inductivo.....	9
1.10.3.	Método analítico.....	9
1.10.4.	Método de síntesis.....	9
1.10.5.	Método experimental.....	10
1.10.6.	Método comparativo.....	10
1.10.7.	Método de observación directa.....	10
1.10.8.	Método de medición.....	10
1.10.9.	Método de matematización.....	11

CAPÍTULO II

	MARCO TEÓRICO	14
2.1.	Motor a combustión interna.....	14
2.1.1.	Principio termodinámico.....	15
2.1.2.	Ciclo real de funcionamiento.....	16
2.1.3.	Motor de cuatro tiempos.....	17
2.2.	Parámetros mecánicos y térmicos del MCI.....	18
2.2.1.	Torque o par motor.....	18
2.2.2.	Potencia del motor.....	20
2.2.3.	Consumo específico de combustible.....	23
2.3.	Rendimiento del motor de combustión interna.....	25
2.3.1.	Rendimiento mecánico.....	26
2.3.2.	Rendimiento efectivo.....	26
2.3.3.	Rendimiento indicado.....	27
2.4.	Materiales plásticos utilizados en la industria automotriz.....	27
2.4.1.	Policarbonato.....	28
2.4.2.	Acrílicos.....	29
2.4.3.	Polímeros.....	30
A.	Termoplásticos.....	32
B.	Termoestables.....	32
C.	Elastómeros.....	33
2.5.	Termoplástico ABS (Acrlonitrilo butadieno estireno).....	34

2.5.1.	Propiedades.....	36
2.5.2.	Aplicaciones.....	37
2.6.	Termoplástico PLA (Ácido poliláctico).....	37
2.6.1.	Características	39
2.6.2.	Propiedades mecánicas y térmicas.....	39
2.6.3.	Aplicaciones.....	40
2.7.	Termoplástico PET (Polietileno tereftalato).....	41
2.7.1.	Propiedades.....	41
2.7.2.	Aplicaciones.....	43
2.8.	Parámetros para el diseño de colectores de admisión.....	44
2.8.1.	Introducción.....	44
2.8.2.	Generalidades de la renovación de carga.....	45
2.8.3.	Proceso de admisión y escape de un motor de cuatro tiempos.	46
2.8.4.	Modelo matemático.....	48
2.8.5.	Tipo de fluido y de flujo en los múltiples.....	48
2.8.6.	Ecuaciones de transporte	51
2.8.7.	Conservación de la masa.....	52
2.8.8.	Conservación de la cantidad de movimiento.....	53
2.8.9.	Conservación de la energía	54
2.8.10.	Fricción	55
2.8.11.	Transferencia de calor	57
2.8.12.	Ecuaciones generalizadas	59
2.8.13.	Fuerza de ajuste en múltiples de admisión	61

CAPÍTULO III

MODELACIÓN Y SIMULACIÓN DEL MÚLTIPLE DE ADMISIÓN CON HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES. 63

3.1.	Modelado del múltiple de admisión.....	63
3.2.	Simulación de flujo de aire	65
3.2.1.	Extracción del volumen interno del múltiple.	65
3.2.2.	Simulación en el software NX 11.	67

3.2.3.	Mallado	69
3.2.4.	Asignación del flujo que circula dentro del múltiple.....	69
3.2.5.	Asignación de la entrada del fluido al múltiple.	70
3.2.6.	Asignación de la salida del fluido al múltiple hacia el motor	71
3.2.7.	Resolución de la simulación.....	72
3.2.8.	Generación de vistas de la circulación del fluido.....	73
3.3.	Análisis estructural	75
3.3.1.	Análisis del ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno).....	75
3.3.2.	Análisis del PET (Polietileno Tereftalato)	91
A.	Pruebas virtuales del múltiple de admisión con el material PET y a 804 rpm.	91
B.	Pruebas virtuales del múltiple de admisión con el material PET a 3033 rpm	93
3.3.3.	Análisis del PLA (Ácido Poliláctico).....	94

CAPÍTULO IV

	PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	99
4.1.	Mantenimiento del vehículo previo a las pruebas.	99
4.1.1.	Filtro de aire	99
4.1.2.	Filtro de combustible	100
4.1.3.	Bujías y cables de bujías	101
4.1.4.	Inyectores	102
4.2.	Equipos y software utilizados para las pruebas.	102
4.2.1.	Dinamómetro.....	102
4.2.2.	Características del dinamómetro.....	103
4.2.3.	Elementos del dinamómetro de rodillos	103
4.2.4.	Software del dinamómetro	104
4.3.	Analizador de gases.....	105
4.4.	Medidor de consumo de combustible.....	106
4.4.1.	Herramientas de análisis del medidor de consumo de combustible.....	107
4.4.2.	Características del medidor de consumo de combustible	108

4.4.3.	Compatibilidad	108
4.5.	Pruebas del vehículo Chevrolet con el múltiple estándar.....	109
4.5.1.	Características de fábrica del vehículo Chevrolet Aveo Family 1.5 lt.....	109
4.5.2.	Consideraciones de seguridad y ubicación del vehículo antes de realizar las pruebas de torque y potencia.....	109
4.5.3.	Prueba del torque y potencia.	110
4.6.	Pruebas del vehículo Chevrolet con el múltiple ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno).....	132
4.6.1.	Desmontaje del múltiple estándar del vehículo Chevrolet Aveo Family 1.5 lt.....	132
4.6.2.	Montaje del múltiple ABS en el vehículo Chevrolet Aveo Family 1.5 lt.....	135
4.6.3.	Consideraciones de seguridad y ubicación del vehículo antes de realizar las pruebas de torque y potencia.....	137
4.6.4.	Prueba de torque y potencia.	137
4.7.	Pruebas del vehículo Chevrolet con el múltiple PLA (Ácido Poliláctico).....	142
4.7.1.	Consideraciones de seguridad y ubicación del vehículo antes de realizar las pruebas de torque y potencia.....	144
4.7.2.	Prueba de torque y potencia con el múltiple PLA.....	144
4.8.	Pruebas del vehículo Chevrolet con el múltiple PET (Polietileno Tereftalato).....	148
4.8.1.	Consideraciones de seguridad y ubicación del vehículo antes de realizar las pruebas de torque y potencia.....	150
4.8.2.	Prueba de torque y potencia con el múltiple PET.	150
4.9.	Cálculos de los rendimientos de motor de combustión interna.	152
4.10.	Medición de rugosidades.	155
4.10.1.	Medición de la rugosidad de los materiales termoplásticos.....	156
4.11.	Análisis de resultados.	157

4.11.1.	Simulación CFD	157
4.11.2.	Análisis estructural	158
4.11.3.	Rugosidades	160
4.11.4.	Potencia	161
4.11.5.	Torque.....	164
4.11.6.	Rendimientos del motor de combustión interna	165
4.11.7.	Consumo de combustible.....	167
4.11.8.	Emisiones contaminantes	168

CAPÍTULO V

	MARCO ADMINISTRATIVO.....	172
5.1.	Recursos.....	172
5.1.1.	Recursos institucionales.	172
5.1.2.	Recursos humanos.	172
5.1.3.	Recursos materiales.	173
5.1.4.	Recursos tecnológicos.	173
5.2.	Presupuesto de la investigación.....	174
5.2.1.	Presupuesto de los recursos materiales.	174
5.2.2.	Presupuesto de los recursos materiales.	175
5.2.3.	Presupuesto total	175
5.3.	Cronograma de actividades.	176

CAPÍTULO VI

	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	177
6.1.	Conclusiones.....	177
6.2.	Recomendaciones	179
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	181
	ANEXOS	187

- ANEXO A. NTE INEN 2204:2002, Gestión ambiental. aire. vehículos automotores. límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de gasolina.
- ANEXO B. INEN 017:2008, Control de emisiones contaminantes de fuentes móviles terrestres.
- ANEXO C. NTE INEN 2203:2000, Gestión ambiental. aire. vehículos automotores. determinación de la concentración de emisiones de escape en condiciones de marcha mínima o "ralenti". prueba estática.
- ANEXO D. Plano del múltiple de admisión
- ANEXO E. Propiedades físicas y mecánicas de los materiales termoplásticos abs, pla y pet.
- ANEXO F. Rugosidad del aluminio

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Análisis del problema.....	2
Figura 2.	Motor a combustión interna.	14
Figura 3.	Ciclo termodinámico	15
Figura 4.	Diagrama presión-volumen de un motor Otto.	16
Figura 5.	Diagrama presión-volumen del ciclo ideal y ciclo real sobrepuesto.	17
Figura 6.	Esquema del funcionamiento del motor a cuatro tiempos	18
Figura 7.	Representación par motor	19
Figura 8.	Curva del par motor y potencia.....	20
Figura 9.	Curva de potencia.....	23
Figura 10.	Curva específica de combustible de un motor de combustión interna.....	24
Figura 11.	Aplicaciones de las materias plásticas.....	28
Figura 14.	Resistencia al impacto.	29
Figura 15.	Comparación de tres categorías de polímeros.	31
Figura 16.	Modelo estructural de un termoestable.....	33
Figura 17.	Modelo estructural de un elastómero.....	34
Figura 18.	Estructura de ABS.	35
Figura 19.	Diagrama triangular de la composición del ABS.	36
Figura 20.	PLA granulado.....	38
Figura 21.	Proceso de obtención del PLA.....	38
Figura 22.	Filamentos del PLA.....	38
Figura 23.	Diagrama de Distribución.....	47
Figura 24.	Movimientos de ondas de presión y expansión en la admisión y escape.	48
Figura 25.	Volumen de control.....	51
Figura 26.	Parámetros de las ecuaciones de conservación.....	60
Figura 27.	Vista frontal del múltiple de admisión.....	63
Figura 28.	Vista inferior del múltiple de admisión.....	64

Figura 29.	Vista posterior del múltiple de admisión.....	64
Figura 30.	Vista estándar del múltiple de admisión.....	65
Figura 31.	Ansys – SpaceClaim, extracción del volumen.	65
Figura 32.	Generación del nuevo componente.	66
Figura 33.	Guardado como una extensión .stp	66
Figura 34.	Selección del archivo con extensión .stp	67
Figura 35.	Selección de Procesamiento/postprocesamiento	68
Figura 36.	Cambio de parámetros en ‘Solver’ y ‘Tipo de análisis’	68
Figura 37.	Generación del mallado.	69
Figura 38.	Asignación del material 1.	70
Figura 39.	Asignación del material 2.	70
Figura 40.	Condiciones de la simulación.....	71
Figura 41.	Condiciones de entrada de la simulación.	71
Figura 42.	Condiciones de salida de la simulación.	72
Figura 43.	Resolución del mallado.	72
Figura 44.	Resolución del fluido.....	73
Figura 45.	Representación del fluido.	73
Figura 46.	Vista estándar de la representación del fluido.	74
Figura 47.	Vista estándar de las líneas de flujo del aire.....	74
Figura 48.	Vista de la animación del flujo de aire.....	74
Figura 49.	Sólido importado.	76
Figura 50.	Verificación y vinculación de la pieza.....	76
Figura 51.	Creación de cuadro de datos técnicos del material.	77
Figura 52.	Creación del nuevo material.	77
Figura 53.	Cuadro de Propiedades editado.	78
Figura 54.	Conexión de nuevos datos en el recuadro térmico.	79
Figura 55.	Cambio de material del sólido.....	79
Figura 56.	Mallado y dimensionamiento.....	80
Figura 57.	Generación de la malla.	80
Figura 58.	Condiciones térmicas iniciales.	81
Figura 59.	Condiciones térmicas de análisis 1.....	81
Figura 60.	Condiciones térmicas de análisis 2.....	82

Figura 61.	Solución del calor total.....	82
Figura 62.	Representación del estudio térmico.....	83
Figura 63.	Generación del estado estructural.....	83
Figura 64.	Importación de datos térmicos.....	84
Figura 65.	Selección de la presión para la simulación.....	84
Figura 66.	Selección y aplicación de superficies.....	85
Figura 67.	Medición de presión a 804 rpm.....	85
Figura 68.	Resolución de la simulación.....	86
Figura 69.	Selección de diversas visualizaciones.....	86
Figura 70.	Representación de deformación del múltiple ABS a 804 rpm.....	87
Figura 71.	Representación de la tensión del múltiple ABS a 804 rpm.....	88
Figura 72.	Representación del factor de seguridad del múltiple ABS a 804 rpm.....	88
Figura 73.	Medición de presión a 3033 rpm.....	89
Figura 74.	Representación de deformación del múltiple ABS a 3033 rpm.....	89
Figura 75.	Representación de la tensión del múltiple ABS a 3033 rpm.....	90
Figura 76.	Representación del factor de seguridad del múltiple ABS a 3033 rpm.....	90
Figura 77.	Representación de deformación del múltiple PET a 804 rpm.....	91
Figura 78.	Representación de la tensión del múltiple PET a 804 rpm.....	92
Figura 79.	Representación del factor de seguridad del múltiple PET a 804 rpm.....	92
Figura 80.	Representación de deformación del múltiple PET a 3033 rpm.....	93
Figura 81.	Representación de la tensión del múltiple PET a 3033 rpm.....	93

Figura 82.	Representación del factor de seguridad del múltiple PET a 3033 rpm.....	94
Figura 83.	Representación de deformación del múltiple PLA a 804 rpm.....	95
Figura 84.	Representación de la tensión del múltiple PLA a 804 rpm.....	95
Figura 85.	Representación del factor de seguridad del múltiple PLA a 804 rpm.	96
Figura 86.	Representación de deformación del múltiple PLA a 3033 rpm.....	96
Figura 87.	Representación de la tensión del múltiple PLA a 3033 rpm.....	97
Figura 88.	Representación del factor de seguridad del múltiple PLA a 3033 rpm.	97
Figura 89.	Chevrolet Aveo Family 1.5 lt	99
Figura 90.	Filtro de aire viejo.....	100
Figura 91.	Filtro de aire nuevo	100
Figura 92.	Filtros de combustible viejo y nuevo	100
Figura 93.	Cambio del filtro de combustible	101
Figura 94.	Cables y bujías viejos	101
Figura 95.	Bujías y cables nuevos	101
Figura 96.	Banco Dinamométrico.....	103
Figura 97.	Elementos del banco Dinamométrico.	103
Figura 98.	Software del dinamómetro.	105
Figura 99.	Analizador de gases CARTEK.....	105
Figura 100.	Recorrido de los gases de escape en el equipo de medición	106
Figura 101.	Interfaz OBDwiz	107
Figura 102.	OBDLink SX.....	107
Figura 103.	Configuración del banco de pruebas.	110
Figura 104.	Creación de nuevo cliente.	111
Figura 105.	Calibración de inicio y corte de las pruebas.....	111

Figura 106.	Calibración de la relación entre rueda y rodillo.	112
Figura 107.	Datos del ambiente.....	112
Figura 108.	Verificación de relación rueda/rodillo.	113
Figura 109.	Conducción del vehículo en el dinamómetro.	113
Figura 110.	Torque y potencia con el múltiple estándar.	114
Figura 111.	Datos de torque y potencia digital con el múltiple estándar.....	114
Figura 112.	Vehículo para pruebas estáticas de emisiones.....	116
Figura 113.	Gas de calibración	117
Figura 114.	Ajuste del gas a 12 psi.....	117
Figura 115.	Conexión a la toma de calibración.....	118
Figura 116.	Selección de la calibración.	118
Figura 117.	Inicio de la calibración.....	118
Figura 118.	Calibración en proceso.	119
Figura 119.	Auto-cero en proceso.....	119
Figura 120.	Fin de la calibración de baja.	119
Figura 121.	Sección de la opción de fugas.	120
Figura 122.	Inicio de la prueba de fugas.....	120
Figura 123.	Punta de la sonda tapada.....	120
Figura 124.	Verificación del banco de pruebas.....	121
Figura 125.	Prueba de fugas en proceso.....	121
Figura 126.	Fin de la prueba de fugas	121
Figura 127.	Calibración y fugas aprobadas.....	121
Figura 128.	Conexión del módulo de rpm la batería	122
Figura 129.	Selección de Test para la prueba de gases.....	123
Figura 130.	Verificación con las rpm del vehículo.....	123
Figura 131.	Datos del vehículo y del propietario.....	124
Figura 132.	Verificación y estado del vehículo.....	124
Figura 133.	Auto-cero del banco.....	125
Figura 134.	Inicio de prueba	125
Figura 135.	Mensaje para insertar la sonda.....	125
Figura 136.	Sonda introducida en el escape.....	125

Figura 137.	Prueba de ralentí en proceso.....	126
Figura 138.	Prueba de ralentí finalizada.	126
Figura 139.	Prueba crucero en proceso.....	126
Figura 140.	Prueba crucero finalizada.	126
Figura 141.	Guardado de los resultados.....	127
Figura 142.	Informe de gases con el múltiple estándar.	127
Figura 143.	Conexión OBD-II y puerto USB.....	129
Figura 144.	Conexión del vehículo con la PC.	129
Figura 145.	Configuraciones del tipo combustible.	130
Figura 146.	Indicadores del software.	130
Figura 147.	Consumo de combustible.	131
Figura 148.	Salida y desconexión del interfaz.....	131
Figura 149.	Conducto entre el depurador y el cuerpo de aceleración.	132
Figura 150.	Ubicación del sensor MAP y sujetador del cable de aceleración.	132
Figura 151.	Cuerpo de aceleración.....	133
Figura 152.	Desconexión de inyectores.....	133
Figura 153.	Aflojado de los pernos del riel de combustible.....	133
Figura 154.	Mangueras de vacío.	134
Figura 155.	Desmontaje de los pernos de la base del múltiple.....	134
Figura 156.	Ubicación del múltiple libre.	134
Figura 157.	Montaje del múltiple ABS.....	136
Figura 158.	Múltiple ABS armado.	136
Figura 159.	Conducción del vehículo en el dinamómetro.	137
Figura 160.	Torque y potencia con el múltiple ABS.	138
Figura 161.	Datos de torque y potencia digital con el múltiple ABS.....	138
Figura 162.	Informe de gases con el múltiple ABS.	141
Figura 163.	Consumo de combustible con el múltiple ABS.....	141
Figura 164/	Múltiple PLA para el montaje.	143
Figura 165.	Armando el múltiple de material PLA.....	143
Figura 166.	Conducción del vehículo en el dinamómetro.	144

Figura 167.	Torque y potencia con el múltiple PLA.....	145
Figura 168.	Datos de torque y potencia digital con el múltiple PLA.	145
Figura 169.	Consumo de combustible con el múltiple PLA.	147
Figura 170.	Múltiple PLA instalado.	148
Figura 171.	Deformación del múltiple PLA en los cilindros dos y tres.....	148
Figura 172.	Montaje del múltiple PET.	149
Figura 173.	Múltiple PET armado.	150
Figura 174.	Conducción del vehículo en el dinamómetro.	151
Figura 175.	Múltiple PET armado.	151
Figura 176.	Deformación del múltiple PET en los cilindros dos y tres.....	152
Figura 177.	Superficie y punta palpadora en contacto.....	155
Figura 178.	Rugosímetro y pieza a medir bien fijadas.....	156
Figura 179.	Rugosidad del PET.....	156
Figura 180.	Rugosidad del PLA.....	157
Figura 181.	Rugosidad del ABS.....	157
Figura 182.	Comparación de la deformación máxima a 804 rpm.....	158
Figura 183.	Comparación de la deformación máxima a 3033 rpm.....	158
Figura 184.	Comparación de la tensión máxima a 804 rpm.....	159
Figura 185.	Comparación de la tensión máxima a 3033 rpm.....	159
Figura 186.	Comparación del factor de seguridad a 804 y 3033 rpm.....	160
Figura 187.	Comparación de las rugosidades.....	161
Figura 188.	Comparación de potencia estándar vs ABS.....	162
Figura 189.	Comparación de potencia estándar vs PLA.....	162
Figura 190.	Comparación de las potencias del motor.....	163
Figura 191.	Comparación de torque estándar vs ABS.....	164
Figura 192.	Comparación de torque estándar vs PLA.....	164
Figura 193.	Comparación de los torques del motor.....	165
Figura 194.	Comparación del rendimiento térmico.....	166

Figura 195	Comparación del rendimiento mecánico.....	167
Figura 196.	Comparación del rendimiento indicado.....	167
Figura 197.	Comparación del consumo de combustible	168
Figura 198.	Valores máximos permitidos por la norma NTE INEN 2 204:2002.	169
Figura 199.	Comparación de las emisiones a ralentí.....	169
Figura 200.	Comparación de las emisiones a aceleración crucero (2000 rpm a 2750 rpm).	170

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Operacionalización de la variable independiente.....	8
Tabla 2.	Operacionalización de la variable dependiente	8
Tabla 3.	Metodología de la investigación.....	11
Tabla 4.	Propiedades del ABS (Acrilonitrilo butadieno estireno).....	37
Tabla 5.	Propiedades mecánicas y térmicas del PLA (Ácido poliláctico).....	39
Tabla 6.	Propiedades del PET (Polietileno tereftalato).	43
Tabla 7.	Tabulación de las velocidades del aire dentro del múltiple.	75
Tabla 8.	Propiedades del termoplástico ABS.....	78
Tabla 9.	Propiedades termoplástico PET.....	91
Tabla 10.	Propiedades del termoplástico PLA	94
Tabla 11.	Características del dinamómetro de rodillos.	103
Tabla 12.	Características del vehículo.....	109
Tabla 13.	Datos obtenidos prueba estándar	116
Tabla 14.	Datos obtenidos prueba con ABS.....	140
Tabla 15.	Datos obtenidos de la prueba con PLA.....	147
Tabla 16.	Velocidades del flujo de aire dentro del múltiple.....	157
Tabla 17.	Rugosidades de los distintos materiales.....	160
Tabla 18.	Potencia obtenida de los diferentes múltiples.....	163
Tabla 19.	Torque obtenido de los diferentes múltiples.	165
Tabla 20.	Consumo de combustible obtenido de los diferentes múltiples.....	166
Tabla 21.	Consumo de combustible obtenido de los diferentes múltiples.....	167
Tabla 22.	Emisiones obtenidas de los diferentes múltiples a ralentí (800 rpm).	169
Tabla 23.	Emisiones obtenidas de los diferentes múltiples a aceleración cruce (2000 rpm a 2750 rpm).	169
Tabla 24.	Recursos institucionales.	172

Tabla 25.	Recursos humanos.....	173
Tabla 26.	Recursos materiales.....	173
Tabla 27.	Recursos tecnológicos.....	174
Tabla 28.	Presupuesto de los recursos materiales.....	174
Tabla 29.	Presupuesto de los recursos materiales.....	175
Tabla 30.	Presupuesto total del proyecto.....	175

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.	Par motor	19
Ecuación 2.	Ecuaciones de potencia efectiva del motor	21
Ecuación 3.	Ecuaciones de presión media efectiva	21
Ecuación 4.	Potencia del motor	22
Ecuación 5.	Potencia del motor en cualquier régimen	22
Ecuación 6.	Consumo específico de combustible	23
Ecuación 7.	Rendimiento teórico térmico	25
Ecuación 8.	Rendimiento mecánico.	26
Ecuación 9.	Rendimiento mecánico en función de las potencias.	26
Ecuación 10.	Rendimiento efectivo.	26
Ecuación 11.	Rendimiento indicado.	27
Ecuación 12.	Potencia en función de la masa de aire admitida	45
Ecuación 13.	Potencia en función del rendimiento volumétrico	46
Ecuación 14.	Ecuación de estado del aire	49
Ecuación 15.	Energía Interna en función de la temperatura	49
Ecuación 16.	Energía interna en función lineal de la temperatura	49
Ecuación 17.	Esfuerzo viscoso.....	50
Ecuación 18.	Coeficiente de viscosidad	50
Ecuación 19.	Serie de Taylor	52
Ecuación 20.	Conservación de la masa	52
Ecuación 21.	Conservación de la masa a volumen constante	52
Ecuación 22.	Conservación de la cantidad de movimiento	53
Ecuación 23.	Conservación de la cantidad de movimiento	53
Ecuación 24.	Cambio de energía cinética e interna del fluido en el volumen	54
Ecuación 25.	Relación entre entalpía y energía	54
Ecuación 26.	Conservación de la energía	55
Ecuación 27.	Esfuerzo viscoso en función de un factor de fricción	55
Ecuación 28.	Factor de fricción en régimen turbulento	55
Ecuación 29.	Factor de fricción en régimen laminar.....	55

Ecuación 30.	Número de Reynolds	56
Ecuación 31.	Factor de fricción citado por Winterbone y Pearson (2000)	56
Ecuación 32.	Factor de fricción aplicando factores de corrección mencionados	56
Ecuación 33.	Calor transferido por convección	57
Ecuación 34.	Coeficiente convectivo relacionado con el factor de fricción	57
Ecuación 35.	Coeficiente convectivo en función del número de Prandtl	58
Ecuación 36.	Número de Nusselt	58
Ecuación 37.	Número de Nusselt según Meisner y Sorenson	58
Ecuación 38.	Número de Nusselt según Depcik y Assnis	59
Ecuación 39.	Numero de Nusselt en función de la tasa de cambio de velocidad	59
Ecuación 40.	Conservación de la masa a volumen constante generalizada	59
Ecuación 41.	Conservación de la cantidad de movimiento generalizada	60
Ecuación 42.	Conservación de la energía generalizada	60
Ecuación 43.	Agrupación del sistema de ecuaciones	60
Ecuación 44.	Ecuaciones de diferencial parcial	61
Ecuación 45.	Fuerza máxima permisible requerida por el material	61
Ecuación 46.	Momento máximo de ajuste	62

RESUMEN

La presente investigación se basa en la modelación en un Software CAD e impresión en una impresora 3D del múltiple de admisión en tres diferentes materiales termoplásticos ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno), PLA (Ácido Poliláctico) y PET (Polietileno Tereftalato) para el motor DAEWOO SOHC del vehículo Chevrolet Aveo Family 1.5 lt. Se implementa cada uno de los múltiples y se hacen pruebas de torque, potencia, consumo de combustible y emisiones de gases bajo las mismas condiciones para cada tipo de colector de admisión, se tabulan los datos obtenidos para generar un registro de las variaciones de los parámetros característicos del motor DAEWOO SOHC en función de los tres diferentes materiales y se determina qué material ayuda a mejorar las características del motor, dicha investigación se desarrolla en el laboratorio de Motores de Combustión Interna de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga.

PALABRAS CLAVE:

- **AUTÓMÓVILES - MULTIPLE DE ADMISIÓN - FABRICACIÓN**
- **MOTOR DAEWOO SOHC**
- **CHEVROLET AVEO FAMILY**
- **AUTOMÓVILES - MOTORES**

ABSTRACT

This research is based on modeling in a CAD and printing software on a 3D printer intake manifold in three different ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene), PLA (polylactic acid) and PET thermoplastic materials (polyethylene terephthalate) for motor DAEWOO SOHC Of the vehicle Chevrolet Aveo Family 1.5 lt. Each of the manifolds is implemented and tests of torque, power, fuel consumption and gas emissions under the same conditions for each type of intake manifold are tabulated, the data obtained are tabulated to generate a record of the variations of the parameters Characteristic of the DAEWOO SOHC engine according to the three different materials and determines which material helps to improve the characteristics of the engine, this research is developed in the Laboratory of Internal Combustion Engines of the University of the Armed Forces ESPE Extension Latacunga.

KEYWORDS:

- **AUTOMOBILE - MULTIPLE ADMISSION - MANUFACTURE**
- **DAEWOO SOHC ENGINE**
- **CHEVROLET AVEO FAMILY**
- **AUTOMOBILE - ENGINES**

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Las innovaciones en materias primas están revolucionando aplicaciones en la industria de fabricación de automóviles, debido a las ventajas de reducción de peso y flexibilidad en diseño, incita a que diferentes fabricantes de la industria automotriz los implementen en ciertos componentes. (Micheli, 1994)

La reducción del peso y del consumo de combustible, así como la disminución de las emisiones nocivas al medio ambiente son las cartas que juegan a favor de las aplicaciones plásticas en comparación con otras familias de materiales. La integración de los materiales plásticos en las cadenas de producción de automóviles es hoy en día sinónimo de innovación y una garantía de eficiencia para el usuario final del automóvil. (Ellegren, Tiravanti, Ortiz, & Otero, 2012)

En los últimos años, el crecimiento del parque automotor es uno de los principales factores que inciden directamente con el calentamiento global, debido a estos factores los vehículos en la actualidad vienen incorporando diversos tipos de colectores de admisión con material termoplástico, para reducir la rugosidad en los vehículos, optimizando el consumo de combustible, aumentando la eficiencia térmica del motor de combustión interna que deriva en la disminución de emisiones contaminantes de los gases de escape. (Peñafiel & Zavala, 2017)

Según Héctor Touzet dice que: “El contenido de plástico de un coche de pasajeros típico es 8% del peso del vehículo. Las variaciones regionales se pueden ver en el uso de plástico, donde Europa lleva una tasa tan alta como 11% del peso del vehículo. Los plásticos del interior del vehículo ocupan el 48%, los plásticos exteriores representan alrededor del 27% y los plásticos bajo el capó alrededor del 14% de total de plásticos. Materiales eléctricos y cables ocupan el 11% restante. Los componentes bajo el capó

ofrecen buenos márgenes y alto potencial de penetración, sobre todo en Asia y América Latina. En los mercados maduros, como Norteamérica y Europa, los plásticos están encontrando nuevos caminos en aplicaciones interiores y exteriores". (Touzet, 2012)

En el ámbito legal del Ecuador se dispone de normas que regulan las emisiones permitidas por los vehículos, como:

NTE INEN 2204:2002, GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE. VEHÍCULOS AUTOMOTORES. LÍMITES PERMITIDOS DE EMISIONES PRODUCIDAS POR FUENTES MÓVILES TERRESTRES DE GASOLINA. Ver anexo A.

INEN 017:2008, CONTROL DE EMISIONES CONTAMINANTES DE FUENTES MÓVILES TERRESTRES. Ver anexo B.

NTE INEN 2203:2000, GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE. VEHÍCULOS AUTOMOTORES. DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE EMISIONES DE ESCAPE EN CONDICIONES DE MARCHA MÍNIMA O "RALENTI". PRUEBA ESTÁTICA. Ver anexo C.

1.2. Planteamiento del problema

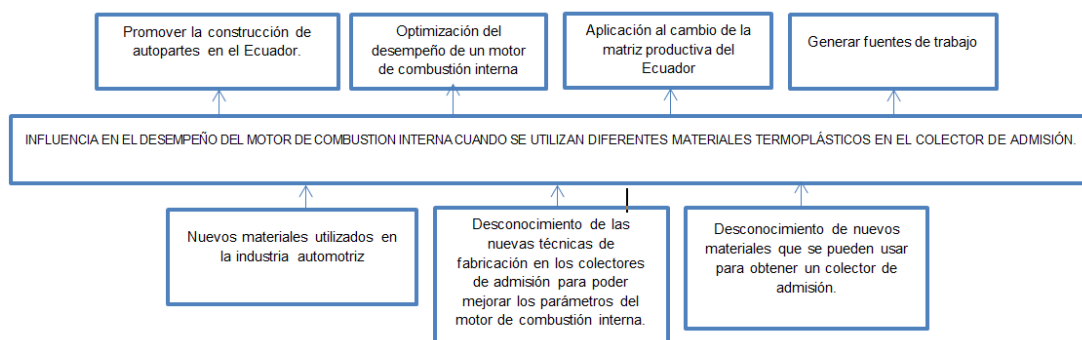


Figura 1. Análisis del problema.

La falta de aprovechamiento de los nuevos materiales termoplásticos como el ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno), PLA (Ácido Poliláctico) y PET

(Poliétileno Tereftalato) para replicar piezas automotrices generan una dependencia excesiva de los materiales tradicionales metálicos para la fabricación en piezas automotrices, el presente proyecto permitirá establecer si es posible utilizar repuestos alternos fabricados con materiales termoplásticos.

El avance de la tecnología y la falta de equipos para la construcción de autopartes direccionan a nuevas investigaciones que permitan variar el mercado automotor, incentivando a la línea de investigación en el Ecuador.

Los múltiples metálicos que se encuentran en el mercado automotriz presentan una mayor resistencia al flujo de aire, haciendo que el desempeño del motor se vea afectado al no tener un llenado eficiente en la cámara de combustión.

El desconocimiento de nuevas técnicas de fabricación de autopartes hace que en el Ecuador se importen los repuestos de diferentes países. Al investigar sobre materiales alternos y su fabricación se apoya al cambio de la matriz productiva y conlleva a generar nuevas fuentes de trabajo.

1.3. Descripción resumida del proyecto

Se recopiló información relevante a la investigación propuesta, considerando únicamente fuentes confiables como son libros, tesis, manuales, fichas técnicas, normas y bases digitales como: scopus, google académico, entre otras.

Se modeló el múltiple con las medidas originales y se simuló el comportamiento del flujo de aire dentro de la geometría del múltiple, además se llevó a cabo un análisis estructural del múltiple con cada uno de los materiales termoplásticos.

Se fabricó los colectores de admisión para el motor DAEWOO SOHC del vehículo Chevrolet Aveo Family 1.5 lt, el cual consta originalmente de un múltiple de admisión de aluminio, en una impresora 3D, con el uso de diferentes materiales: ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno), PLA (Ácido Poliláctico) y PET (Polietileno Tereftalato), se instaló cada uno de los colectores de admisión en el motor.

Se realizó las diferentes pruebas con la alteración del colector de admisión para determinar los parámetros característicos (potencia, torque, consumo de combustible y análisis de gases de escape) del motor DAEWOO SOHC del vehículo Chevrolet Aveo Family 1.5 lt, esto se realizó bajo las mismas condiciones para cada tipo de colector de admisión.

Se tabuló los datos obtenidos para generar un registro de las variaciones de los parámetros característicos del motor DAEWOO SOHC.

Al final de la investigación se justificó los resultados obtenidos para determinar si se cumplen los objetivos planteados con ayuda de la matematización.

1.4. Justificación e importancia

La investigación se origina por la necesidad de los propietarios de vehículos por tener una alternativa diferente para adquirir un componente de un motor de combustión interna, como es el caso del colector de admisión.

En la actualidad se dispone de la tecnología que permite fabricar componentes de un vehículo en materiales termoplásticos, y se puede determinar si los nuevos materiales en un vehículo de combustión interna mantienen o mejoran las características mecánicas del motor, bajo las condiciones de funcionamiento normal.

La potencia de un motor presenta un desfase (variación) tanto en bajas (2500 rpm) como altas revoluciones (5000 rpm) de acuerdo al material y enfoque del motor, por ello se plantea la implementación de distintos múltiplos de admisión con diferentes materiales termoplásticos para un vehículo Chevrolet Aveo Family 1.5.

Las características inherentes de los termoplásticos han sido las principales cualidades para su uso en vehículos, estos incluyen peso ligero, menores costos para grandes volúmenes y la posibilidad de ser fabricado como un componente complejo único.

Dado que el campo automotor en el Ecuador está conformado por más de 1,7 millones de vehículos según cifras del Instituto Nacional Ecuatoriano de Estadísticas y Censos (2013), y los impuestos arancelarios son cada vez mayores a la importación de respuestas automotrices. Esta investigación permitió demostrar que los colectores de admisión con un materiales termoplástico: ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno), PLA (Ácido Poliláctico) y PET (Polietileno Tereftalato), economizan costos en el remplazo del mismo elemento, manteniendo o mejorando las características del motor.

Los múltiplos de admisión son diseñados para reducir en lo posible el rozamiento del aire, para asegurar un flujo con un mínimo de turbulencias para evitar pérdidas y condensaciones, al utilizar termoplásticos se reduce la rugosidad, ya que su superficie es lisa, por lo tanto la turbulencia y condensación será menor que al utilizar un material metálico como el aluminio que tiene un coeficiente de rugosidad de SCOBNEY de 0.40.

El avance tecnológico en el campo automotriz hace que se esté a la par con las nuevas tecnologías y tendencias que la mayoría de los fabricantes brinda materiales alternativos plásticos que sean duros, resistentes al calor e impactos como es el ABS, PLA, PET, que se fabricaron para mejorar los

parámetros característicos del motor, creando fuentes de investigación para la implementación de los mismo elementos.

1.5. Objetivos del proyecto

1.5.1. Objetivo general

Analizar los parámetros característicos del motor DAEWOO SOHC del vehículo Chevrolet Aveo Family 1.5 lt cuando se utilizan materiales termoplásticos en la fabricación del colector de admisión.

1.5.2. Objetivos específicos

- Recolectar información bibliográfica, manuales y datos técnicos que permitan un adecuado manejo de los equipos de medición a utilizar, del vehículo Chevrolet Aveo Family 1.5 lt y del desarrollo del trabajo práctico.
- Modelar el múltiple de admisión, simular el comportamiento del flujo de aire y hacer un análisis estructural del colector con cada material termoplástico.
- Construir diferentes colectores de admisión en una impresora 3D de material ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno), PLA (Ácido Poliláctico) y PET (Polietileno Tereftalato) con fines de comprobar los parámetros mecánicos del motor DAEWOO SOHC con respecto al fabricante.
- Instalar los colectores de admisión en el vehículo Chevrolet Aveo Family 1.5 lt del motor DAEWOO SOHC.
- Realizar las diferentes pruebas para determinar los parámetros característicos (potencia, torque, consumo de combustible y análisis de gases de escape) del motor DAEWOO SOHC del vehículo Chevrolet Aveo Family 1.5 lt. cuando se utilizando los diferentes tipos de colectores fabricados.

- Tabular los datos obtenidos, para generar un registro de las variaciones de los parámetros característicos del motor DAEWOO SOHC.
- Comparar los resultados obtenidos durante las pruebas con los parámetros característicos del fabricante.

1.6. Metas

- Obtener información técnica inherente al tema de proyecto (materiales termoplásticos, impresoras 3D y pruebas).
- Obtener 3 prototipos de colectores de admisión usando materiales termoplásticos diferentes.
- Mejorar los parámetros característicos del motor DAEWOO SOHC en un porcentaje entre 4 a 10%.
- Reducir los costos de fabricación de los colectores de admisión.

1.7. Hipótesis

- La fabricación de colectores de admisión en diferentes materiales termoplásticos como: ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno), PLA (Ácido Poliláctico) y PET (Polietileno Tereftalato) y realizados en impresión 3D, permitirá mejorar los parámetros característicos del motor DAEWOO SOHC del vehículo Chevrolet Aveo Family 1.5 lt.

1.8. Variables de la investigación

- **Variable Independiente:**

Colectores de admisión termoplástico ABS, PLA, PET.

- **Variable Dependiente:**

Parámetros característicos del motor Daewoo SOHC

1.9. Operacionalización de variables

Tabla 1.

Operacionalización de la variable independiente

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
El colector de admisión es una pieza mecánica en donde se realiza la mezcla de aire-combustible y al estar sujeta al motor, dirige dicha mezcla a cada una de las canalizaciones de la culata para posteriormente ir a la cámara de combustión.	Académico	Rugosidad interna	[μm]	Medición	Protocolo de pruebas.
		Temperatura	[$^{\circ}\text{C}$]	Medición	Protocolo de pruebas.
		Velocidad del flujo de aire.	[m/s]	Simulación	Protocolo de pruebas.
		Ajuste de termoplásticos	[Nm]	Experimental	Protocolo de pruebas.
		Altura del múltiple	[mm]	Medición	Protocolo de pruebas.
		Deformación.	[mm]	Simulación	Protocolo de pruebas.

Tabla 2.

Operacionalización de la variable dependiente

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Son indicadores del rendimiento mecánico y térmico y desempeño de un motor a combustión interna.	Académico	Torque	Nm	Medición	Protocolo de pruebas.
		Potencia	W	Medición	Protocolo de pruebas.
		Consumo específico	gr/kW.h	Medición	Protocolo de pruebas.
		CO	%	Medición	Protocolo de pruebas.
		CO2	%	Medición	Protocolo de pruebas.
		HC	ppm	Medición	Protocolo de pruebas.
		O2	%	Medición	Protocolo de pruebas.

1.10. Metodología de la investigación

1.10.1. Método deductivo

Dado que la investigación se enfocó en analizar los parámetros característicos del motor, emisiones de gases y consumo de combustible, se analizó dichos parámetros que se generan bajo la influencia de los nuevos colectores de admisión termoplásticos, representados por los estudios realizados en el vehículo de marca Chevrolet, modelo Aveo Family.

1.10.2. Método inductivo

Se utilizó este método, ya que la investigación se hará en un vehículo de marca Chevrolet, modelo Aveo Family, el cual posee su colector de admisión original de aluminio, y se podrá implementar los nuevos colectores termoplásticos, los resultados y conclusiones generadas se podrán aplicar para todos los vehículos de motor a gasolina que cuenten con este tipo de colector de admisión.

1.10.3. Método analítico

Se aplicó este método, ya que permite analizar de forma individual cada uno de los parámetros mecánicos del motor DAEWOO SOHC bajo la influencia de los nuevos colectores de admisión termoplásticos.

1.10.4. Método de síntesis

Este método se utilizó para la recopilación de los datos resultantes de las pruebas realizadas, bajo la incidencia de los nuevos colectores de admisión termoplásticos.

1.10.5. Método experimental

Se fabricó y experimento los colectores de admisión con diferentes materiales termoplásticos, y se realizaron simulaciones en software CAD, para mediciones y pruebas utilizando el dinamómetro de rodillos, analizador de gases y consumo específico de combustible; que proporcionarán los parámetros mecánicos ideales del motor DAEWOO SOHC.

1.10.6. Método comparativo

En esta investigación el método comparativo permitió establecer variaciones de los parámetros mecánicos del motor DAEWOO SOHC 1.5 lt basándose en datos y mediciones realizadas en condiciones estándar, y cuando se instale los nuevos colectores de admisión termoplásticos.

1.10.7. Método de observación directa

Este método permitió realizar una verificación visual de las variaciones que esta investigación busca establecer, como es la instalación de los nuevos colectores de admisión termoplásticos y como influye el comportamiento del motor.

1.10.8. Método de medición

A través del método de medición se estableció el protocolo de pruebas en función del manual del fabricante del motor DAEWOO SOHC, y se determinaron las unidades en las que se manejarán los datos, tomando en cuenta las escalas de los equipos con los que se realizan las pruebas, para ver si existe variación de los mismos.

1.10.9. Método de matematización

Una vez representados los resultados de la investigación mediante números, se utilizó este método para justificar teóricamente mediante cálculos matemáticos los valores obtenidos durante la investigación.

Tabla 3.

Metodología de la investigación.

Metodología	Descripción	Equipo	Laboratorio
•Deductivo	•Dado que la investigación se enfocó en analizar los parámetros característicos del motor, emisiones de gases y consumo de combustible, se analizó dichos parámetros que se generan bajo la influencia de los nuevos colectores de admisión termoplásticos, representados por los estudios realizados en el vehículo de marca Chevrolet, modelo Aveo Family.	<ul style="list-style-type: none"> • Dinamómetro • Colectores a bases de materiales termoplásticos • Impresora 3D • Osciloscopio • Chevrolet Aveo Family • Laptop 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de Motores de Combustión Interna • Instalaciones de la empresa 3D Print Ecuador.
•Inductivo	•Se utilizó este método, ya que la investigación se hará en un vehículo de marca Chevrolet, modelo Aveo Family, el cual posee su colector de admisión original de aluminio, y se podrá implementar los nuevos colectores termoplásticos, los resultados y conclusiones generadas se podrán aplicar para todos los vehículos de motor a gasolina que cuenten con este tipo de colector de admisión.	<ul style="list-style-type: none"> • Chevrolet Aveo Family • Colectores a bases de materiales termoplásticos 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de Motores de Combustión Interna.
•Analítico	•Se aplicó este método, ya que permite analizar de forma individual cada uno de los parámetros mecánicos del motor DAEWOO SOHC bajo la influencia de los nuevos colectores de admisión termoplásticos.	<ul style="list-style-type: none"> • Dinamómetro • Osciloscopio • Colectores a bases de materiales termoplásticos 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de Motores de Combustión Interna.
Síntesis	Este método se utilizó para la recopilación de los datos resultantes de las pruebas	<ul style="list-style-type: none"> • Dinamómetro • Laptop 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de Motores de Combustión

Continúa



Metodología	Descripción	Equipo	Laboratorio
	realizadas, bajo la incidencia de los nuevos colectores de admisión termoplásticos.	<ul style="list-style-type: none"> • Colectores a bases de materiales termoplásticos 	Interna.
•Experimental	<ul style="list-style-type: none"> •Se fabricó y experimento los colectores de admisión con diferentes materiales termoplásticos, y se realizaron simulaciones en software CAD, para mediciones y pruebas utilizando el dinamómetro de rodillos, analizador de gases y consumo específico de combustible; que proporcionarán los parámetros mecánicos ideales del motor DAEWOO SOHC. 	<ul style="list-style-type: none"> • Laptop • Office • Colectores a bases de materiales termoplásticos 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de Motores de Combustión Interna
Comparativo	En esta investigación el método comparativo permitió establecer variaciones de los parámetros mecánicos del motor DAEWOO SOHC 1.5 lt basándose en datos y mediciones realizadas en condiciones estándar, y cuando se instale los nuevos colectores de admisión termoplásticos.	<ul style="list-style-type: none"> • Chevrolet Family • Colectores a bases de materiales termoplásticos • Dinamómetro 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de Motores de Combustión Interna
•Observación directa	<ul style="list-style-type: none"> •Este método permitió realizar una verificación visual de las variaciones que esta investigación busca establecer, como es la instalación de los nuevos colectores de admisión termoplásticos y como influye el comportamiento del motor. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dinamómetro • Colectores a bases de materiales termoplásticos • Osciloscopio • Chevrolet Aveo Family • Laptop 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de Motores de Combustión Interna • Laboratorio de Mecánica de Patio.
Medición	A través del método de medición se estableció el protocolo de pruebas en función del manual del fabricante del motor DAEWOO SOHC, y se determinaron las unidades en las que se manejarán los datos, tomando en cuenta las escalas de los equipos con los que se realizan las pruebas, para ver si existe variación de los mismos.	<ul style="list-style-type: none"> • Laptop • Office 	<ul style="list-style-type: none"> •



Metodología	Descripción	Equipo	Laboratorio
•Matematización	•Una vez representados los resultados de la investigación mediante números, se utilizó este método para justificar teóricamente mediante cálculos matemáticos los valores de potencia, consumo específico de combustible y proporciones de CO_2 , O_2 , HC y CO.	<ul style="list-style-type: none">• Laptop• Office	<ul style="list-style-type: none">• Laboratorio de motores de combustión interna

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Motor a combustión interna

(Rovira, 2015) Menciona que: “El motor de combustión interna es un conjunto de elementos mecánicos que permiten obtener energía mecánica a partir del estado térmico de un fluido de trabajo que se ha generado en su propio seno mediante un proceso de combustión”.

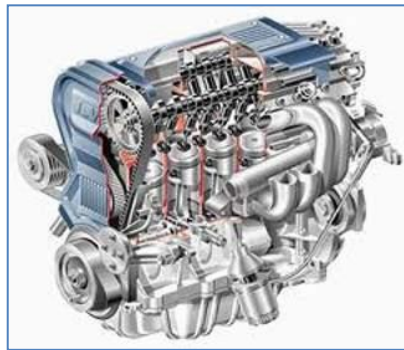


Figura 2. Motor a combustión interna.

Fuente: (Ecured, 2017)

(Rovira, 2015) Afirma que: “En este tipo de motor es preciso preparar la mezcla de aire y combustible convenientemente dosificada, lo cual se realizaba antes en el carburador y en la actualidad con los inyectores en los sistemas con control electrónico. Después de introducir la mezcla en el cilindro, es necesario provocar la combustión en la cámara del cilindro por medio de una chispa de alta tensión que la proporciona el sistema de encendido”.

(Kurt & Rolle, 2006) “En realidad, este proceso no es una transferencia de calor de una región a alta temperatura, sino más bien una liberación de energía química para proporcionar un gas con alta temperatura y alta presión dentro del motor. Entonces, los gases calientes se expanden en el motor, y ello produce potencia y trabajo”.

Por último, los gases salen del motor después de llegar a una baja presión y a una baja temperatura, y es posible comparar esa liberación a una transferencia de calor hacia una región de baja temperatura.

2.1.1. Principio termodinámico

El motor, durante su funcionamiento, realiza una serie de procesos que se repiten periódicamente y constituyen un ciclo termodinámico abierto, no puede ser cerrado al ser un motor de combustión interna.

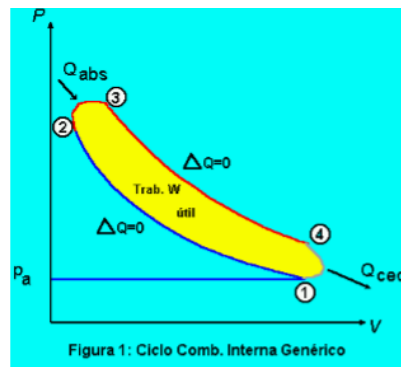


Figura 3. Ciclo termodinámico

Fuente: (Rolle, 2006)

(Jones, 1997) “En la figura 3, se puede ver el ciclo teórico del motor de combustión interna. En 1 se tiene el proceso de admisión ya concluido, con una presión inicial (P_a). De 1 a 2 el proceso de compresión donde el pistón se desplaza para reducir el volumen y aumentar la presión del carburante. De 2 a 3 es el momento donde ocurre la explosión del gas, el sistema absorbe calor y aumenta la presión y la temperatura del gas. Ese gas a alta presión y temperatura se expande y desplaza el pistón realizando un trabajo útil (3 a 4). Finalmente de 4 a 1 los gases quemados salen del cilindro dejando a este limpio para volver a empezar el ciclo”.

2.1.2. Ciclo real de funcionamiento

(Kurt & Rolle, 2006) Indica que: “La potencia indicada se determina por un diagrama p - V del motor de prueba. Este diagrama se puede obtener usando un indicador de motor, un mecanismo capaz de medir y registrar la presión de un cilindro, y al mismo tiempo registrar la posición del pistón. El indicador de motor es un mecanismo de prueba común, y la historia de su empleo data de antes de 1900”.

(Kurt & Rolle, 2006) Menciona que: “En fecha reciente se ha usado en osciloscopio de rayos catódicos, un osciloscopio simplemente, con un sensor electromecánico de presión, para obtener los mismos diagramas p - V de motores de combustión interna en funcionamiento”.

(Kurt & Rolle, 2006) Afirma que: “Los diagramas se muestran en la pantalla del osciloscopio, y se pueden grabar electrónicamente para contar con referencias a futuro”.

(Burgess & Obert, 1999) “La figura 4 muestra el diagrama de presión volumen típico de un motor Otto, en forma específica de un motor con el acelerador totalmente a fondo. En la figura 5 el ciclo Otto ideal se encima sobre el ciclo Otto real. Para ver más análisis de este ejemplo se usa las tablas de gases para obtener las propiedades de las curvas del ciclo Otto”.

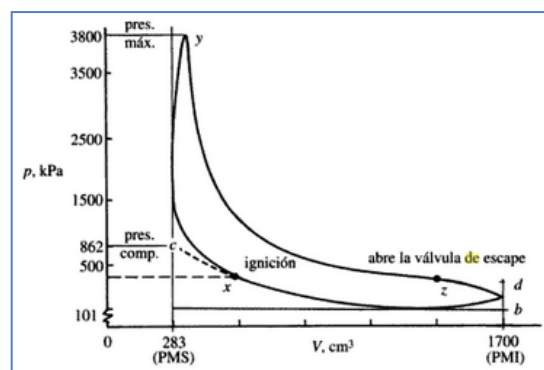


Figura 4. Diagrama presión-volumen de un motor Otto.

Fuente: (Burgess & Obert, 1999)

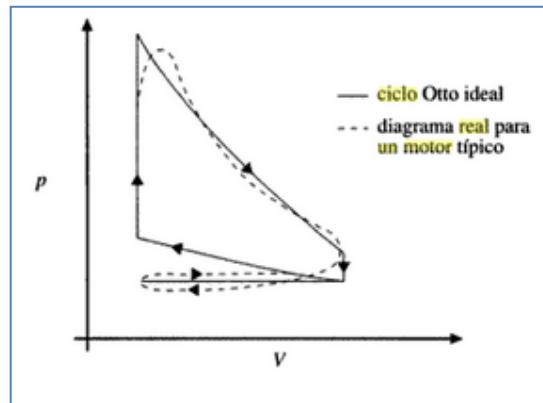


Figura 5. Diagrama presión-volumen del ciclo ideal y ciclo real sobrepuesto.

Fuente: (Kurt & Rolle, 2006)

2.1.3. Motor de cuatro tiempos

- (Crouse, 1993) Afirma que: **1er tiempo: Admisión:** “En el momento que el pistón está en el punto más alto (PMS), la válvula de admisión se abre y el propio pistón por el vacío que se crea dentro del cilindro aspira la mezcla (aire y combustible) hasta llegar al punto más bajo del cilindro (PMI)”.
- (Gerschler, Bohner, & Zwickel, 2001) Afirma que: “En el movimiento descendente del pistón, se produce como consecuencia del aumento de volumen una depresión de 0.1 a 0.2 bar”.
- (Crouse, 1993) **2º tiempo: Compresión:** “Después del ciclo de admisión, el pistón se encuentra en el punto más bajo (PMI), en este momento la válvula de admisión se cierra y el pistón empieza a ascender comprimiendo la mezcla hasta llegar al punto más alto del cilindro (PMS)”.
- (Gerschler, Bohner, & Zwickel, 2001) Indica que: “En la compresión se desarrolla a una temperatura aproximada de 400 a 500° C, por lo cual la presión a final de la compresión puede alcanzar 18 bares”.
- (Crouse, 1993) Afirma que: **3er tiempo: Expansión:** “Una vez que en la carrera de compresión se ha comprimido la mezcla, la bujía hace saltar una chispa y enciende la mezcla, aumentando la presión en el cilindro y haciendo

descender el pistón hacia el punto más bajo (PMI). En esta carrera de expansión es donde se realiza el trabajo útil”.

- (Gerschler, Bohner, & Zwickel, 2001) “La temperatura en el punto muerto superior en expansión puede alcanzar de 2000 a 2500 °C, y la corriente presión de combustión llegue desde 30 a 60 bares”.
- (Crouse, 1993) Afirma que: **4º tiempo: Escape de gases:** “Cuando el pistón llega al punto más bajo (PMI), se abre la válvula de escape y el pistón empieza a ascender empujando los gases quemados hacia el exterior. En el momento que llega al punto más alto (PMS) la válvula de escape se cierra”.
- (Gerschler, Bohner, & Zwickel, 2001) Menciona que: “La presión de 3 ó 4 bares existente en el tiempo de escape, los gases quemados salen del cilindro a la velocidad del sonido. Al avanzar el pistón al punto muerto superior se expulsa el resto de gases quemados a una presión residual de 0.2 bar”.

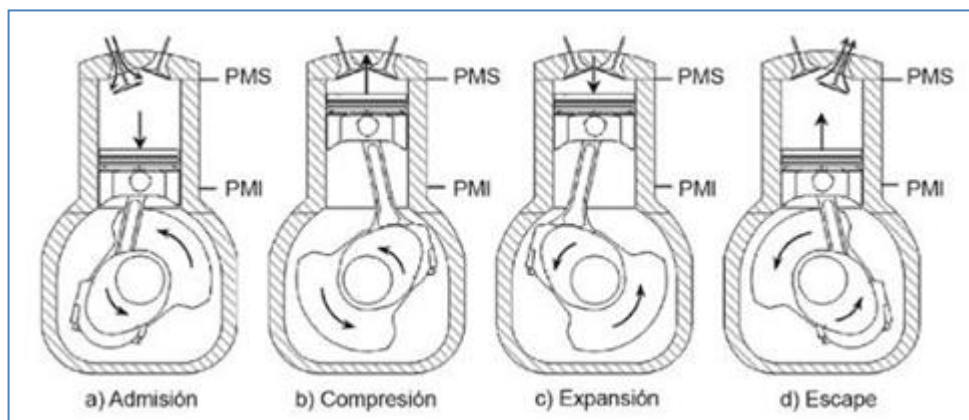


Figura 6. Esquema del funcionamiento del motor a cuatro tiempos

Fuente: (Montes, Muñoz, & Rovira, 2014)

2.2. Parámetros mecánicos y térmicos del MCI

2.2.1. Torque o par motor

(Pesis, 2015) “La fuerza de la explosión producida en un motor durante el proceso de combustión enviará rápidamente el pistón hacia su PMI. Esto generará el movimiento rotacional del cigüeñal

gracias a la acción de la biela. Esta fuerza rotacional se llama par motor”.

(Pesis, 2015) “Se debe considerar que, a mayor poder explosivo dentro del cilindro, mayor será el resultado del par motor, y mayor la fuerza generada por él. Cuando el cigüeñal gira, realiza ese giro en un determinado lapso”.

(Pesis, 2015) “Se denomina rpm (revoluciones por minuto) a la cantidad de veces que el cigüeñal gira en el lapso de un minuto. Si el par motor es el resultado de la fuerza que ejerce la explosión de la mezcla sobre el giro del cigüeñal, la potencia es el resultado de dicho par motor realizado en un determinado lapso”.

$$\text{Par} = F * d$$

Ecuación 1. Par motor

Fuente: (Pesis, 2015)

Donde:

F= Fuerza. [N]

d= Distancia. [m]

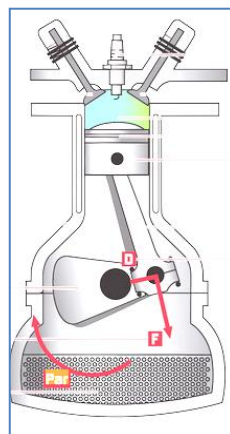


Figura 7. Representación par motor

Fuente: (Pesis, 2015)

(Heywood J. , 1998) “En los motores de combustión, la curva de par empieza siendo ascendente hasta llegar a las revoluciones

donde el motor rinde el par máximo, que es el punto de diseño óptimo. A partir de ese momento, el par comienza a disminuir progresivamente. Teniendo que a bajas revoluciones la combustión de la mezcla no resulta óptima debido a la escasa inercia que poseen los gases que provocan que el llenado del cilindro no sea el óptimo al igual que su vaciado, si el motor funciona a un elevado régimen tampoco el llenado de los cilindros es completo, y ello es debido al escaso tiempo que dispone el gas para ocupar todo el recinto”.

(Rodríguez, 2017) “En la figura 8 se representa en el eje horizontal las revoluciones por minuto (r. p. m.) del régimen giro (n) del motor y en el eje vertical el par (T) que proporciona durante todo su rango de funcionamiento. En los motores de combustión, la curva de par empieza siendo ascendente hasta llegar a las revoluciones donde el motor rinde el par máximo (T_1), que es el punto de diseño óptimo. A partir de ese momento, el par comienza a disminuir progresivamente”.

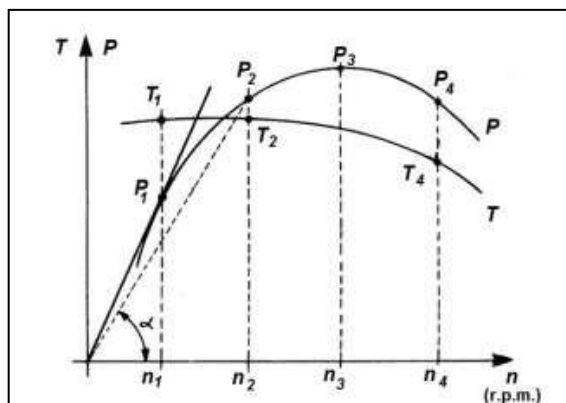


Figura 8. Curva del par motor y potencia

Fuente: (Rodríguez, 2017)

2.2.2. Potencia del motor

Potencia efectiva del motor

Es la potencia que se tiene en las ruedas, y es menor al valor de la potencia indicada debido a las pérdidas que tienen lugar hasta la salida al

eje de tracción. Se la puede obtener midiendo con máquinas frenantes apropiadas o matemáticamente.

$$Ne = \frac{2 * pme * Vh * n * i}{10^3 * \tau}$$

Ecuación 2. Ecuaciones de potencia efectiva del motor

Fuente: (Mena I. M., 2011)

Donde:

Ne = potencia efectiva del motor (KW)

pme = presión media efectiva (Pa)

Vh = volumen del cilindro (m^3)

n = frecuencia de rotación del motor (r.p.s)

i = número de cilindros

τ = número de tiempos del motor

Potencia disipada

Es la potencia que se pierde desde la cámara de combustión hasta llegar a las ruedas por los componentes que el motor debe tener en movimiento para su funcionamiento como poleas, cadenas de distribución, bomba de agua, bomba de aceite y otros adicionales como: aire acondicionado, bomba hidráulica de la dirección entre otros.

Presión media efectiva

Es la media de la presión promedio que producen los gases en la fase de combustión y expansión dentro del cilindro.

$$pme = \frac{2 * \pi * \gamma * M}{V_t}$$

Ecuación 3. Ecuaciones de presión media efectiva

Fuente: (Mena L. , 2011)

Donde:

p_{me} = presión media efectiva (Pa)

γ = número de revoluciones por ciclo (motores de dos tiempos: 1 y para motores de cuatro tiempos: 2)

M = par motor (Nm)

V_t = cilindrada total del motor (m^3)

La potencia es el trabajo o la energía desarrollada en la unidad de tiempo. En el caso de un motor, la potencia se desarrolla durante el desplazamiento del vehículo y a diferentes estados de carga a una cierta velocidad.

$$P = \frac{T}{t}$$

Ecuación 4. Potencia del motor

Fuente: (Sánchez, 2012)

Donde:

P= Potencia. [Watt]

T= Trabajo. [Joule]

t= Tiempo. [s]

(Sánchez, 2012) “La potencia del motor se obtiene, en cualquier régimen, multiplicando el par motor expresado en Kgm por el número de revoluciones del cigüeñal y dividiendo entre la constante 716,2”.

$$P = \frac{M * rpm * 4\pi}{60 * 2 * 75} = \frac{M * rpm}{716.2}$$

Ecuación 5. Potencia del motor en cualquier régimen

Fuente: (Sánchez, 2012)

Donde:

P= Potencia. [Watt]

M= Par. [Kgm]

Rpm= Revoluciones por minuto.

(Rodríguez, H) “En la figura 9, la potencia que puede ofrecer un motor de combustión interna aumenta conforme sube de régimen de giro, hasta un máximo que se alcanza cuando gira a n (r. p. m.). En estas condiciones, aunque se acelere más la velocidad del motor, este no es capaz de entregar más potencia dado que la curva entra en su tramo descendente. El límite máximo de revoluciones a la que puede girar el motor lo marca n_4 , establecido por las propias limitaciones de los elementos mecánicos que lo constituyen”.

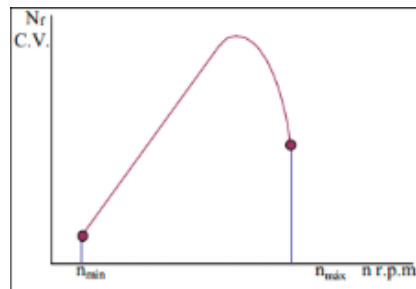


Figura 9. Curva de potencia

Fuente: (Porrás, 2003)

2.2.3. Consumo específico de combustible

(Bosch, 2003) “El consumo específico de combustible indica la masa de combustible (en gramos) que necesita un motor de combustión interna para ejecutar un trabajo determinado (KW*h, kilowatio-hora). Esta magnitud, por tanto, enuncia más sobre el aprovechamiento de la energía del combustible que las indicaciones en l/h o l/100 km”.

$$C_e = \frac{\dot{m}_f}{N_e}$$

Ecuación 6. Consumo específico de combustible

Fuente: (González, 2015)

Donde:

C_e = Consumo específico de combustible. $[\frac{g}{KWh} \text{ o } \frac{Kg}{KWh}]$

\dot{m}_f = Masa de combustible consumida por unidad de tiempo. $[\frac{g}{h} \text{ o } \frac{Kg}{h}]$

N_e = Potencia efectiva. $[KW]$

(Ceac, 2004) “La curva del consumo específico es la que completa el conjunto de las curvas características de un motor, estando también en relación con las r.p.m. Teóricamente, el consumo específico debería ser igual a cualquier número de revoluciones, siendo independiente de la cilindrada del motor”.

(Ceac, 2004) indica que: “Si un motor gira más deprisa consume más combustible, pero también proporciona mayor cantidad de trabajo, igualmente si un motor tiene mayor cilindrada gasta más, pero también es más potente. En la práctica esto no es así, sino que la riqueza de la mezcla varía según las necesidades del motor. En la figura 10 se representa una curva de consumo específico genérica para un motor de gasolina”.

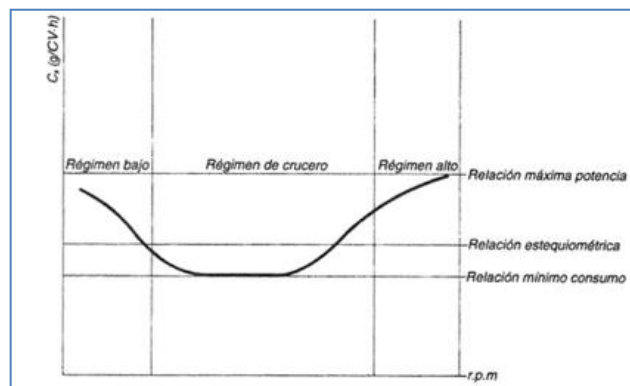


Figura 10. Curva específica de combustible de un motor de combustión interna.

Fuente: (Ceac, 2004)

- **Método volumétrico**

(González, D., 2015) manifiesta que: “ El método volumétrico consiste en medir el tiempo necesario para consumir un volumen conocido de combustible. Para ello es necesaria una probeta

graduada en paralelo con el depósito de combustible y un reloj. Esto se realiza tanto mecánica como electrónicamente. Presenta un problema que es el tipo de medidores, es que para conocer el consumo es necesario multiplicar el volumen por la densidad, siendo esta función de la temperatura y variable entre diferentes muestras de combustible utilizado”.

- **Método gravimétrico**

(González, D., 2015) “Consiste en medir el tiempo empleado en consumir una masa conocida de combustible existente en una balanza de precisión. Con este método, la medida no se ve afectada por las variaciones de temperatura del combustible, que provocan también variaciones en su densidad”.

2.3. Rendimiento del motor de combustión interna

(González, D., 2011) “El ciclo teórico térmico de un motor de combustión interna puede equiparse al ciclo de Carnot, ciclo real cuyo rendimiento era el máximo a cual podría aspirar cualquier máquina térmica”.

(González, D., 2011) “El trabajo y el calor se miden en julios (J), el rendimiento teórico térmico no tiene unidades, ya que representa el factor de aprovechamiento de energía”.

$$n_t = 1 - \frac{1}{r^{\gamma-1}}$$

Ecuación 7. Rendimiento teórico térmico

Fuente: (González, D., 2011)

Donde:

r = Es la relación de compresión volumétrica del motor.

γ = Es el coeficiente adiabático del motor. Siendo 1.33 para motores a gasolina y 1.4 para motores diesel.

2.3.1. Rendimiento mecánico

(González, D., 2011) “El rendimiento mecánico (n_m) es la razón entre trabajo útil (L_u) medido en el eje de salida del motor y el trabajo indicado (L_i)”.

$$n_m = \frac{L_u}{L_i}$$

Ecuación 8. Rendimiento mecánico.

Fuente: (Mena L. , 2011)

El rendimiento mecánico también se puede expresar en potencias como por ejemplo:

$$n_m = \frac{N_e}{N_i}$$

Ecuación 9. Rendimiento mecánico en función de las potencias.

Fuente: (Mena L. , 2011)

Donde:

N_e = Potencia efectiva.

N_i = Potencia indicada.

2.3.2. Rendimiento efectivo

(González, D., 2015) menciona que: “El rendimiento efectivo mide el grado de aprovechamiento del motor en relación al combustible empleado, es decir, relaciona la potencia efectiva empleada con la potencia del combustible”.

$$n_e = \frac{N_e}{\dot{m}_f * H_c}$$

Ecuación 10. Rendimiento efectivo.

Fuente: (González, D., 2015)

Donde:

N_e = Potencia efectiva del motor. [KW]

\dot{m}_f = Masa de combustible consumida por unidad de tiempo. [Kg/s]

H_c = Poder calorífico del combustible. [KJ/kg]

2.3.3. Rendimiento indicado

(González, D., 2015) “El rendimiento indicado relaciona la potencia aportada, debida a la energía del combustible, con la potencia obtenida del ciclo de trabajo”.

$$n_i = \frac{N_i}{\dot{m}_f * H_c}$$

Ecuación 11. Rendimiento indicado.

Fuente: (González, D., 2015)

Donde:

N_i = Potencia indicada del motor. [KW]

\dot{m}_f = Masa de combustible consumida por unidad de tiempo. [Kg/s]

H_c = Poder calorífico del combustible. [KJ/kg]

2.4. Materiales plásticos utilizados en la industria automotriz

(Nuñez, 1997) afirma que: “En el mercado más importante y de mayores resultados en las aplicaciones de las materias plásticas lo constituye la industria automotriz, la cual consume alrededor de un 31,03 % del volumen total de los plásticos ofertados, seguido por otras aplicaciones dentro de las cuales entra la construcción, la industria mobiliaria, eléctrica y electrónica entre muchas otras. En la figura 10 se ha representado de forma gráfica un panorama general de esta situación”.

(Nuñez, 1997) manifiesta lo siguiente: “La utilización de plásticos en un vehículo se sitúa alrededor de un 17% (180Kg), en base al peso del vehículo y considerando un vehículo de tamaño medio (se hablaría de un 14%, si no se incluyesen los neumáticos)”.

(Nuñez, 1997) expresa que: “La tendencia más significativa de los materiales compuestos dentro de la industria automotriz es la relacionada con el sistema de "ensamblaje modular". Este sistema propicia que las compañías de autos estén cada vez más distanciadas del proceso de manufactura de los módulos que conforman los vehículos. Concentrándose en el ensamblaje de los módulos ya elaborados por otras compañías y al estudio del mercado de los materiales empleados, así como también a la inserción en dicho mercado de los autos elaborados”.

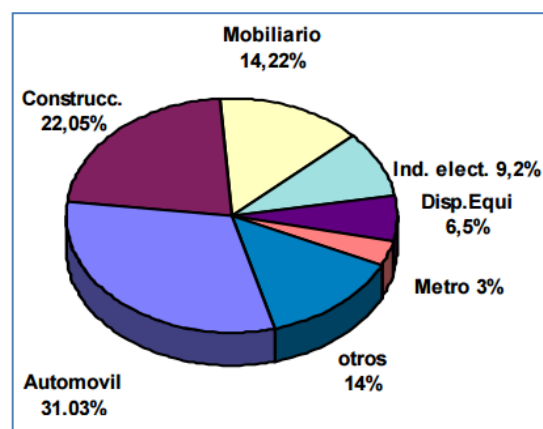


Figura 11. Aplicaciones de las materias plásticas.

Fuente: (Nuñez, 1997)

2.4.1. Policarbonato.

(Elgegren M, 2012) indica lo siguiente: “El policarbonato es un polímero termoplástico transparente, muy liviano y dúctil con una alta dureza y gran resistencia al impacto. Estas propiedades permiten que sea utilizado para una gran variedad de aplicaciones, como en partes de automóviles, computadoras y celulares, en la producción de discos compactos (CD, DVD, Blu-ray), en lentes de seguridad como equipo de protección personal y como blindaje para lunas de automóviles. Además, se le utiliza para la fabricación de botellas reusables, biberones y contenedores de alimentos”.

(Elgegren M, 2012) cita: “Otras aplicaciones del policarbonato incluyen ventanas de invernaderos, bandejas de cafeterías,

tableros de canastas de básquet, techos ligeros transparentes para terrazas, entre otros. Debido a la gran variedad de aplicaciones, en el 2005 se produjo 3,2 millones de toneladas a nivel mundial”.

2.4.2. Acrílicos

(Hoechst, 1997) menciona: “Los plásticos acrílicos poseen una variedad de propiedades que han hecho posible sustituir materiales como el vidrio, madera y algunos metales suaves como el latón”.

Este material presenta resistencia mecánica media y rigidez elevada, resistencia al impacto, que es seis veces superior al vidrio normal, presenta elevada dureza y superficie fácil de pulir. Su densidad se sitúa entre 1.11 Y 1.19 g/cm³.

En la figura 12 se muestra la comparación de resistencia al impacto de diversos materiales con el acrílico (PMMA).

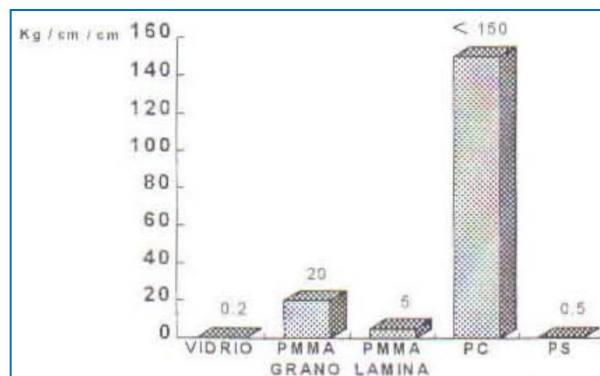


Figura 122. Resistencia al impacto.

Fuente: (Hoechst, 1997)

(Hoechst, 1997) afirma: “La franja de temperaturas de uso común se extiende de -40°C a 75°C y puede llegar a 100°C, por pequeños intervalos de tiempo, entre los 120°C y 180°C adquiere una consistencia elástica y puede moldearse. A partir de 180°C se convierte en un líquido viscoso que puede inyectarse”.

En cuanto a sus propiedades químicas, resiste a ácidos, bases de concentración baja o media, disolventes como hidrocarburos alifáticos y aceites.

(Hoechst, 1997) manifiesta: “Debido a las propiedades que presenta el PMMA tiene distintas aplicaciones, por ejemplo. En óptica, cristales de lentes, que además de ser más ligeros son seguros. En el sector eléctrico-electrónico se utiliza piezas de conmutador, pulsadores, tapas, paneles luminosos, bandas luminosas. En la industria automotriz, en tapas de tacómetros, calaveras, triángulos de seguridad, cristales de vehículos y aviones. Otros usos importantes son artículos luminosos para publicidad, artículos para dibujo, lámparas, luminarias entre otros”.

2.4.3. Polímeros

(Askeland D., 2011) expresa que: “Los polímeros son materiales formados por cadenas de moléculas. Las cadenas tienen pesos moleculares promedio que van de 10 000 a más de un millón de g/mol y que se forman al unir muchas unidades mediante un enlace químico para formar moléculas gigantes conocidas como macromoléculas”.

(Askeland D., 2011) indica: “El peso molecular se define como la suma de las masas atómicas de cada molécula y la polimerización es un proceso mediante el cual pequeñas moléculas formadas por una unidad (conocida como monómero) o unas pocas unidades (conocidas como oligómeros) se unen químicamente para crear moléculas gigantes. Por lo común, la polimerización comienza con la producción de largas cadenas en las que los átomos están fuertemente unidos mediante un enlace covalente. Casi todos los polímeros son orgánicos, lo cual significa que son de base de carbono, pero también pueden ser inorgánicas (por ejemplo las siliconas basadas en una red Si-O)”.

(Askeland D., 2011) cita lo siguiente: “Los plásticos son materiales compuestos principalmente de polímeros de origen natural y modificado, o de polímeros hechos en forma artificial que a veces

contienen fibras, rellenos, pigmentos y otros materiales similares que mejoran aún más sus propiedades”.

(Askeland D., 2011) menciona: “Los plásticos se utilizan en una increíble cantidad de aplicaciones, incluyendo prendas de vestir, juguetes, enseres domésticos, elementos estructurales y decorativos, recubrimientos, pinturas, adhesivos, neumáticos para automóviles, materiales biomédicos, defensas e interiores para autos, espumas y empaques”.

(Askeland D., 2011) afirma que: “Los polímeros comerciales, o materias primas estándar, son materiales ligeros, resistentes a la corrosión, de baja resistencia y rigidez y no son adecuados para usarse a elevadas temperaturas. No obstante, estos polímeros son relativamente económicos y se pueden moldear con toda facilidad en una gran diversidad de formas, desde bolsas de plástico a engranajes mecánicos hasta tinas de baño”.

(Askeland D., 2011) manifiesta: “Los polímeros ingenieriles están diseñados para dar una mejor resistencia o mayor rendimiento a altas temperaturas. Estos materiales se producen en cantidades relativamente pequeñas y suelen ser costosos. Algunos de los polímeros ingenieriles pueden funcionar a temperaturas de hasta 350 °C; otros, como las fibras, tienen resistencias superiores a las del acero”.

En la figura 13 se encuentra la estructura general y un ejemplo de los termoplásticos, termoestables y elastómeros (naturales o sintéticos).

Comportamiento	Estructura general	Ejemplo
Termoplástico	Cadenas lineales flexibles (con o sin ramificación)	Poliétileno
Termoestable	Red rígida tridimensional (las cadenas pueden ser lineales o ramificadas)	Poliuretanos
Elastómeros	Termoplásticos o termoestables ligeramente entrelazados, consisten de moléculas semejantes a resortes	Caucho natural

Figura 13. Comparación de tres categorías de polímeros.

Fuente: (Askeland D., 2011)

A. Termoplásticos

(Hoechst, 1997) expresa que: “Incluyen polímeros como Polietileno, PVC y Polipropileno. Consisten en macromoléculas línea les o ramificadas, unidas unas con otras mediante fuerzas intermoleculares”.

Los termoplásticos se caracterizan por transformarse de sólido a líquido y viceversa por acción del calor, se disuelven o por lo menos se hinchan al contacto con solventes.

(Hoechst, 1997) indica: “En estado sólido pueden deformarse permanentemente después de aplicar una fuerza. Esto se debe a que sus macromoléculas están libres o sueltas unas de otras y pueden deslizarse entre sí ante la aplicación de calor. A temperatura ambiente pueden ser blandos o duros, frágiles, y rígidos. Su comportamiento se deriva de la misma estructura molecular, ya que las moléculas tienen forma de cadena abierta o de hilos”.

(Hoechst, 1997) cita que: “La capacidad de los termoplásticos de reblandecerse o fundirse tiene sus ventajas y desventajas. Por ejemplo, puede moldearse por calor, es decir, una lámina o un tubo pueden pasar a un estado elástico similar al de la goma blanda y adquirir nueva forma después de enfriarla en un molde”.

B. Termoestables

(Hoechst, 1997) menciona que: “Son plásticos que se mantienen rígidos y sólidos a temperaturas elevadas se denominan termofijos o termoestables. Se obtienen por reticulación de productos líquidos de bajo peso molecular. Están reticulados en todas direcciones y debido a su estructura no son moldeables plásticamente, son infusibles y resisten altas temperaturas, no pueden ser disueltos y muy raramente se hinchan”.

A temperatura ambiente, los materiales termofijos generalmente son duros y frágiles. Debido a que no se funden.

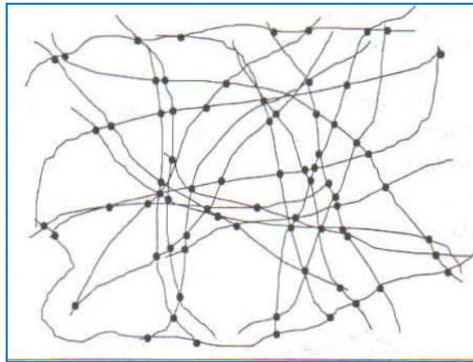


Figura 14. Modelo estructural de un termoestable.

Fuente: (Hoechst, 1997)

C. Elastómeros

(Hoechst, 1997) afirma: “Son materiales elásticos que recuperan casi totalmente su forma original después de liberar una fuerza sobre ellos. Son insolubles y no pueden fundir mediante aplicación de calor, es decir, pueden descomponerse químicamente cuando se calientan más allá de su temperatura máxima de servicio”.

El comportamiento de estos materiales se debe a que las macromoléculas de elastómeros, en contraste con las de los termoplásticos, están entrecruzadas por enlaces químicos.

(Hoechst, 1997) manifiesta: “Los elastómeros se producen a partir de formulaciones que incluyen gran variedad de ingredientes que se mezclan para formar un compuesto. Estos compuestos generalmente son masas viscosas y pegajosas porque utilizan al elastómero sin curar”.

Durante la vulcanización o reticulación, las cadenas moleculares del polímero se unen mediante enlaces químicos amplios. El desperdicio de los productos reticulados, en términos prácticos, no puede ser reciclado.

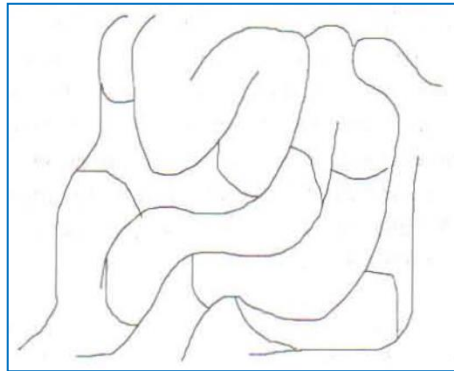


Figura 15. Modelo estructural de un elastómero.

Fuente: (Askeland D., 2011)

2.5. Termoplástico ABS (Acrilonitrilo butadieno estireno)

(Hoechst, 1997) expresa que: “Es un copolímero perteneciente a la familia de los Polímeros de Estireno y debe su nombre a los tres monómeros utilizados para su fabricación. Acrilonitrilo, Butadieno y Estireno”.

- **Acrilonitrilo.**- Es un líquido incoloro, soluble en disolventes orgánicos y parcialmente en agua. Presenta un alto grado de toxicidad por inhalación y por contacto con la piel, además es inflamable. (Hoechst, 1997)
- **Butadieno.**- Es un gas incoloro, aromático, inflamable y de fácil polimerización, Se utiliza principalmente para la fabricación de hule estireno-butadieno, recubrimientos y como parte fundamental en la composición del ABS imparte resistencia al de impacto. (Hoechst, 1997)
- **Estireno.**- En la composición global del ABS, el Estireno es el monómero que participa con los mayores porcentajes. (Hoechst, 1997)

El ABS es un termoplástico de gran variación en cuanto a su estructura, que depende del proceso de obtención y del contenido de sus componentes, de manera general su estructura es la siguiente:

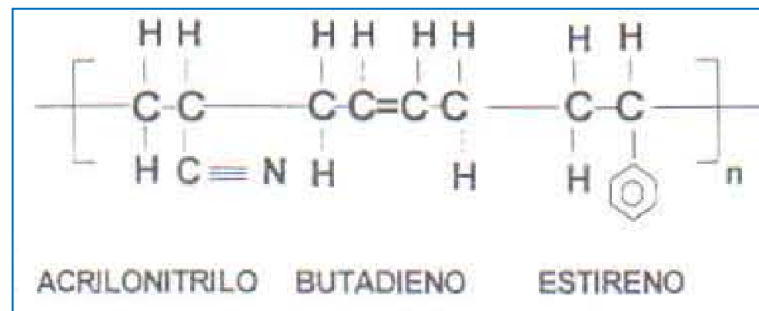


Figura 16. Estructura de ABS.

Fuente: (Hoechst, 1997)

(Hoechst, 1997) indica: "Al combinar tres monómeros, cada uno de ellos confiere sus propiedades sin afectar las otras":

- **Acrilonitrilo:** Imparte resistencia química, estabilidad térmica, dureza superficial y resistencia al envejecimiento.
- **Butadieno:** Proporciona resistencia al impacto, tenacidad y retención de propiedades a bajas temperaturas.
- **Estireno:** Contribuye con brillo, rigidez y facilidad de procesamiento.
(Hoechst, 1997)

La composición de los monómeros de ABS varía en función del proceso de polimerización que se utilice siendo los rangos más comunes los siguientes:

Acrilonitrilo	25 - 35%
Butadieno	15 - 30%
Estireno	45 - 55%

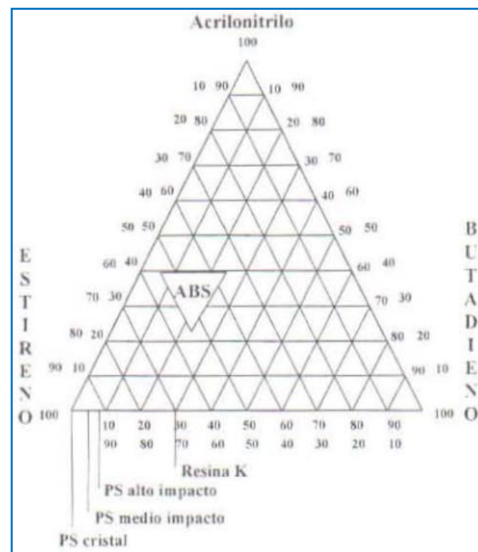


Figura 17. Diagrama triangular de la composición del ABS.

Fuente: (Hoechst, 1997)

2.5.1. Propiedades.

(Hoechst, 1997) cita que: “Al igual que los otros miembros de la familia del poliestireno, el ABS se caracteriza por tener densidad muy próxima al agua, esto es en el rango de 1.04 - 1.06. $\frac{g}{cm^3}$ ”.

(Hoechst, 1997) menciona: “Absorbe la humedad por lo que se requiere de un proceso de secado previo al moldeo para obtener piezas con buenas propiedades mecánicas y sin problemas de apariencia. Absorbe normalmente hasta 0.3% de humedad”.

(Hoechst, 1997) afirma: “En términos generales, muestra muy buenas propiedades mecánicas, tanto de resistencia a la tensión, al impacto y dureza, tanto a temperatura ambiente como a bajas temperaturas, incluso bajo cero”.

Tabla de las propiedades mecánicas y térmicas del ABS

Tabla 4**Propiedades del ABS (Acrilonitrilo butadieno estireno).**

Propiedades de ABS	
Densidad	1.05 $\frac{gr}{cm^3}$
Módulo de elasticidad (módulo de Young)	1.7 GPa
Ratio de Poisson	0.39
Resistencia a la tracción (tensile yield strength)	45 MPa
Resistencia a la fluencia a compresión (compressive yield strength)	54 MPa
Resistencia a la tracción máxima (tensile ultimate strength)	54 MPa
Conductividad térmica isotrópica (Isotropic thermal conductivity)	0.335 $\frac{W}{m \cdot K}$
Calor específico (Specific heat)	0.4 $\frac{Btu}{lb \cdot ^\circ F}$

Fuente: (Askeland D., 2011)

2.5.2. Aplicaciones

(Hoechst, 1997) manifiesta que: “El ABS se ha mantenido en mercados clave como el Eléctrico-Electrónico con aplicaciones para teléfonos, electrodomésticos, refrigeración y máquinas de Oficina; en el mercado automotriz para partes decorativas en interiores de automóviles y en exteriores para parrillas y fascias inyectadas o termoformadas, así como adornos cromados y carcazas para espejos y faros”.

(Hoechst, 1997) expresa: “En la industria automotriz se emplea en: piezas de carrocería, tableros, perfiles decorativos, articulas cromados, consolas centrales, guanteras, apoya brazos, rejillas delanteras, spoilers y carcazas de calaveras”.

2.6. Termoplástico PLA (Ácido poliláctico)

(Castro, 2015) indica que: “El PLA (Ácido Poliláctico) es un polímero biodegradable que se puede encontrar en el mercado de comercialización de plásticos desde 1990. Es uno de los plásticos en mayor estudio y desarrollo por sus múltiples aplicaciones en el mercado”.

(Castro, 2015) cita: “Este interesante polímero tiene su origen en el almidón proveniente de vegetales como: maíz, yuca, trigo, remolacha o caña de azúcar, lo que facilita su fuente de

extracción alejándola de los procesos de transformación de los hidrocarburos que caracterizan la obtención de otros polímeros”.



Figura 18. PLA granulado.

Fuente: (Castro, 2015)

(Castro, 2015) menciona: “Al ser biodegradable, este poliéster termoplástico, se descompone lentamente en moléculas más simples al entrar en contacto con compuestos como el agua u óxidos de carbono. De esa forma se asegura una reinserción natural a lo largo de su ciclo de vida, al contrario que plásticos derivados de hidrocarburos como el ABS”.

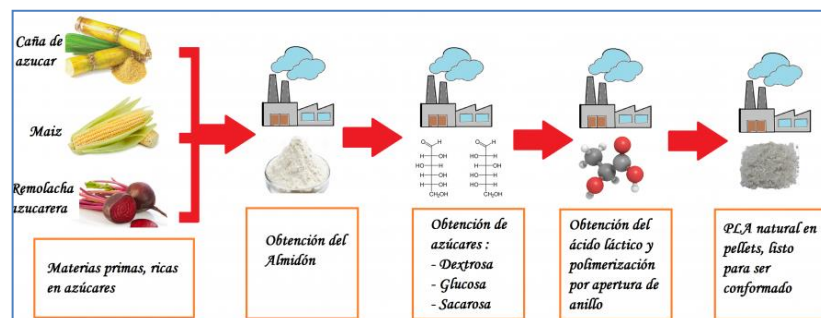


Figura 19. Proceso de obtención del PLA.

Fuente: (Castro, 2015)

(Vaca M., 2015) afirma que: “El PLA ya se comercializa como material para imprimir en 3D en forma de filamentos de dos grosores 1.75 y 3mm, aunque también puede encontrarse en forma de película”.



Figura 18. Filamentos del PLA.

Fuente: (imprimiren3d, 2014)

2.6.1. Características

- El PLA es un polímero permanente e inodoro.
- Es claro y brillante (se utiliza para fabricar baterías y juguetes).
- Resistente a la humedad y a la grasa. Tiene características de barrera del sabor y del olor similares al plástico de polietileno tereftalato, usado para las bebidas no alcohólicas y para otros productos no alimenticios. (Medina, 2007)
- La fuerza extensible y el módulo de elasticidad del PLA es también comparable al polietileno, además tiene una densidad más baja. (Medina, 2007)
- Es estable a la luz U.V., dando como resultado telas que no se decoloran.
- Su inflamabilidad es demasiado baja.
- El PLA se puede formular para ser rígido o flexible y puede ser copolimerizado con otros materiales.
- El PLA se puede hacer con diversas características mecánicas dependiendo del proceso de fabricación. (Medina, 2007)

2.6.2. Propiedades mecánicas y térmicas

Tabla 5

Propiedades mecánicas y térmicas del PLA (Ácido poliláctico)

Propiedades mecánicas y térmicas	
Densidad:	1,25 g/cm ³
Módulo de elasticidad (Young):	3.5 GPa
Elongación a la rotura:	6%
Módulo de flexión:	4 GPa
Resistencia a la flexión:	80 MPa
Temperatura de transición vítrea:	60°C
Temperatura de deflexión del calor (a 455 kPa):	65°C
Comienzo de fusión:	160°C
Módulo de corte:	2,4 GPa
Capacidad calorífica específica:	1800 J/kg-K
Relación fuerza-peso:	40 kN-m/kg
Resistencia a la tracción (UTS):	50 MPa
Conductividad térmica:	0,13 W/m-K

Fuente: (Terms, 2016)

El PLA puede soportar hasta 110°C de temperatura y tiene facilidades mecánicas similares al PET, pero es más resistente que este y por tanto en la elaboración de envases se ocupa un porcentaje menor de material.

(Termoplástico, 2014) manifiesta: “Por otra parte, a diferencia de los polímeros, su capacidad de biodegradarse es muy baja, se habla de un par de años, esto le da una gran ventaja en estos tiempos ecológicos, además de que ha resultado ser un material muy bueno en el campo quirúrgico ya que el cuerpo lo puede metabolizar”.

2.6.3. Aplicaciones

Sus aplicaciones son muy amplias, desde ropa quirúrgica, bandejas de microondas, piezas para operaciones, plásticos de ingeniería, empaquetado de verduras congeladas, también se utiliza para desechables de bebidas, empaques de alimentos, las tazas, bolsitas de té, y los desechables de alimentos como los platos, cubiertos, etc.

(PLA, 2015) expresa que: “Otra aplicación del PLA es la industria textil, en su presentación como fibra sintética. Estos polímeros tienden a ser estables a la luz ultravioleta dando como resultado telas con poca decoloración. Es un material ignífugo y de baja generación de humos”.

(PLA, 2015) indica: “El ácido poliláctico se ha convertido en un material indispensable en la industria médica, donde es utilizado desde hace años. Al ser el ácido poliláctico un polímero biodegradable y bioabsorbible (es decir, que puede ser asimilado por nuestro sistema biológico), hacen que el PLA sea un candidato ideal para implantes en el hueso o en tejidos (cirugía ortopédica, oftalmología, ortodoncia, lanzamiento controlado de medicamentos contra el cáncer), y para suturas (cirugía del ojo, cirugía del pecho y abdomen)”.

2.7. Termoplástico PET (Polietileno tereftalato)

(Quiminet, 2010) cita: “El Polietileno Tereftalato (PET) es un Poliéster Termoplástico y se produce a partir de dos compuestos principalmente: Ácido Terftálico y Etilenglicol. Este material tiene una baja velocidad de cristalización y puede encontrarse en estado amorfo-transparente o cristalino”.

El Polietileno Tereftalato en general se caracteriza por su elevada pureza, alta resistencia y tenacidad. De acuerdo a su orientación presenta propiedades de transparencia y resistencia química.

(PET, 2011) menciona que: “Existen diferentes grados de PET, los cuales se diferencian por su peso molecular y cristalinidad. Los que presentan menor peso molecular se denominan grado fibra, los de peso molecular medio, grado película y, de mayor peso molecular, grado ingeniería”.

(Mariano, 2011) afirma: “El PET (polietileno tereftalato) pertenece al grupo de los materiales sintéticos denominados poliésteres. A partir de 1946 se lo empezó a utilizar industrialmente como fibra y su uso textil ha proseguido hasta el presente”.

(Mariano, 2011) manifiesta: “En 1952 se lo comenzó a emplear para el embasamiento de alimentos, pero la aplicación que le significó su principal mercado fue en envases rígidos, a partir de 1976; pudo abrirse camino gracias a su particular aptitud para el embotellado de bebidas carbonatadas”.

2.7.1. Propiedades

El PET en general se caracteriza por su elevada pureza, alta resistencia y tenacidad. De acuerdo a su orientación presenta propiedades de transparencia y resistencia química.

(Mariano, 2011) expresa que: “Existen diferentes grados de PET, los cuales se diferencian por su peso molecular y cristalinidad.

Los que presentan menor peso molecular se denominan grado fibra, los de peso molecular medio, grado película y los de mayor peso molecular, grado ingeniería”.

(Mariano, 2011) indica: “Este polímero no se estira y no es afectado por ácidos ni gases atmosféricos, es resistente al calor y absorbe poca cantidad de agua, forma fibras fuertes y flexibles, también películas. Su punto de fusión es alto, lo que facilita su planchado, es resistente al ataque de polillas, bacterias y hongos”.

El PET presenta las siguientes características:

- Procesable por soplado, inyección y extrusión.
- Apto para producir botellas, películas, láminas, planchas y piezas.
- Transparencia (aunque admite cargas de colorantes) y brillo con efecto lupa.
- Alta resistencia al desgaste.
- Muy buen coeficiente de deslizamiento.
- Buena resistencia química y térmica.
- Muy buena barrera a CO₂, aceptable barrera a O₂ y humedad.
- Compatible con otros materiales barrera que mejoran en su conjunto la calidad barrera de los envases y por lo tanto permiten su uso en mercados específicos.
- Reciclable, aunque tiende a disminuir su viscosidad con la historia térmica.
- Aprobado para su uso en productos que deban estar en contacto con productos alimentarios.
- Excelentes propiedades mecánicas.
- Biorientable
- Cristalizable.
- Esterilizable por rayos gamma y óxido de etileno.
- Buena relación costo / performance.
- Se encuentra en el ranquin como No.1 en reciclado.
- Liviano. (Mariano, 2011)

Cuenta con las siguientes propiedades:

Tabla 6.

Propiedades del PET (Polietileno tereftalato).

Propiedades del PET	
Densidad	1,39 $\frac{gr}{cm^3}$
Módulo de elasticidad (módulo de Young)	0.896 GPa
Ratio de Poisson	0.434
Resistencia a la tracción (tensile yield strength)	72 MPa
Resistencia a la fluencia a compresión (compressive yield strength)	76 MPa
Resistencia a la tracción máxima (tensile ultimate strength)	86,4 MPa
Conductividad térmica isotrópica (Isotropic thermal conductivity)	0.35 $\frac{W}{m \cdot K}$
Calor específico (Specific heat)	1350 $\frac{J}{kg \cdot ^\circ K}$

Fuente: (Terry, 2000)

2.7.2. Aplicaciones

(Mariano, 2011) cita: “Por su impermeabilidad a los gases, el PET abarca casi el 100% del mercado de botellas retornables y no retornables para bebidas carbonatadas”.

(Mariano, 2011) menciona que: “Entre los múltiples usos dados al PET, debido a su durabilidad, estabilidad dimensional e insensibilidad a la humedad, sobresale respecto al destino que se le ha dado en la fabricación de envases de bebidas carbonatadas y de empaques de alimentos pues, no deteriora ni causa efectos de toxicidad a estos productos”.

(Mariano, 2011) afirma: “Debido a su alta resistencia dieléctrica y mecánica, el PET se utiliza como aislante de ranuras y fases en motores, condensadores, bobinas y transformadores. Así también ha servido para ser utilizado en la fabricación de conectores eléctricos de alta densidad, bloques terminales, circuitos integrados y partes electromecánicas, reemplazando de este modo a los materiales termoestables”.

(Mariano, 2011) manifiesta: “En la industria textil, la fibra de poliéster sirve para confeccionar gran variedad de telas y prendas de vestir. La ropa hecha con esta fibra es resistente a arrugarse.

Estas fibras son conocidas como Dacron y Fortrel y son ampliamente usadas en bienes de consumo como ropa y telas”.

El PET se utiliza en la fabricación de repuestos que necesitan superficies duras, planas y buena estabilidad dimensional. Por ejemplo en engranajes, levas, cojinetes, pistones y en bastidores de bombas que soportan elevadas fuerzas de impacto.

Los compuestos reforzados de PET (PRFV) son usados para fabricar tapas de distribuidores y componentes de pintura exterior para automóviles.

Otros ejemplos:

- Poleas
- Rodillos
- Elementos de bombas
- Casquillos y cojinetes con bajo coeficiente de fricción
- Engranajes
- Soporte para piezas de recambio
- Piezas para carcasas diversas
- Cilindros de laminación
- Clavijas para enchufes
- Aisladores
- Piezas para amasar y agitar
- Juntas (Sanmetal, 2010)

2.8. Parámetros para el diseño de colectores de admisión.

2.8.1. Introducción

(Ilba, Jhon, & Carlos, 2008) “En el desarrollo de los motores de combustión interna alternativos (MCIA) actuales, se buscan herramientas conceptuales que permitan dar pautas para cumplir

cada vez más exigentes políticas de reducción de emisiones, consumos energéticos y dependencia de los combustibles fósiles. Una de las formas de abordar dicho estudio consiste en profundizar en el ciclo termodinámico a partir de dos etapas: el ciclo cerrado, que comprende los fenómenos que suceden dentro del cilindro y tienen lugar mientras las válvulas se encuentran cerradas, y el ciclo abierto, también denominado proceso de renovación de carga (RC), que hace referencia a los fenómenos que suceden en los múltiplos de admisión y escape mientras las válvulas permanecen abiertas”.

(Ilba, Jhon, & Carlos, 2008) “La renovación de carga es un objeto de estudio, para conocer el comportamiento de flujo dentro de los múltiplos durante este proceso y sintonizarlo con las condiciones de operación permite, a través de estrategias de diseño y control, disminuir el trabajo de bombeo y aumentar la cantidad de aire admitido, mejorando así el rendimiento volumétrico y la potencia”.

2.8.2. Generalidades de la renovación de carga.

(Ilba, Jhon, & Carlos, 2008) “La renovación de carga es el proceso mediante el cual el motor expulsa los gases quemados y admite la mezcla fresca durante cada ciclo. El trabajo que realiza el pistón para llevar a cabo este proceso se denomina trabajo de bombeo y su efecto sobre el sistema es una reducción de la energía disponible en el combustible. Minimizar ese trabajo constituye uno de los principales retos de la renovación de carga, ya que mediante el aprovechamiento de la fluido-dinámica de los gases dentro de los múltiplos, de acuerdo con las condiciones geométricas y de funcionamiento del motor, es posible aumentar la masa de aire admitida y por tanto el rendimiento volumétrico y la potencia. En las ecuaciones 3 y 4 se aprecia la relación directa de la masa de aire admitida (m_a) y el rendimiento volumétrico (η_v) con la potencia de salida, para un motor de cuatro tiempos”.

$$P = n_f * \dot{m}_a * F * PCI$$

Ecuación 12. Potencia en función de la masa de aire admitida

Fuente: (Ilba, Jhon, & Carlos, 2008)

$$P = n_f * n_v * \rho_{ref} * V_d * n * i * F * PCI$$

Ecuación 13. Potencia en función del rendimiento volumétrico

Fuente: (Ilba, Jhon, & Carlos, 2008)

Donde:

n_f = Eficiencia de transformación del combustible en energía útil.

PCI = Poder calorífico inferior del combustible. [KJ/kg]

F = El dosado $\left(\text{relación} \frac{\text{combustible}}{\text{aire}} \right)$

ρ_{ref} = Densidad de referencia a la entrada del cilindro. [Kg/m³]

V_d = La cilindrada. [m³]

n = Regimen de giro. [rpm]

i = Numero de cilcos de potencia por revolución

(0.5 para un motor de 4 tiempos)

P = Potencia efectiva. [kW]

2.8.3. Proceso de admisión y escape de un motor de cuatro tiempos.

(Ilba, Jhon, & Carlos, 2008) “Teóricamente la apertura de la válvula de escape (AVE) se da en el punto muerto inferior (PMI), sin embargo, para aprovechar el escape espontáneo se suele permitir que abra un poco antes (AAE), aproximadamente entre 60 y 40° de giro del cigüeñal antes del PMI, con lo cual se resta una fracción de la energía disponible en los gases para producir trabajo”.

(Heywood J. , 1998) “El cierre de la válvula de escape se realiza un poco antes del punto muerto superior (PMS) y retraso al cierre de escape (RCE), suele estar entre 15 y 30° de giro del cigüeñal después del PMS, para aprovechar la inercia de los gases y alcanzar mejor evacuación de los gases quemados”.

(Heywood J. , 1998) “La admisión se realiza después de la carrera de escape cuando el pistón va desde el PMS al PMI, e igual que en el escape, se realiza un avance a la apertura (AAA) que suele durar entre 10 y 20° de giro del cigüeñal antes del PMS y un

retraso al cierre (RCA) que suele oscilar entre 50 y 70° de giro de cigüeñal después del PMS, con el fin de aprovechar la inercia de los gases y aumentar la cantidad de aire admitido”.

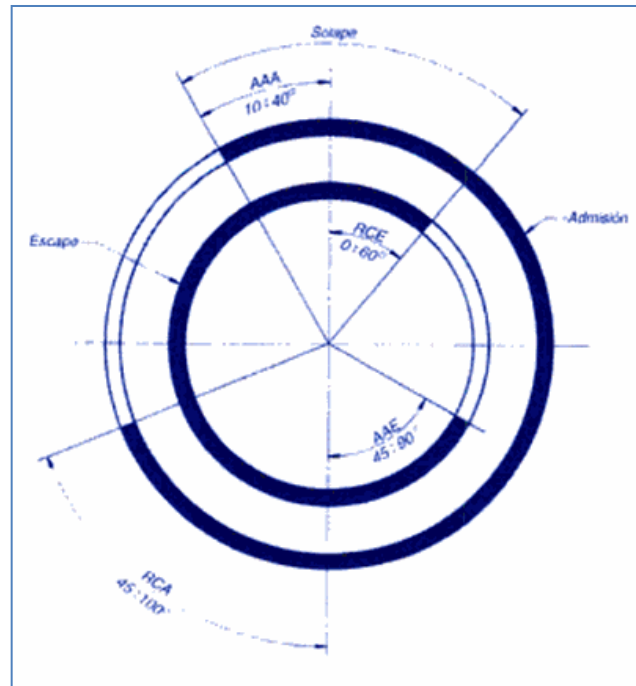


Figura 19. Diagrama de Distribución.

Fuente: (Ceac, 2004)

(Ilba, Jhon, & Carlos, 2008) “Cuando la válvula de escape está abierta y los gases salen del cilindro, viajan hacia el exterior ondas de compresión que se reflejan al llegar al extremo abierto, retornando como ondas de expansión. Entre estas dos ondas existe un desfase angular que puede identificarse para sintonizar la llegada de la onda de expansión con el momento en el cual se vuelve a abrir la válvula, y de esta forma ayuda a la extracción de gases. De manera análoga es para el proceso de admisión y de tal manera ayuda a la admisión de gases. La figura 22 representa la propagación y reflexión de ondas en los múltiplos de admisión y escape, en ella las líneas continuas representan las ondas que viajan desde el cilindro y las líneas punteadas las ondas reflejadas”.

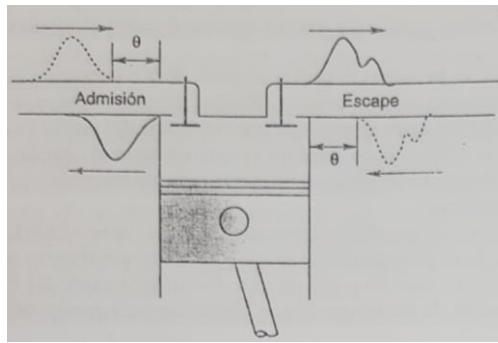


Figura 20. Movimientos de ondas de presión y expansión en la admisión y escape.

Fuente: (Ilba, Jhon, & Carlos, 2008)

2.8.4. Modelo matemático

(Ilba, Jhon, & Carlos, 2008) “La dinámica de flujos compresibles presente en los múltiplos de admisión y escape de los motores, obedece a varias ecuaciones genéricas que describen en términos matemáticos el comportamiento del flujo. Generalmente se utiliza un sistema compuesto por las ecuaciones de la conservación de masa, de la energía y de la cantidad de movimiento lineal; con lo cual se puede determinar variaciones de las propiedades del fluido como: (velocidad, temperatura, presión, etc.)”.

2.8.5. Tipo de fluido y de flujo en los múltiplos

(Heywood J. , 1998) “En los motores de admisión de los MCIA, el fluido de trabajo depende del tipo de motor; en los motores de encendido provocado (MEP) es una mezcla de aire combustible, mientras que en los motores de encendido por compresión (MEC) es solo aire. En ambos pueden haber gases recirculados desde el escape para el control de emisiones (EGR), lo cual afecta a los MEP, porque entre los múltiplos de admisión y escape las magnitudes de presión son comparables y las de compresión son mayores”.

(Heywood J. , 1998; Benson, 1982) “Pese a las diferencias que pueda presentar el fluido en los múltiplos de admisión y escape, las simulaciones del proceso de renovación de la carga se basan

generalmente en modelos de flujo de aire, y usualmente se ignoran las variaciones en compresión y la presencia de cualquier película de combustible en las paredes de los múltiples”.

Para aquello se realizan las siguientes consideraciones:

El aire es un gas ideal, por eso cumple la siguiente ecuación de estado:

$$\frac{p}{\rho} = R_g * T$$

Ecuación 14. Ecuación de estado del aire

Fuente: (Ilba, Jhon, & Carlos, 2008)

Donde:

p = Es la presión. [Pa]

ρ = Es la densidad. [kg/m³]

R_g = Es la constante específica del gas. [8.3144 J/ (°K*mol)]

T = Es la temperatura. [°K]

La energía interna (e) es únicamente función de la temperatura.

$$e = f(T)$$

Ecuación 15. Energía Interna en función de la temperatura

Fuente: (Ilba, Jhon, & Carlos, 2008)

Si se considera el aire como un gas perfecto, la energía interna resulta ser una función lineal de la temperatura:

$$e = C_v * T$$

Ecuación 16. Energía interna en función lineal de la temperatura

Fuente: (Ilba, Jhon, & Carlos, 2008)

Donde:

C_v = Calor específico del aire. [J/(°K*mol)]

(Winterbone & Pearson, 2000) “Para el flujo en múltiples de motores pueden despreciarse los efectos de las fuerzas intermoleculares. Esta hipótesis sigue siendo válida aun para motores turbo cargados, donde las presiones máximas del cilindro pueden ser hasta de 160 bar”.

(Winterbone & Pearson, 2000) “El comportamiento del fluido en movimiento depende en gran medida de la resistencia que opongan sus partículas al desplazamiento. Al considerar el aire como fluido newtoniano, esta resistencia se determina a partir de la ley de viscosidad de Newton”:

$$\tau = \mu * \frac{d\mu}{dy}$$

Ecuación 17. Esfuerzo viscoso

Fuente: (Ilba, Jhon, & Carlos, 2008)

Donde:

τ = Es el esfuerzo viscoso. [Pa-s]

$\frac{d\mu}{dy}$ = Es la tasa de deformación angular.

μ = El coeficiente de viscosidad. [Pa-s]

(Shames, 1995) “En otros casos, por ejemplo, donde el flujo no se considera paralelo se presentan relaciones más generales entre el campo de velocidad y el campo de esfuerzos, siendo necesario emplear leyes como la de viscosidad de Stokes”.

(Winterbone & Pearson, 2000) “Para los gases, el coeficiente de viscosidad es el resultado del movimiento aleatorio de las moléculas, el cual tiene fuerte influencia de la temperatura y en proporciones despreciables de la presión. La correlación desarrollada por Sutherland, como lo proponen”:

$$\mu = \frac{C_1 * T^{\frac{3}{2}}}{T + C_2}$$

Ecuación 18. Coeficiente de viscosidad

Fuente: (Ilba, Jhon, & Carlos, 2008)

Donde:

C_1 y C_2 son las constantes para el aire y su valor es:

$$C_1 = 1.458 * 10^{-6} \left[\frac{kg}{ms\sqrt{K}} \right] \text{ y } C_2 = 110.4 [K]$$

(Ilba, Jhon, & Carlos, 2008) “Esta ecuación se considera válida tanto para el fluido en el escape como la admisión, por los grandes porcentajes de nitrógeno que poseen los gases en el escape”.

2.8.6. Ecuaciones de transporte

(Ilba, Jhon, & Carlos, 2008) “Se aplican las leyes de conservación de la masa, energía y momento lineal a un volumen de control que representa un elemento de fluido dentro de los múltiples de admisión y escape”.

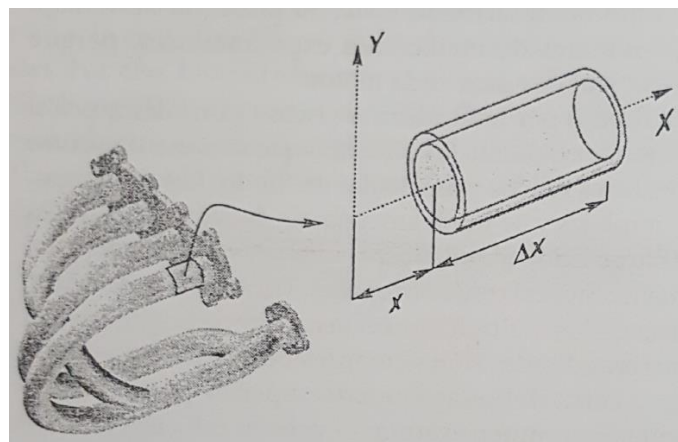


Figura 21. Volumen de control

Fuente: (Ilba, Jhon, & Carlos, 2008)

(Ilba, Jhon, & Carlos, 2008) “El volumen de control analizado se muestra en la figura 23. Se trata de un cilindro de fluido que viaja a través de un conducto (el múltiple de admisión o escape) de sección transversal constante, y para el cual se considera flujo unidimensional durante todo su recorrido”.

(Ilba, Jhon, & Carlos, 2008) “En este volumen, para los balances de energía, masa y momento lineal, se requiere definir la relación

entre los flujos por unidad de área (flux) en las caras ubicadas en x y en $x+\Delta x$, por lo cual se emplea la serie de Taylor”:

$$(\phi \rho \mu A)_{x+\Delta x} = (\phi \rho \mu A)_x + \frac{d((\phi \rho \mu A))}{dx} \Delta x$$

Ecuación 19. Serie de Taylor

Fuente: (Ilba, Jhon, & Carlos, 2008)

Donde $\phi = 1$,

u, e_0 para la conservación de la masa, el momento y la energía respectivamente.

(Ilba, Jhon, & Carlos, 2008) “El subíndice 0 hace referencia a las propiedades de remanso”.

2.8.7. Conservación de la masa

(Ilba, Jhon, & Carlos, 2008) “Esta ecuación expresa un balance de flujos másicos en el volumen de control: el cambio de masa dentro del volumen debe ser igual a la diferencia entre los flujos másicos que entran en x y salen en $x+\Delta x$ del volumen (flujo neto). Esta ley en términos matemáticos para la geometría mostrada es”:

$$\frac{d(\rho A \Delta x)}{dt} = (\rho \mu A)_x - (\rho \mu A)_{x+\Delta x}$$

Ecuación 20. Conservación de la masa

Fuente: (Ilba, Jhon, & Carlos, 2008)

Como el área transversal se considera constante, al dividir por el volumen ($A\Delta x$) y teniendo en cuenta la ecuación 10 y 11; se transforma en ecuación de la conservación de la masa:

$$\frac{d(\rho)}{dt} + \frac{d(\rho \mu)}{dx} = 0$$

Ecuación 21. Conservación de la masa a volumen constante

Fuente: (Ilba, Jhon, & Carlos, 2008)

2.8.8. Conservación de la cantidad de movimiento

(Ilba, Jhon, & Carlos, 2008) “El flujo de cantidad de movimiento puede darse por dos mecanismos diferentes: transferencia molecular y advección (movimiento del fluido como un conglomerado), sin embargo, se asume que sólo existe fricción entre fluido y el sólido, se desprecia el mecanismo de tipo molecular. Esta suposición la verificaron investigadores como Bulaty y Niessner, citados por (Winterbone & Pearson, 2000), quienes encontraron que los efectos de las fuerzas viscosas internas son despreciables de los demás términos”.

(Ilba, Jhon, & Carlos, 2008) “Este balance se presenta solo en la dirección de flujo y la conservación de signos adoptada establece como positivas las fuerzas en dirección positiva del eje x. Se desprecian las fuerzas gravitacionales y se tienen en cuenta las fuerzas originadas por el gradiente de presiones y la fricción en las paredes”.

$$\frac{d(\rho\mu A\Delta x)}{dt} = [(\rho\mu)\mu A]_x - [(\rho\mu)\mu A]_{x+\Delta x} + [(pA)_x - (pA)_{x+\Delta x}] - \tau\pi D\Delta x$$

Ecuación 22. Conservación de la cantidad de movimiento

Fuente: (Ilba, Jhon, & Carlos, 2008)

Donde:

τ = Es el esfuerzo viscoso. [Pa-s]

D = Es el diámetro del conducto. [m]

Al dividir por el volumen ($A\Delta x$) y teniendo en cuenta la ecuación 10; la ecuación 13 se transforma en:

Ecuación de conservación de la cantidad de movimiento:

$$\frac{d(\rho\mu)}{dt} + \frac{d(\rho\mu)\mu}{dx} + \frac{d(p)}{dx} + \frac{\tau\pi D}{A} = 0$$

Ecuación 23. Conservación de la cantidad de movimiento

Fuente: (Ilba, Jhon, & Carlos, 2008)

2.8.9. Conservación de la energía

(Ilba, Jhon, & Carlos, 2008) “La ecuación de conservación de la energía representa un balance, ahora expresado por la primera ley de la termodinámica. El cambio de energía cinética e interna del fluido en el volumen, debe ser igual a la diferencia de flujos de energía que entran y salen del volumen con los flujos másicos, más el flujo neto de energía por transferencia de calor (convección, radiación y conducción) menos el trabajo realizado por el sistema”.

$$\frac{d(\rho e_0 A \Delta x)}{dt} = [(\rho e_0 \mu A)_x - (\rho e_0 \mu A)_{x+\Delta x}] + [(p \mu A)_x - (p \mu A)_{x+\Delta x}] + q$$

Ecuación 24. Cambio de energía cinética e interna del fluido en el volumen

Fuente: (Ilba, Jhon, & Carlos, 2008)

Donde:

q = Es el calor transferido desde el volumen hacia los alrededores por convección. [J]

Teniendo en cuenta la relación entre entalpía y energía dada por la ecuación 23^a:

$$h_0 = e_0 + \frac{p}{\rho}$$

Ecuación 25. Relación entre entalpía y energía

Fuente: (Ilba, Jhon, & Carlos, 2008)

Donde:

h_0 = Coeficiente convectivo de parada. [W/(m²*°K)]

Y al dividir por el volumen ($A \Delta x$), la ecuación 24 se transforma en:

$$\frac{d(\rho e_0)}{dt} + \frac{d(\rho \mu h_0)}{dx} + \frac{d(p)}{dx} - \frac{q}{A \Delta x} = 0$$

Ecuación 26. Conservación de la energía

Fuente: (Ilba, Jhon, & Carlos, 2008)

2.8.10. Fricción

(Ilba, Jhon, & Carlos, 2008) “Los esfuerzos viscosos en el flujo a través de los múltiples se generan entre películas de fluido y las paredes del conducto. Este último puede expresarse en términos de un factor de fricción (f) como”:

$$r = \frac{1}{2} \rho \mu^2 f$$

Ecuación 27. Esfuerzo viscoso en función de un factor de fricción

Fuente: (Ilba, Jhon, & Carlos, 2008)

(Winterbone & Pearson, 2000) “La medición experimental de Sung en 1995 indica un valor constante entre 0.004 y 0.01. Esto porque los regímenes de flujo, números de Reynolds en motores se encuentran entre $1 * 10^4 \leq Re \leq 5 * 10^5$ y al consultar el diagrama de Moody con rugosidades superficiales de 2.5 mm (típicas en múltiples), los valores se encuentran entre 0.0035 y 0.008”.

(Ilba, Jhon, & Carlos, 2008) “En función del número de Reynolds en régimen turbulento y laminar a partir de las ecuaciones de Blasius (véase ecuación 26) y Poiseuille (véase ecuación 27) para régimen turbulento y laminar respectivamente”.

$$f = \frac{0.0791}{Re^{0.25}}$$

Ecuación 28. Factor de fricción en régimen turbulento

Fuente: (Ilba, Jhon, & Carlos, 2008)

$$f = \frac{16}{Re}$$

Ecuación 29. Factor de fricción en régimen laminar

Fuente: (Ilba, Jhon, & Carlos, 2008)

El número de Reynolds se define como:

$$Re = \frac{\rho u D}{\mu}$$

Ecuación 30. Número de Reynolds

Fuente: (Ilba, Jhon, & Carlos, 2008)

(Winterbone & Pearson, 2000) “A partir de la ecuación propuesta por Swamee, la cual es válida entre rangos típicos en motores; números de Re y rugosidades relativas $5 * 10^3 < Re < 10^8$ y $10^{-6} < h/D < 10^{-2}$ respectivamente”:

$$f = \frac{0.25}{[\log_{10}(\frac{k}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}})]^2}$$

Ecuación 31. Factor de fricción citado por Winterbone y Pearson (2000)

Fuente: (Ilba, Jhon, & Carlos, 2008)

(Ilba, Jhon, & Carlos, 2008) “Este factor de fricción puede complementarse al aplicarle factores de corrección, determinados experimentalmente para cada tipo de geometría y condiciones de operación, para tener en cuenta la influencia de las pérdidas en los codos pérdidas en los codos k^*_b , el número de Reynolds C_{Re} , la longitud de la tubería C_0 , y su rugosidad C_f así”:

$$f = \frac{D}{\Delta x} k^*_b * C_{Re} * C_0 * C_f$$

Ecuación 32. Factor de fricción aplicando factores de corrección mencionados

Fuente: (Ilba, Jhon, & Carlos, 2008)

(Ilba, Jhon, & Carlos, 2008) “En esta propuesta de ecuaciones se selecciona la de Swamee porque cubre un rango típico de rugosidades relativas y números de Reynolds en motores, y su programación es sencilla. Sin embargo, si se cuenta con coeficientes experimentales es fácil incluir los efectos descritos por la ecuación 30”.

2.8.11. Transferencia de calor

(Winterbone & Pearson, 2000) “El flujo a través de los múltiples transfiere calor por convección, radiación y conducción, de los cuales el de mayor contribución en las **ecuaciones** de conservación de la energía es el mecanismo de convección, que puede evaluarse como”:

$$q = h * \pi * D \Delta x (T_w - T_g)$$

Ecuación 33. Calor transferido por convección

Fuente: (Ilba, Jhon, & Carlos, 2008)

Donde:

h = Es el coeficiente convectivo. [W/(m²*°K)]

T_w = Es la temperatura media de la pared. [°K]

T_g = Temperatura media del gas. [°K]

(Sung, Choi, & Jeong, 1995) “En la literatura muchos autores presentan métodos para el cálculo del coeficiente convectivo; entre ellos se destaca el empleo de la analogía de Reynolds, que resulta de establecer, vía análisis dimensional en la capa límite, la analogía entre el transporte de energía y de cantidad de movimiento. Con esta analogía el coeficiente convectivo y el factor de fricción se relacionan de la siguiente manera”:

$$h = \frac{f}{2} * C_p * \mu * \rho$$

Ecuación 34. Coeficiente convectivo relacionado con el factor de fricción

Fuente: (Ilba, Jhon, & Carlos, 2008)

(Incropera & De Witt, 1996) “No hay transferencia de calor cuando el fluido está en reposo debido a que el coeficiente convectivo se hace cero, esta condición es aceptable dada la despreciable contribución de la radiación y conducción encontrada por varios investigadores (Winterbone & Pearson, 2000). El gradiente de presiones se limita a esta analogía, el cual es despreciable y el

número de Prandtl (Pr) que debe ser cercano a uno. Pero se pueden aplicar correcciones a un rango de $0.6 \leq Pr \leq 60$ para extender y mejorar los resultados de la analogía”.

$$h = \frac{f}{2} * C_p * \mu * \rho * Pr^{2/3}$$

Ecuación 35. Coeficiente convectivo en función del número de Prandtl

Fuente: (Ilba, Jhon, & Carlos, 2008)

(Winterbone & Pearson, 2000) “El flujo en los múltiplos de admisión y escape tiene Pr cercanos a 0.7, por ello se considera válida su aplicación”.

(Ilba, Jhon, & Carlos, 2008) “Otra alternativa para el cálculo del coeficiente convectivo consiste en el empleo de alguna de las diversas relaciones experimentales establecidas para el número de Nusselt y el número de Reynolds, determinada por autores que tomaron en cuenta efectos de entrada d flujo, la existencia de codos y muchos factores”:

(Winterbone & Pearson, 2000) “Petukhow, como lo mencionan, asumió que el flujo era siempre turbulento y midió en canales rectos y obtuvo”:

$$Nu = \frac{\left(\frac{f}{2}\right) * Re * Pr}{1.07 + 12.7 * \left(\frac{f}{2}\right)^{\frac{1}{2}} * (Pr^{\frac{2}{3}} - 1)}$$

Ecuación 36. Número de Nusselt

Fuente: (Ilba, Jhon, & Carlos, 2008)

Meisner y Sorenson, como lo mencionan Kandylas y Stamatelos (1999), midieron en múltiplos y obtuvieron:

$$Nu = 0.077 * Re^{0.769}$$

Ecuación 37. Número de Nusselt según Meisner y Sorenson

Fuente: (Ilba, Jhon, & Carlos, 2008)

(Depcik & Assanis, 2002) “presentaron una revisión más detallada de las relaciones anteriores y propusieron una propia”:

$$Nu = 0.07 * Re^{3/4}$$

Ecuación 38. Número de Nusselt según Depcik y Assnis

Fuente: (Ilba, Jhon, & Carlos, 2008)

(Ilba, Jhon, & Carlos, 2008) “Si adicionalmente se desea complementar el cálculo de la transferencia de calor para un estado transitorio y no cuasiestable como lo hacen los autores y modelos mencionados, es necesario tener en cuenta que el coeficiente convectivo no sólo depende de Nu (Numero de Nusselt) y Re, sino también de la tasa de cambio de la velocidad”.

$$Nu = C_1 * Re^{1-\beta} * Pr^{1/3} * (1 + C_2 * \frac{L}{u} * \frac{du}{dt})^{1-\beta}$$

Ecuación 39. Numero de Nusselt en función de la tasa de cambio de velocidad

Fuente: (Ilba, Jhon, & Carlos, 2008)

Donde:

L = Hace referencia a la longitud de las escalas.

β = Es una constante que depende del régimen de flujo.

C_1 y C_2 = Son constantes de calibración.

2.8.12. Ecuaciones generalizadas

(Ilba, Jhon, & Carlos, 2008) “Al reemplazar el esfuerzo viscoso y el coeficiente convectivo en términos del factor de fricción y empleando la analogía de Reynolds las ecuaciones 12, 14, 16, se transforman en”:

$$\frac{d(\rho)}{dt} + \frac{d(\rho u)}{dx} = 0$$

Ecuación 40. Conservación de la masa a volumen constante generalizada

Fuente: (Ilba, Jhon, & Carlos, 2008)

$$\frac{d(\rho u)}{dt} + \frac{d(\rho u)u}{dx} + \frac{d(p)}{dx} + \frac{2\rho u|u|f}{D} = 0$$

Ecuación 41. Conservación de la cantidad de movimiento generalizada

Fuente: (Ilba, Jhon, & Carlos, 2008)

$$\frac{d(\rho e_0)}{dt} + \frac{d(\rho u h_0)}{dx} + \frac{d(p)}{dx} - \frac{2fC_p(T_w - T_g)}{D} = 0$$

Ecuación 42. Conservación de la energía generalizada

Fuente: (Ilba, Jhon, & Carlos, 2008)

(Ilba, Jhon, & Carlos, 2008) “El valor absoluto de la velocidad se emplea con el fin de garantizar que la dirección de la fuerza viscosa sea siempre contraria al movimiento del fluido. Para facilitar el análisis y solución del sistema de ecuaciones, estas se agrupan y expresan en forma general, así”:

$$\frac{dW}{dt} + \frac{dF(W)}{dx} + C(W) = 0$$

Ecuación 43. Agrupación del sistema de ecuaciones

Fuente: (Ilba, Jhon, & Carlos, 2008)

Donde los parámetros de la ecuación 43 toman la forma de los términos presentados en la figura 26.

Por lo tanto las ecuaciones que rigen los fenómenos que se van a estudiar pueden presentarse de la siguiente manera:

Parámetros	W	$F(W)$	$C(W)$
Continuidad	ρ	ρu	0
Conservación de la cantidad de movimiento	ρu	$\rho u^2 + p$	$\frac{2\rho u u f}{D}$
Conservación de la energía	ρe_0	ρh_0	$-\frac{2f\rho u C_p}{D}(T_w - T_g)$

h_0 es la entalpía de remanso.

Figura 22. Parámetros de las ecuaciones de conservación.

Fuente: (Ilba, Jhon, & Carlos, 2008)

$$W = \begin{bmatrix} \rho \\ \rho u \\ \rho e_0 \end{bmatrix} F(W) = \begin{bmatrix} \rho u \\ \rho u^2 + p \\ \rho h_0 \end{bmatrix} C(W) = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{2\rho u|u|f}{D} \\ -\frac{2f\rho u c_p}{D}(T_w - T_g) \end{bmatrix}$$

Ecuación 44. Ecuaciones de diferencial parcial

Fuente: (Ilba, Jhon, & Carlos, 2008)

(Ilba, Jhon, & Carlos, 2008) “Estas ecuaciones son el tipo diferencial parcial y están constituidas por términos que representan”:

$\frac{dW}{dt}$: La acumulación de las propiedades (masa, cantidad de movimiento y energía) , en volumen de control.

$\frac{dF(W)}{dx}$: El flujo neto de las propiedades a través del volumen de control , se denominan términos convectivos.

$C(W)$: El flujo neto de las propiedades a través del volumen de control , se denominan términos fuente.

2.8.13. Fuerza de ajuste en múltiples de admisión

Para realizar un ajuste efectivo en los múltiples de admisión se tiene que tener en cuenta la resistencia a la fractura de los materiales y la resistencia requerida por los múltiples de admisión.

Las fórmulas son las siguientes:

$$Fmp = R_f * \frac{\pi * d^2}{4}$$

Ecuación 45. Fuerza máxima permisible requerida por el material

Fuente: (Wittel, Muhs, Jannasch, & Vosseik, 2014)

Donde:

F_{mp} = Fuerza máxima permisible. [KN]

R_f = Resistencia a la fractura. [Mpa]

d = Diámetro de la tuerca.

Para obtener el momento de ajuste máximo se aplica la siguiente ecuación simplificada:

$$M_m = 0.17 * F_{mp} * d$$

Ecuación 46. Momento máximo de ajuste

Fuente: (Wittel, Muhs, Jannasch, & Vosseik, 2014)

Donde:

M_m = Momento máximo de ajuste. [N*m]

La ecuación 45 y la ecuación 46 son los requerimientos del material al realizar el ajuste, para realizar la comparación con el material original se utilizan las mismas ecuaciones ya mencionadas cambiando el valor de resistencia a la fractura o buscando los diámetros que existan en el mercado.

CAPÍTULO III

3. MODELACIÓN Y SIMULACIÓN DEL MÚLTIPLE DE ADMISIÓN CON HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES.

3.1. Modelado del múltiple de admisión

Mediante la utilización de herramientas de medición como: calibrador pie de rey, micrómetro, regla métrica, graduador, se toma las dimensiones del múltiple estándar y con ayuda de un software se realiza el plano (ver anexo D) y el modelado geométrico en tres dimensiones 3D del múltiple de admisión que se representa a continuación con sus respectivas vistas.

Las medidas de la base son de relevancia ya que es la parte más cercana al motor y debe soportar el apriete que se da a las tuercas para sujetarlo a la culata.

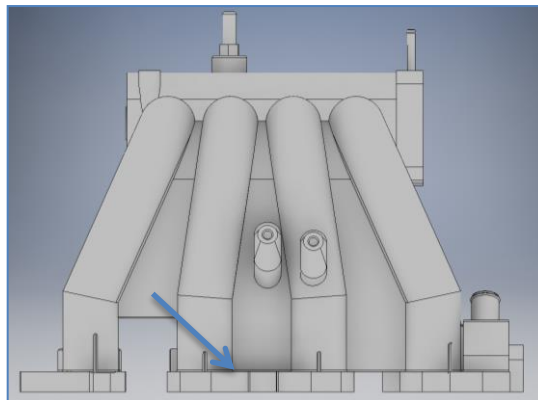


Figura 23. Vista frontal del múltiple de admisión

El múltiple tiene en su base las perforaciones en donde van los pernos que salen de la culata, también consta de cuatro salidas por donde el aire se dirige al motor.

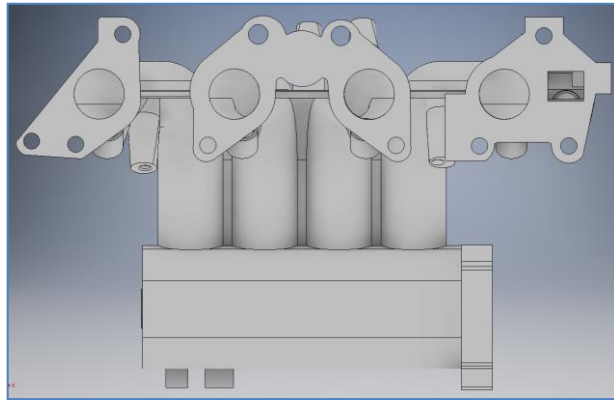


Figura 24. Vista inferior del múltiple de admisión

En cada uno de los conductos, el múltiple tiene un orificio en donde van los inyectores y deben tener la distancia y el diámetro correcto ya que el riel de combustible es metálico y los elementos de inyección tienen que entrar con precisión.

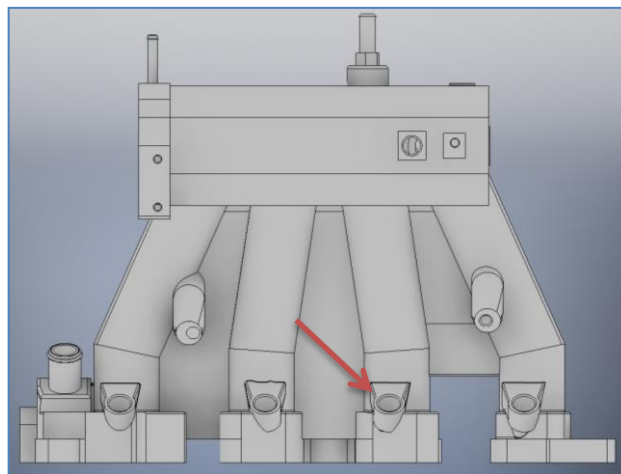


Figura 25. Vista posterior del múltiple de admisión

En la entrada de aire del múltiple se tiene cuatro orificios en los cuales van espárragos para poder sujetar el cuerpo de aceleración y a un costado tubos que se conectan con las mangueras de vacío, además a un costado posee una toma de agua con una notable inclinación, para que al armar todo el conjunto del colector de admisión no choque con el alternador que se encuentra tras el múltiple.

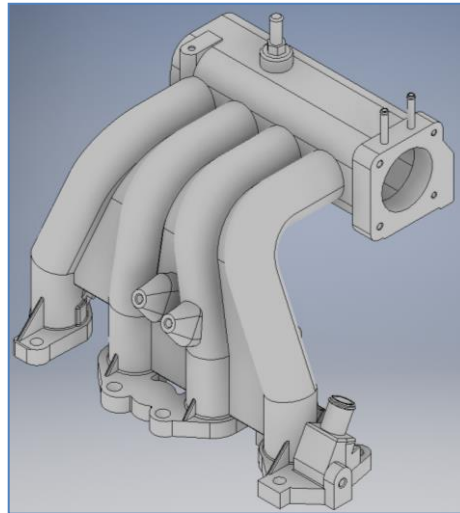


Figura 26. Vista estándar del múltiple de admisión

3.2. Simulación de flujo de aire

3.2.1. Extracción del volumen interno del múltiple.

Se abre el múltiple modelado en el programa Ansys – SpaceClaim, en la pestaña preparar, se selecciona la opción extraer volumen y se procede a seleccionar todos los límites del volumen interno del múltiple por donde fluye el aire de admisión.

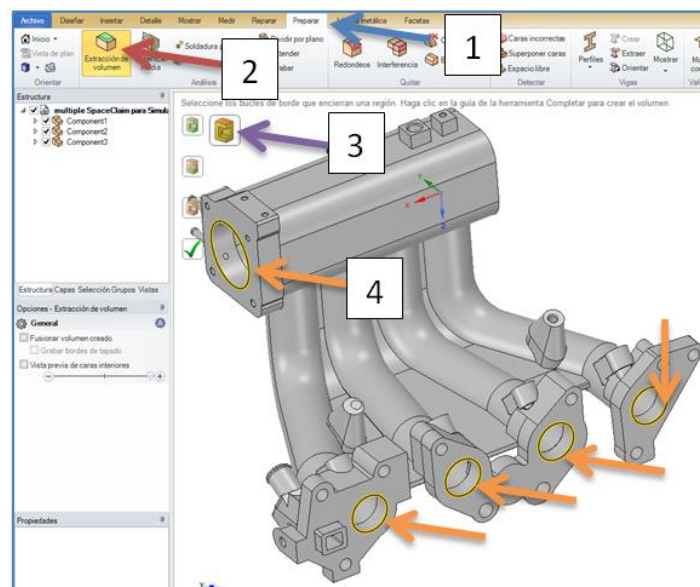


Figura 27. Ansys – SpaceClaim, extracción del volumen.

Una vez seleccionados todos los límites, se da clic en el visto de completar.

En el nuevo volumen que se ha generado, se hace clic derecho y escoge la opción 'Nuevo componente'.

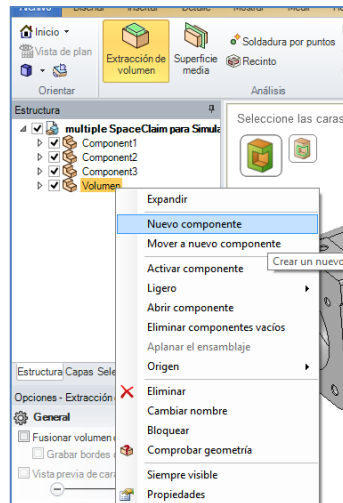


Figura 28. Generación del nuevo componente.

Para poder utilizar el nuevo volumen se guarda el archivo con una extensión compatible con el software de simulación, por lo cual se lo guarda como .stp ó .step .

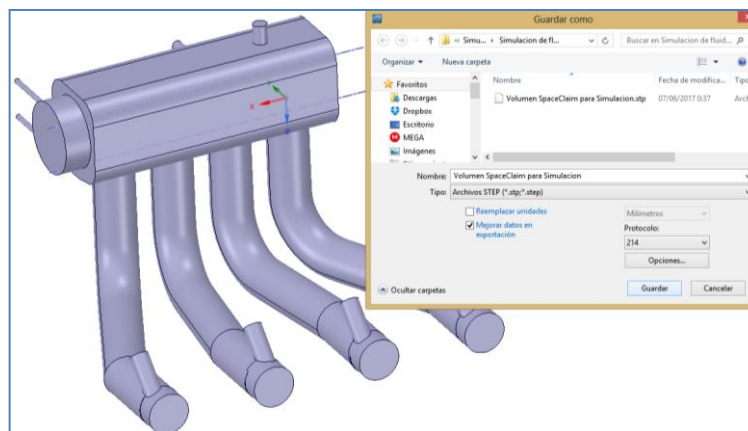


Figura 29. Guardado como una extensión .stp .

Finalmente se tiene un volumen sólido en el cual se puede iniciar la simulación del flujo de aire que pasa por el interior de múltiple.

3.2.2. Simulación en el software NX 11.

Buscar en el lugar que se guarda el volumen y se abre el archivo con una de las extensiones antes mencionadas (.stp ó .step).

Para ellos, en la ventana de 'Abrir', en la casilla de 'Tipo' se selecciona 'Todos los archivos' y se busca un archivo con la extensión correspondiente y abrir.

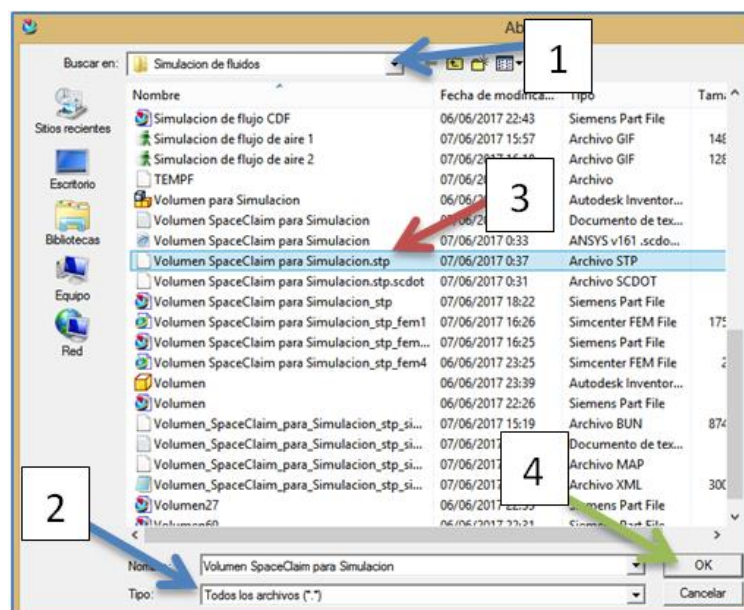


Figura 30. Selección del archivo con extensión .stp .

Una vez que se tiene el sólido interno del múltiple, en la pestaña 'Aplicación' clic en 'Procesamiento/postprocesamiento'

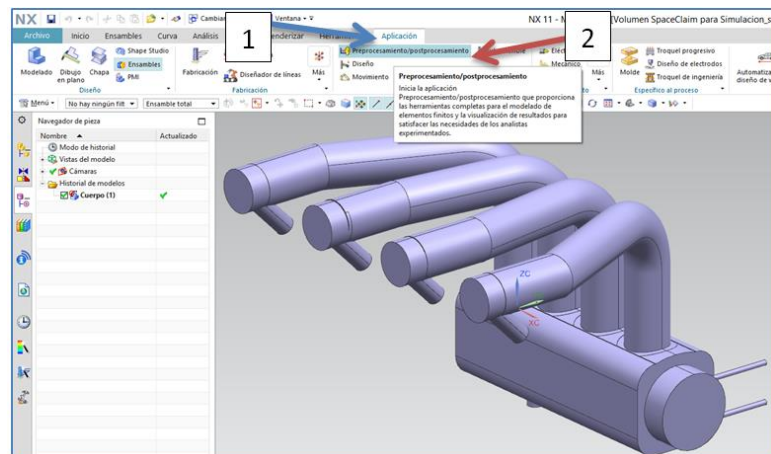


Figura 31. Selección de Procesamiento/postprocesamiento

En la nueva interfaz se da clic en 'FEM y SIM nuevos', aparece una nueva ventana donde antes de Aceptar se cambian dos casillas 'Solver' y 'Tipo de análisis' y se las deja de la siguiente manera:

- Solver = Análisis térmico y de flujo Simcenter
- Tipo de análisis = Flujo

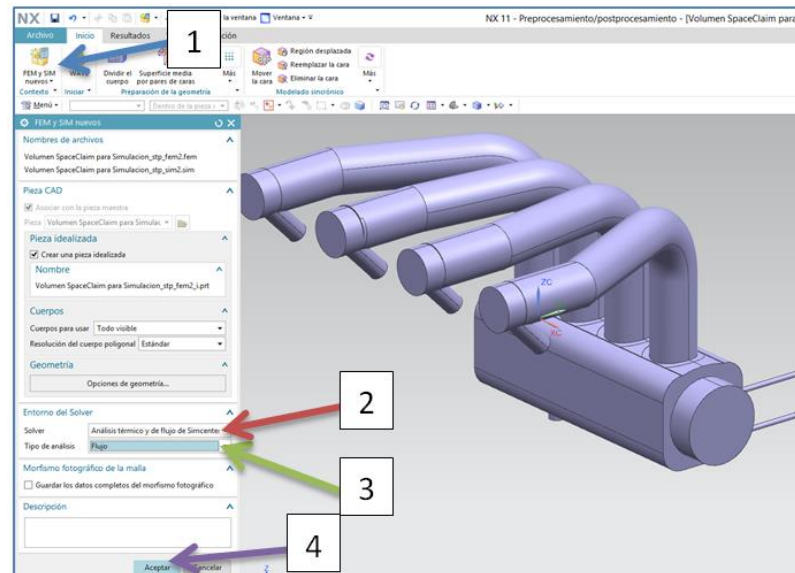


Figura 32. Cambio de parámetros en 'Solver' y 'Tipo de análisis'

3.2.3. Mallado

(Martínez, 2016) “Las mallas son objetos 3D que se conforman por vértices los cuales pueden unirse o dividirse para dar un aspecto suavizado o arrugado según lo requieras. Las mallas te dan una mejor capacidad de modelado en algunos objetos llegándolos a modelar de una manera más detallada y descriptiva sobre todo en las curvaturas más abruptas que son las más notorias”.

Hacer clic en la malla tetraédrica 3D, la cual abre una nueva ventana donde se selecciona el sólido y luego en los parámetros de la malla se pone automático y se acepta.

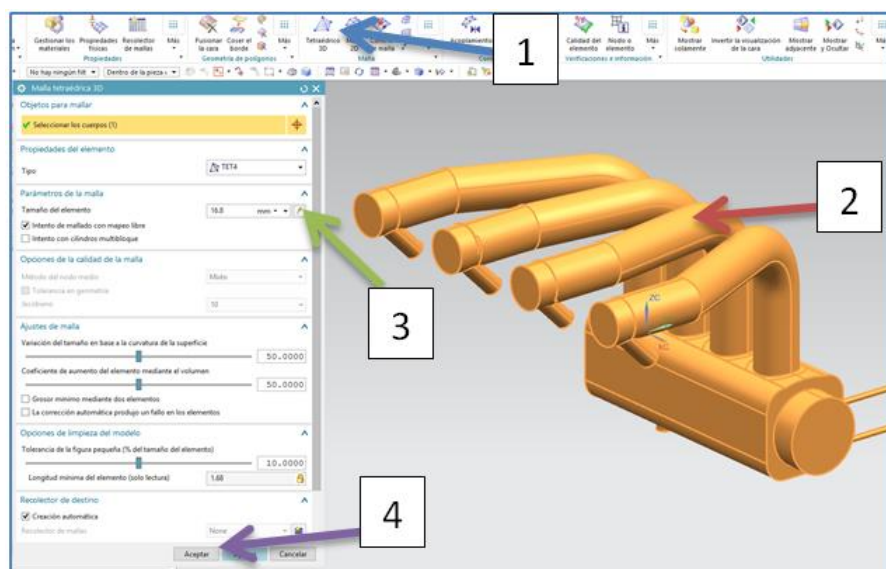


Figura 33. Generación del mallado.

3.2.4. Asignación del flujo que circula dentro del múltiple.

Ya con el mallado del sólido se debe ir a la casilla de ‘MÁS’ en el grupo de las propiedades y se hace clic en ‘Asignar el material’.

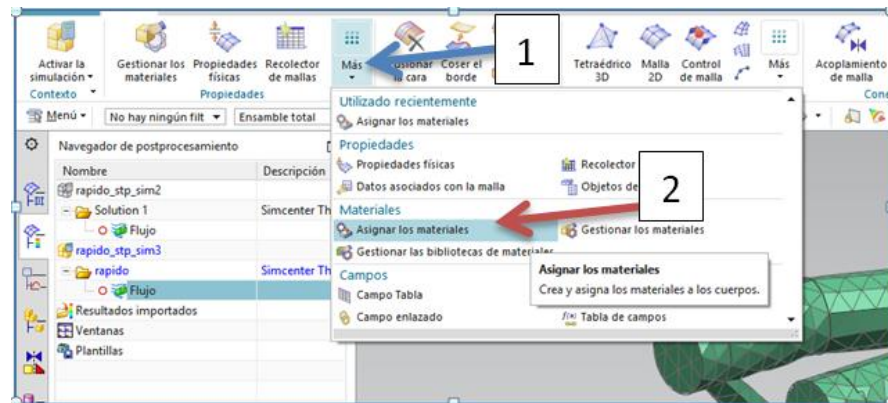


Figura 34. Asignación del material 1.

Aquí seleccionar el sólido y se escoge el fluido que se requiera, en este caso es el aire el que circula por el interior del múltiple de admisión.

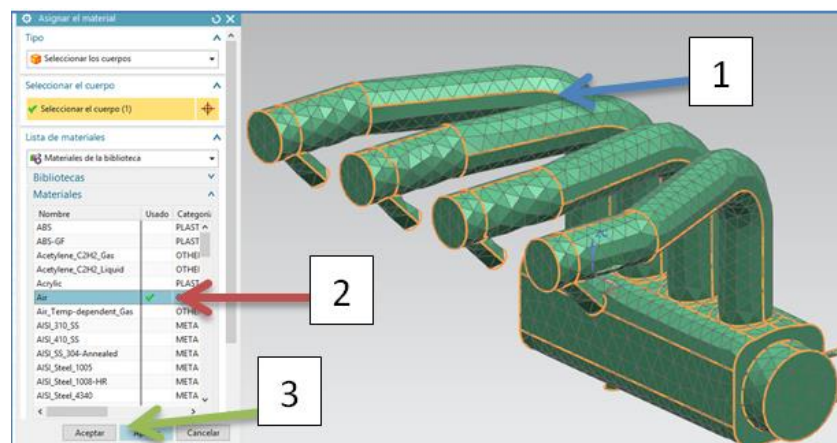


Figura 35. Asignación del material 2.

3.2.5. Asignación de la entrada del fluido al múltiple.

Luego dirigirse a la opción 'Tipo de objeto de simulación' y hacer clic en 'Condición de frontera del flujo'.

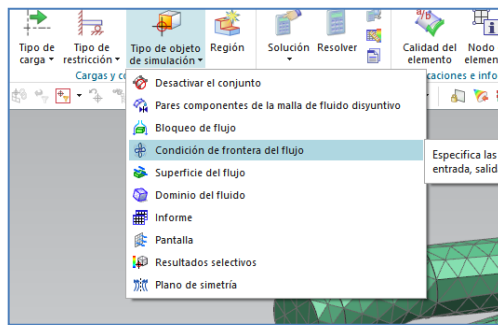


Figura 36. Condiciones de la simulación.

Aquí se puede poner un nombre a la entrada del fluido si se desea, lo relevante es escoger en la casilla 'Tipo' la opción flujo de entrada, luego seleccionar la entrada del aire en el sólido y previo a dar clic en Aplicar se cambiaran en orden los dos parámetros en la casilla de 'Magnitud' las cuales quedaran de la siguiente forma.

- Modo = Flujo de volumen
- Flujo de volumen = $45 \frac{ft^3}{min}$

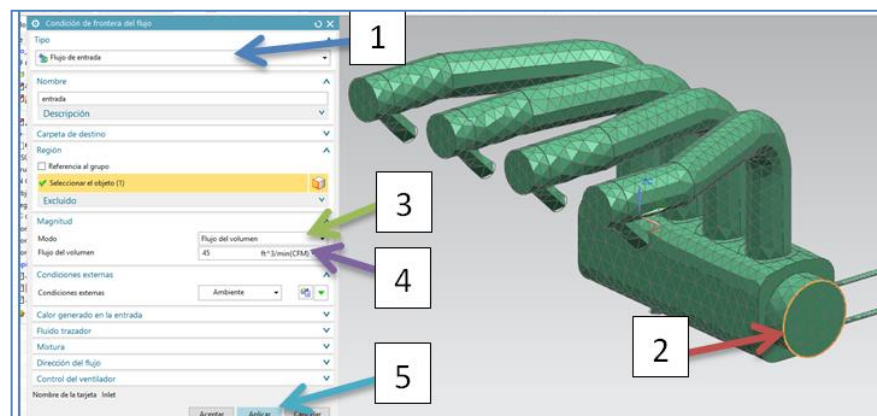


Figura 37. Condiciones de entrada de la simulación.

3.2.6. Asignación de la salida del fluido al múltiple hacia el motor

Nuevamente en la misma ventana se cambian los datos en este caso para la salida del fluido, se puede poner un nombre a la salida del fluido si

se desea, lo importante es escoger en la casilla 'Tipo' la opción apertura, luego seleccionar por donde sale el aire en el sólido y dar clic en Aplicar.

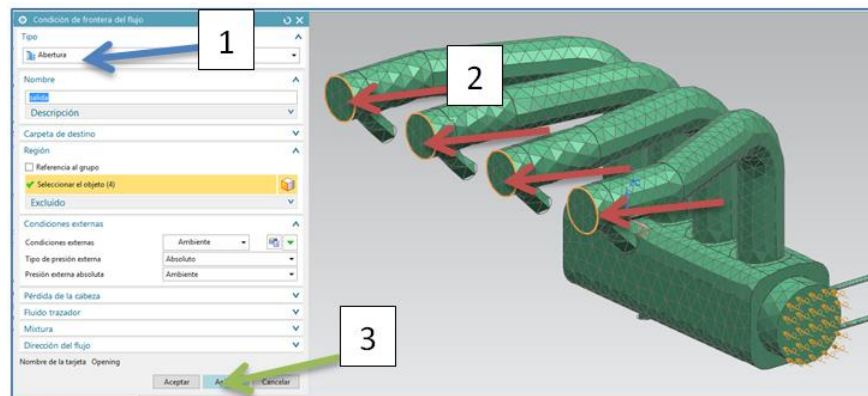


Figura 38. Condiciones de salida de la simulación.

3.2.7. Resolución de la simulación

Ahora dirigirse a la casilla de 'Resolver' en el grupo de soluciones y aceptar, esto sirve para calcular todo el mallado mediante el cálculo de elementos finitos.

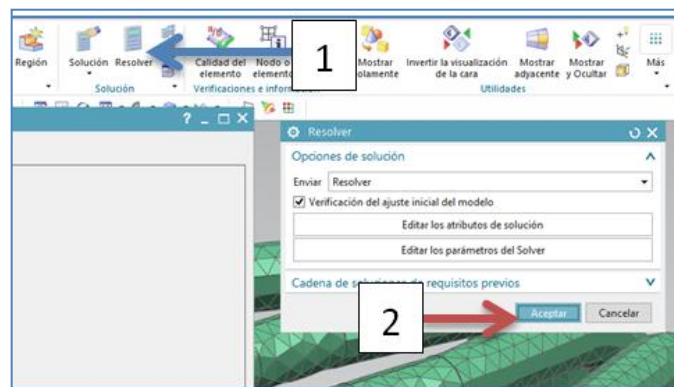


Figura 39. Resolución del mallado.

Una vez resuelto el mallado, se procede a resolver el flujo del aire y para ello se busca la carpeta de resultados donde se encuentra un elemento Flow y lo resolver.

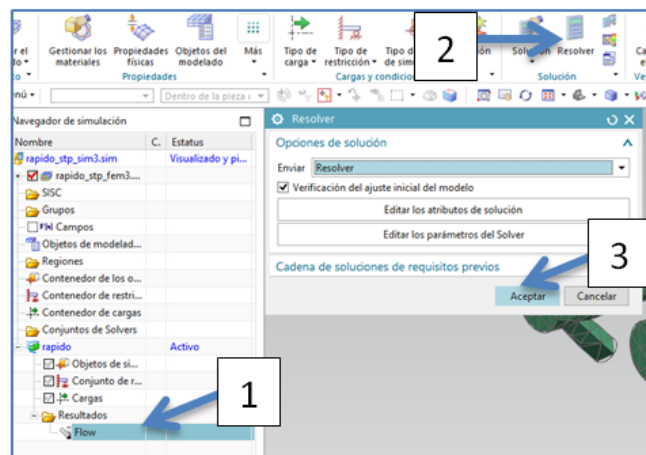


Figura 40. Resolución del fluido.

Para finalizar se puede usar la opción 'Editar la vista de postprocesamiento' en donde se tiene algunos tipos de visualizaciones, también cuenta con un modo de vista en corte del sólido para poder ver como se comporta el fluido en el interior del sólido.

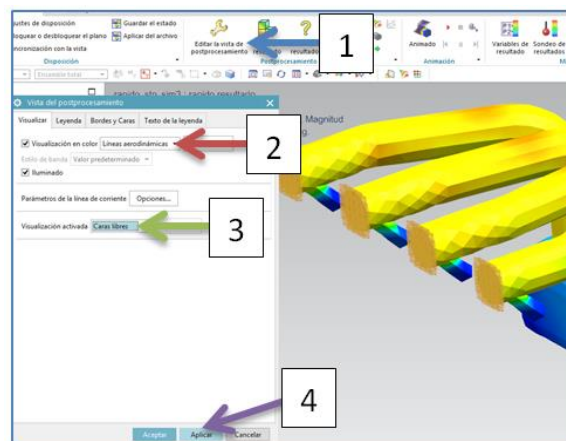


Figura 41. Representación del fluido.

3.2.8. Generación de vistas de la circulación del fluido

Con la utilización de las diversas herramientas que dispone el software NX se realiza el mallado y la simulación del comportamiento del aire dentro del múltiple de admisión que se representa a continuación con sus respectivas vistas.

En la figura 46 se presenta el comportamiento del fluido dentro del múltiple mediante colores en donde el azul es las velocidades más bajas a las cuales se desplaza el aire y el rojo representa las mayores velocidades.

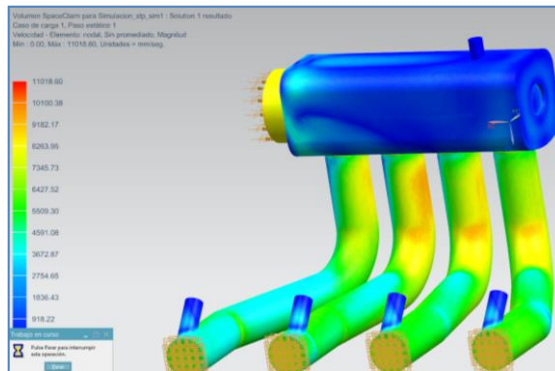


Figura 42. Vista estándar de la representación del fluido.

La figura 47 muestra al múltiple cortado y se puede ver la simulación mediante líneas de flujo.

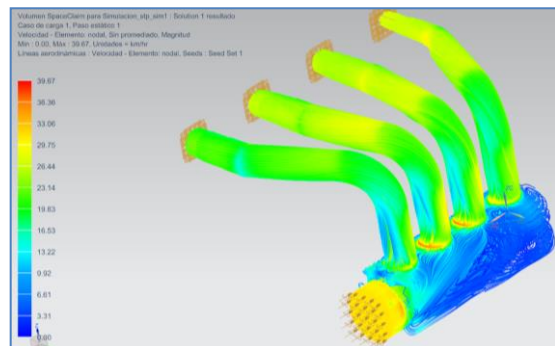


Figura 43. Vista estándar de las líneas de flujo del aire.

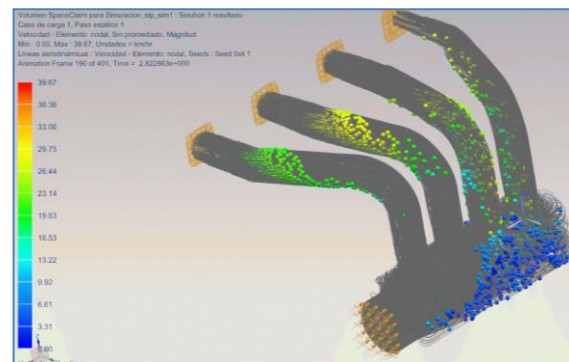


Figura 44. Vista de la animación del flujo de aire.

Tabla 7.**Tabulación de las velocidades del aire dentro del múltiple.**

Parte del múltiple	Velocidad del flujo de aire
Entrada	8,26 m/s
Cámara	0.92 m/s
Inicio de los conductos	9.18 m/s
Salida	5,50 m/s

La velocidad que se registra del flujo de aire en la entrada del múltiple es de 8,26 m/s, luego entra a la cámara del múltiple donde hay un descenso a 0.92 m/s antes de dirigirse a cada uno de los conductos, donde su velocidad máxima al inicio es de 9.18 m/s y finalmente se alcanza en la salida de los conductos de admisión hacia la cámara del motor una velocidad de 5,50 m/s.

3.3. Análisis estructural

El análisis estructural se refiere al cálculo de la resistencia de materiales para encontrar los esfuerzos internos, deformaciones y tensiones que actúan sobre una estructura resistente, como edificaciones, maquinas, soportes, piezas mecánicas o esqueletos resistentes.

3.3.1. Análisis del ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno)

Para el desarrollo de este análisis se utiliza el software Ansys – Workbench el cual cuenta con herramientas que se pueden emplear para el estudio estructural y en caso de no poder encontrar en la librería del programa los materiales a estudiar, este permite ingresar los datos de manera manual.

Una vez abierto el programa se procede a importar el sólido teniendo en cuenta que debe ser un archivo guardado previamente con una extensión compatible con el software la cual es (.scdoc).

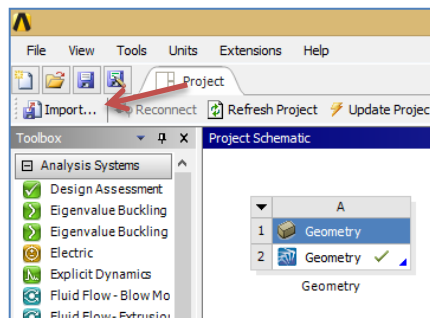


Figura 45. Sólido importado.

- **Vinculación del sólido a analizar**

Se hace un análisis térmico del múltiple para lo cual con un clic sostenido se lleva la opción 'Steady-State Thermal' hacia la casilla geometría y posteriormente doble clic en el recuadro Model, esto es para verificar y vincular el sólido a analizar.

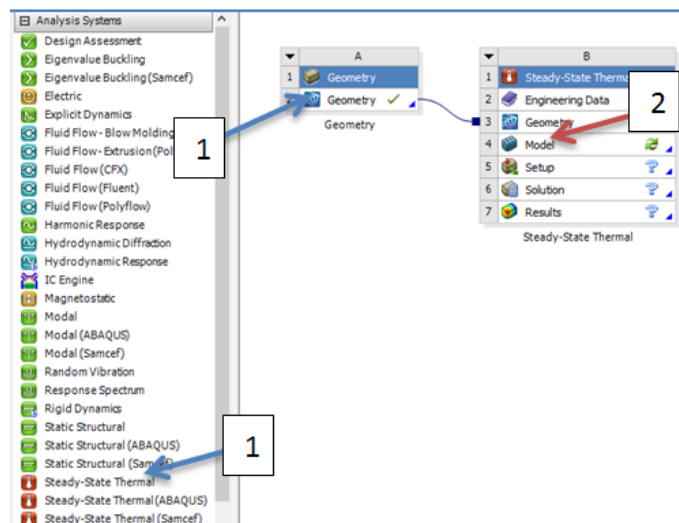


Figura 46. Verificación y vinculación de la pieza.

Para poder escoger las propiedades mecánicas y térmicas del material del cual se quiera analizar se debe dar un clic sostenido en la opción 'Engineering Date' y dirigirla a la cuadrícula bajo la de geometría, luego se da doble clic en el nuevo recuadro.

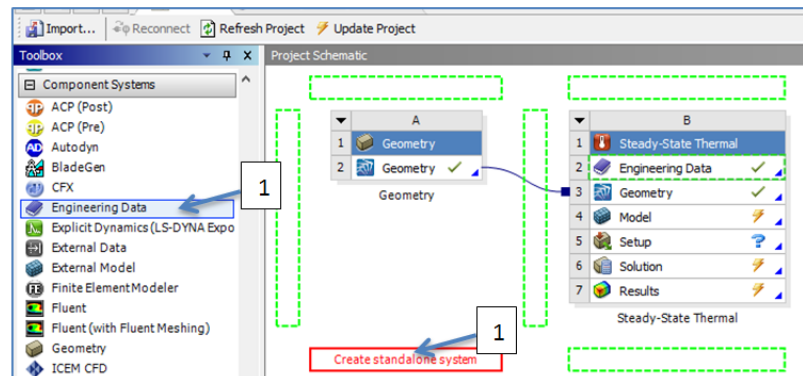


Figura 47. Creación de cuadro de datos técnicos del material.

- **Introducción de las propiedades mecánicas y térmicas del ABS**

En este caso los materiales a analizar son tres ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno), PLA (Ácido Poliláctico) y PET (Polietileno Tereftalato), los cuales no se encuentran en la librería del programa por este motivo se los ingresa manualmente.

Se da clic derecho en el primer elemento predeterminado y en duplicar, se pone el nombre del nuevo elemento a analizar por ahora ABS.

Se cambian todas las propiedades del recuadro inferior con los datos del material a estudiar.

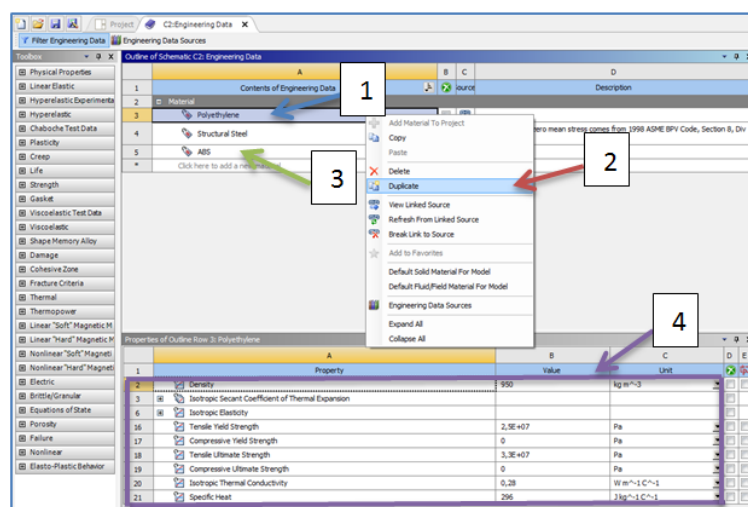


Figura 48. Creación del nuevo material.

Las propiedades a ingresar para el estudio estructural son:

Tabla 8.

Propiedades del termoplástico ABS

Propiedades de ABS	
Densidad	1.05 $\frac{gr}{cm^3}$
Módulo de elasticidad (módulo de Young)	1.7 GPa
Ratio de Poisson	0.39
Resistencia a la tracción (tensile yield strength)	45 MPa
Resistencia a la fluencia a compresión (compressive yield strength)	54 MPa
Resistencia a la tracción máxima (tensile ultimate strength)	54 MPa
Conductividad térmica isotrópica (Isotropic thermal conductivity)	0.335 $\frac{W}{m \cdot K}$
Calor específico (Specific heat)	0.4 $\frac{Btu}{lb \cdot ^\circ F}$

Fuente: (Donald R Askeland, 2011)

Se debe tener editado de esta manera y se regresa a la pestaña anterior:

A	B	C	D	E
Property	Value	Unit		
Density	1,05	g cm^-3		
Isotropic Elasticity				
Derive from	Young's Modulus and Pois...			
Young's Modulus	1700	MPa		
Poisson's Ratio	0,39			
Bulk Modulus	2,5758E+09	Pa		
Shear Modulus	6,1151E+08	Pa		
Field Variables				
Temperature	Yes			
Shear Angle	No			
Degradation Factor	No			
Tensile Yield Strength	45	MPa		
Compressive Yield Strength	54	MPa		
Tensile Ultimate Strength	54	MPa		
Isotropic Thermal Conductivity	0,335	W m^-1 K^-1		
Specific Heat	0,4	BTU lb^-1 F^-1		

Figura 49. Cuadro de Propiedades editado.

Se une los nuevos datos del ABS a la casilla de recuadro térmico mediante un clic sostenido y se da doble clic en Model para actualizar los datos de la simulación.

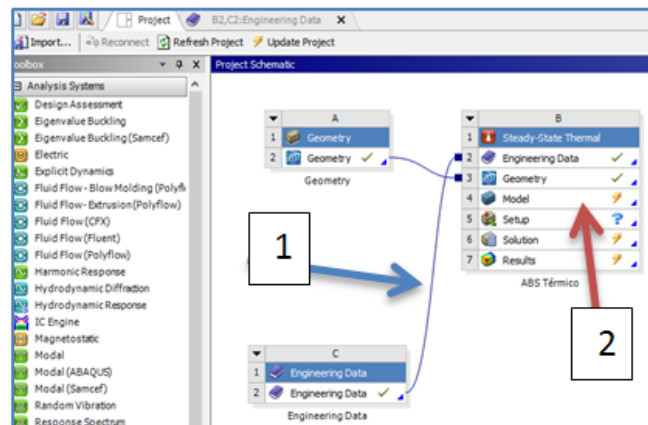


Figura 50. Conexión de nuevos datos en el recuadro térmico.

- **Selección del material a estudiar**

En la nueva ventana de Ansys – Mechanical en la opción geometría se selecciona el sólido y se procede a cambiar el material con el nuevo que se creó.

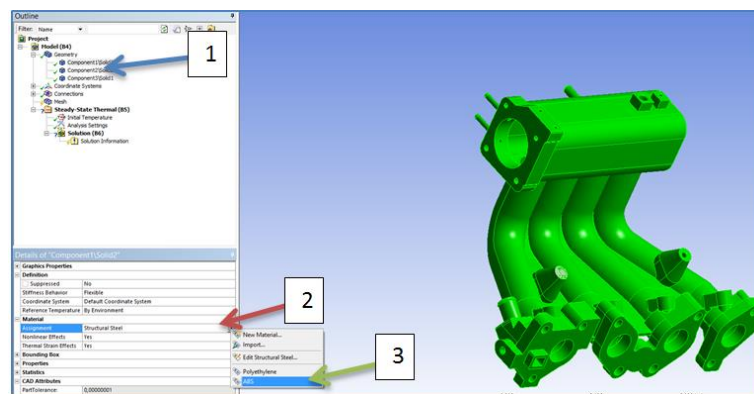


Figura 51. Cambio de material del sólido.

- **Mallado del ABS.**

Se realiza el mallado y dimensionamiento del múltiple con el material ABS, para ello se hace clic derecho en malla (Mesh) y en insertar.

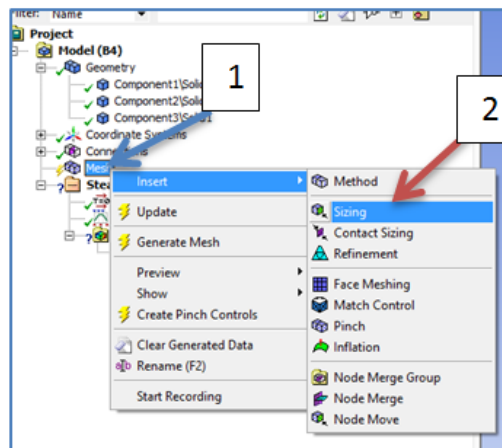


Figura 52. Mallado y dimensionamiento.

Se abre una ventanilla, luego se escoge el múltiple y se selecciona 'Aceptar' en la casilla amarilla.

Ahora se debe dirigir a la casilla Type y poner a qué medida se quiere que se realice el mallado, luego en la opción malla (Mesh) y generar la malla.

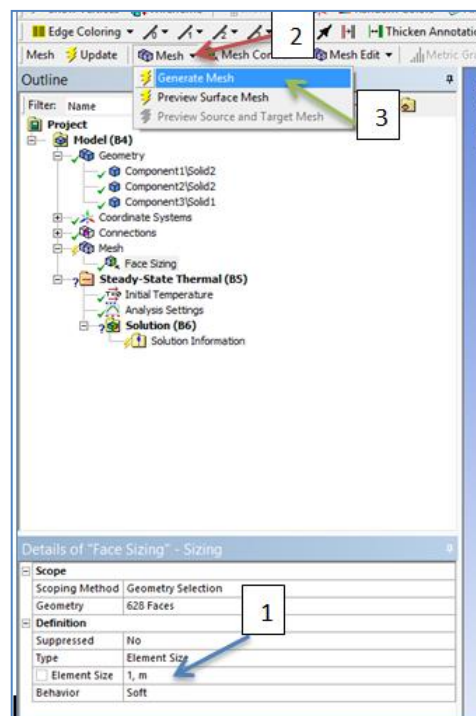


Figura 53. Generación de la malla.

- **Condiciones térmicas del ambiente**

En las opciones térmicas se cambia las condiciones iniciales del análisis térmico, para este caso se toma la temperatura promedio de la ciudad de Latacunga que es 13,4 °C.

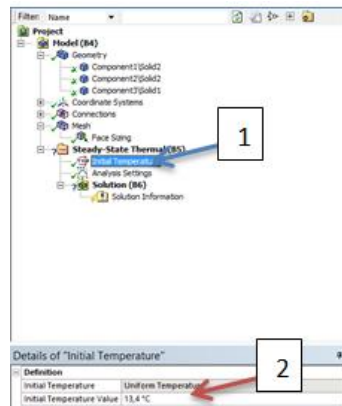


Figura 54. Condiciones térmicas iniciales.

- **Condiciones de térmicas de trabajo del múltiple**

En las condiciones de análisis se escoge temperatura y se selecciona todas las superficies en donde haya un contacto con una fuente de calor, para el caso se marcó la base del múltiple que es la más cercana al motor y se asigna una temperatura de 95 °C.

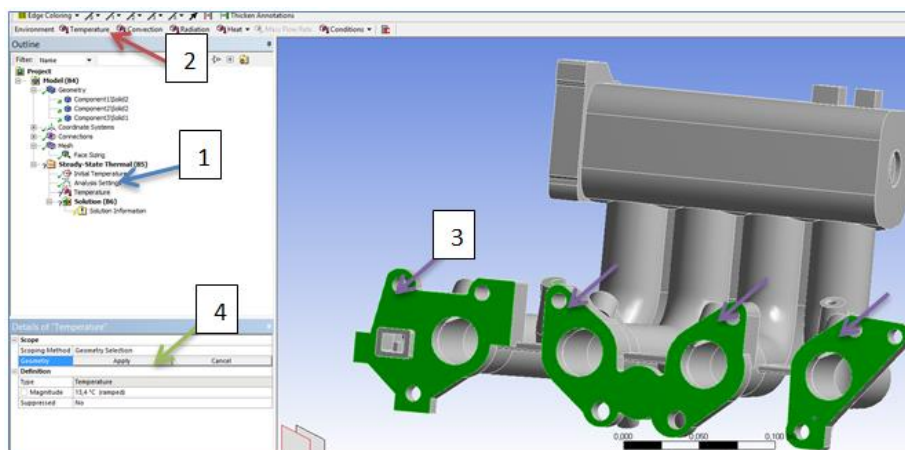


Figura 55. Condiciones térmicas de análisis 1.

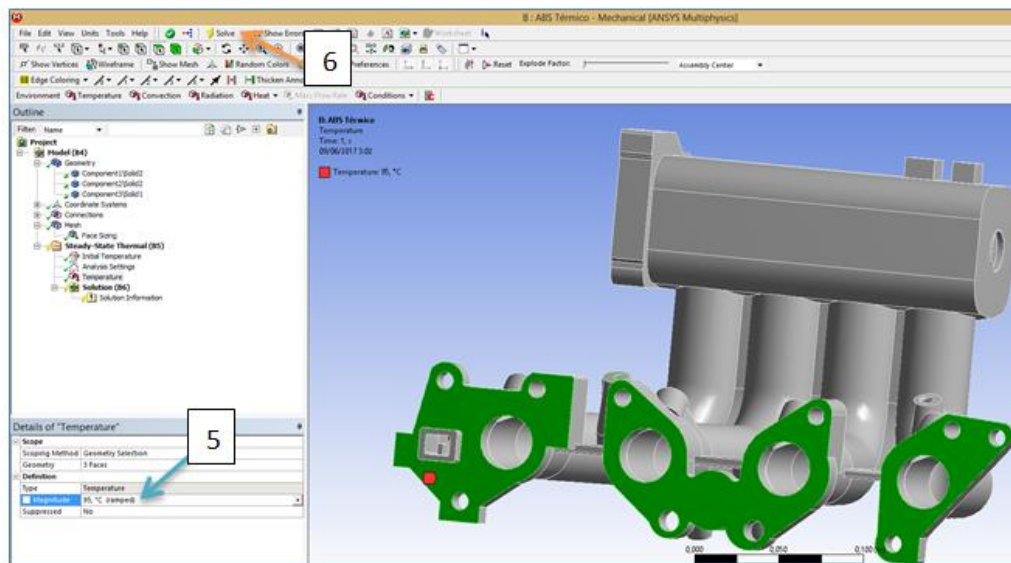


Figura 56. Condiciones térmicas de análisis 2.

Se selecciona el ítem resultados y se escoge la opción visualizar el flujo total de calor en la casilla Thermal y luego presionar resolver (Solver).

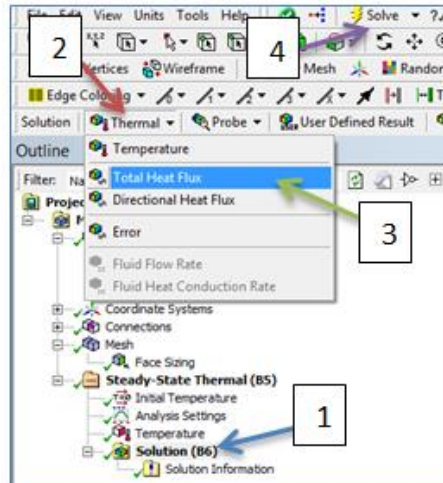


Figura 57. Solución del calor total.

- Representación del análisis térmica del múltiple.

Finalmente se tiene una representación de la distribución de calor que se encuentre bajo los parámetros de las propiedades del material ABS.

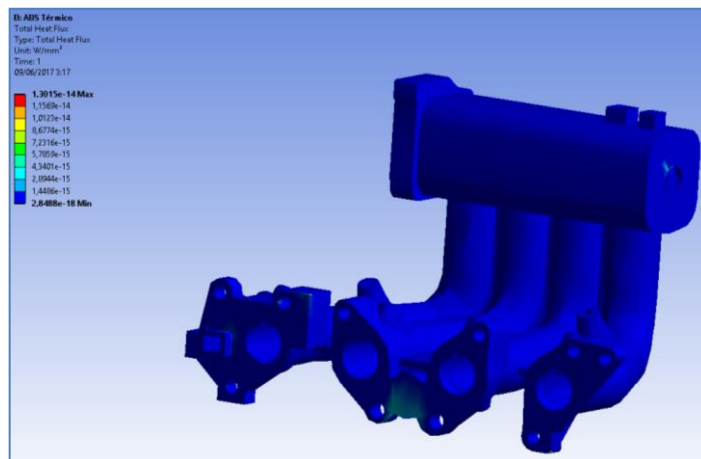


Figura 58. Representación del estudio térmico.

- **Transferencia de resultados térmicos al estudio estructural del ABS**

Ya que se tiene los resultados del estudio térmico, se pasa a hacer uno solo con el estudio estructural en donde intervienen también las presiones a las cuales va a trabajar el múltiple bajo diferentes revoluciones (804rpm y 3033rpm).

Para ello se hace clic derecho en solución y transferir todos los datos al estado estructural y se hace doble clic en Setup para actualizarlos datos en la simulación.

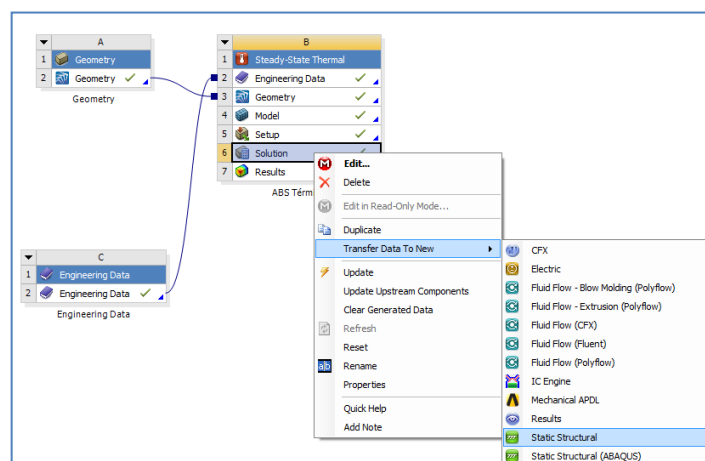


Figura 59. Generación del estado estructural.

- **Importación de los resultados térmicos.**

En la ventana de Ansys – Mechanical se tiene los datos térmicos listos para ser importados y sobreponer a la nueva simulación estructural, se da clic derecho en los datos de temperatura y se importan.

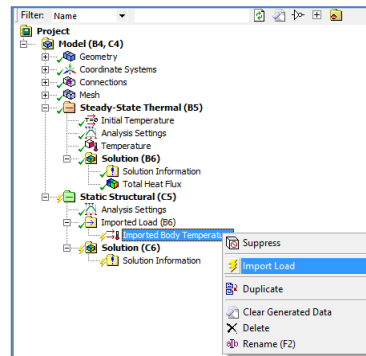


Figura 60. Importación de datos térmicos.

- **Selección del estudio a presión del múltiple ABS.**

Se escoge la opción de análisis estructural y se carga el nuevo estudio a realizar, la cual es la de presión del aire que circula en el interior del múltiple.

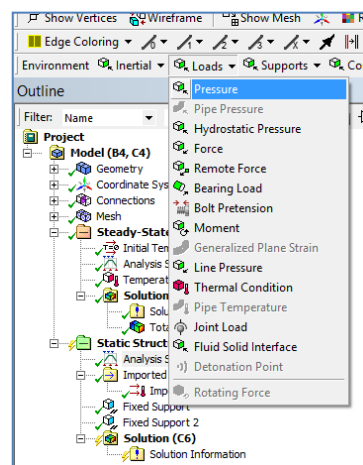


Figura 61. Selección de la presión para la simulación.

Se seleccionan todos los conductos y superficies por donde circula el aire en el interior del múltiple y se da clic en Aplicar.

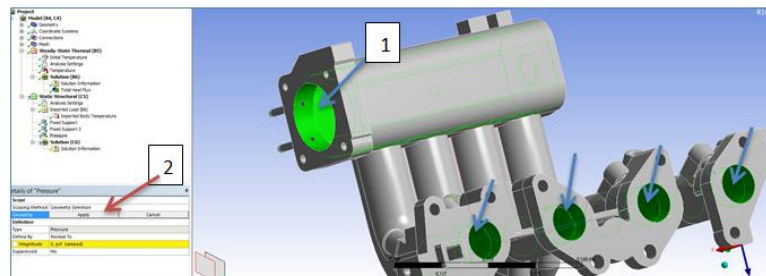


Figura 62. Selección y aplicación de superficies.

- **Asignación de las condiciones de trabajo a 804 rpm del múltiple**

Se introduce la presión del aire en el múltiple y se hace clic en resolver, para lo cual previamente mediante un escáner se midió la presión con la cual trabaja el vehículo tanto a 804 rpm como a 3033 rpm.

PID	Descripción	Valor	Unidades
SAE 0x0D	Vehicle speed	0	MPH
SAE 0x0B	Intake manifold absolute pressure	4.06	PSI
SAE 0x0C	Engine RPM	804	RPM
SAE 0x0F	Intake air temperature	109.4	F

Figura 63. Medición de presión a 804 rpm.



Figura 64. Resolución de la simulación.

Se puede hacer uso de diversas herramientas en la solución final de la simulación para poder ver diferentes comportamientos del múltiple como deformación, fatiga, tensión, el factor de seguridad, etc.

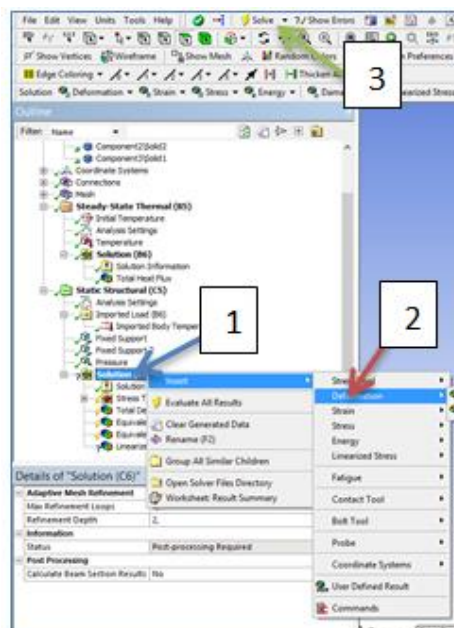


Figura 65. Selección de diversas visualizaciones.

- **Generación de vistas con diferentes análisis de la estructura del múltiple**

Una vez seleccionadas las diferentes vistas que se desee se procede a resolver nuevamente para poder visualizarlas.

- **Pruebas virtuales del múltiple de admisión con el material ABS y a 804 rpm.**

Deformación total.

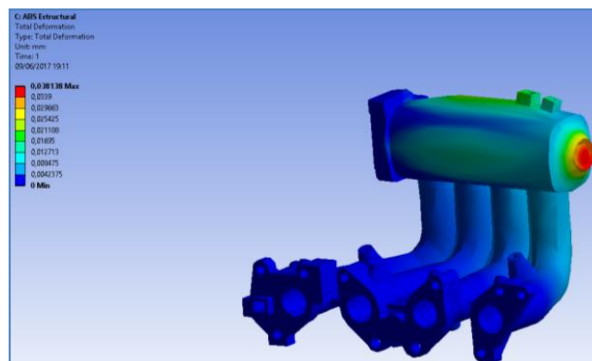


Figura 66. Representación de deformación del múltiple ABS a 804 rpm.

La mayor deformación se obtiene al borde de la cámara del múltiple con 0.038 mm, en el cuerpo de la cámara la deformación llega a 0.021 mm, al inicio de los conductos la deformación es de 0.008 mm y tanto en la entrada del múltiple como en la salida del mismo se tiende a no tener ningún tipo de deformación.

Tensión

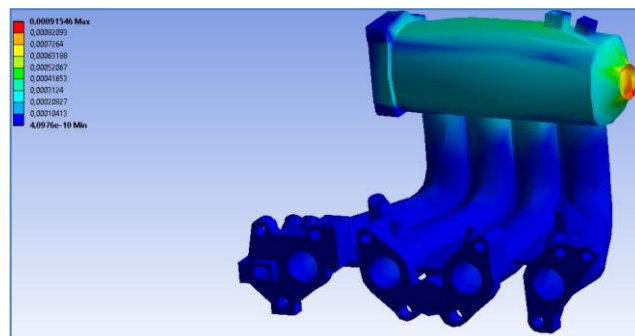


Figura 67. Representación de la tensión del múltiple ABS a 804 rpm.

La mayor tensión que se obtiene es al borde de la cámara del múltiple con 0.00082 MPa, en el cuerpo de la cámara la tensión es de 0.00052 MPa, al inicio de los conductos la deformación es de 0.0002 MPa y tanto en la entrada del múltiple como en la salida del mismo se tiende a no tener ningún tipo de tensión.

Factor de seguridad

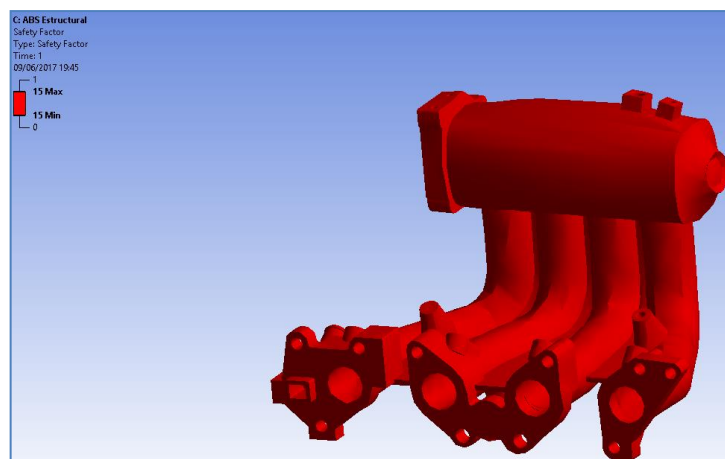


Figura 68. Representación del factor de seguridad del múltiple ABS a 804 rpm.

El factor de seguridad para el uso del múltiple hecho con el material ABS y con el motor a 804 rpm es de 15 en toda su estructura, por lo cual no habría problemas en el trabajo que tiene que realizar.

- **Pruebas virtuales del múltiple de admisión con el material ABS a 3033 rpm.**

El procedimiento es el mismo que se detalló anteriormente, se debe tener en cuenta cambiar las condiciones de trabajo en el análisis estructural en donde se introduce la presión del múltiple cuando el vehículo se encuentra a 3033 rpm, previamente medida con un escáner, la cual es 3,48 Psi, las condiciones de temperatura se mantienen ya que siguen siendo las de la ciudad de Latacunga.

PID	Descripción	Valor	Unidades
SAE 0x0D	Vehicle speed	0	MPH
SAE 0x0B	Intake manifold absolute pressure	3.48	PSI
SAE 0x0C	Engine RPM	3033	RPM

Figura 69. Medición de presión a 3033 rpm.

Deformación total.

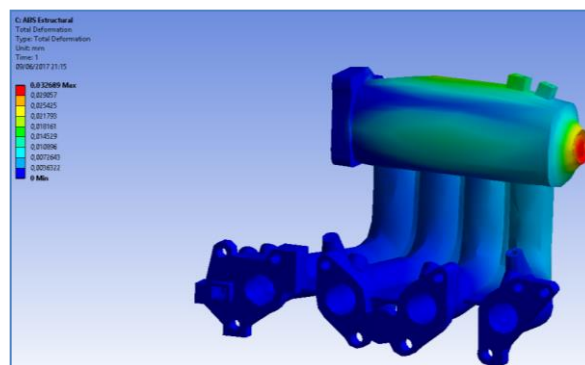


Figura 70. Representación de deformación del múltiple ABS a 3033 rpm.

La mayor deformación se obtiene al borde de la cámara del múltiple con 0.0326 mm, en el cuerpo de la cámara la deformación llega a 0.018 mm, al inicio de los conductos la deformación es de 0.0072 mm y tanto en la entrada del múltiple como en la salida del mismo se tiende a no tener ningún tipo de deformación.

Tensión

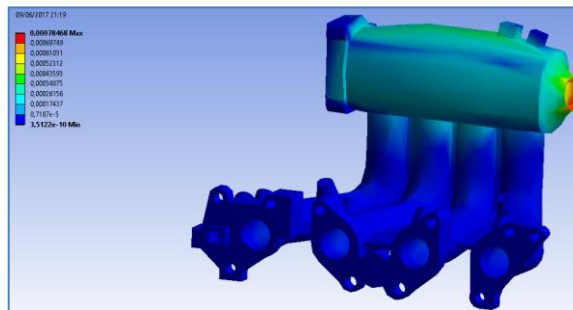


Figura 71. Representación de la tensión del múltiple ABS a 3033 rpm.

La mayor tensión que se obtiene es al borde de la cámara del múltiple con 0.00078 MPa, en el cuerpo de la cámara la tensión es de 0.00043 MPa, al inicio de los conductos la deformación es de 0.00017 MPa y tanto en la entrada del múltiple como en la salida del mismo se tiende a no tener ningún tipo de tensión.

Factor de seguridad

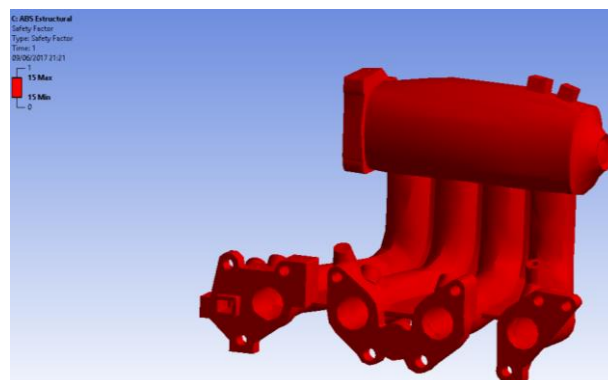


Figura 72. Representación del factor de seguridad del múltiple ABS a 3033 rpm.

El factor de seguridad para el uso del múltiple hecho con el material ABS y con el motor a 3033 rpm es de 15 en toda su estructura, por lo cual no habría problemas en el trabajo que tiene que realizar.

3.3.2. Análisis del PET (Polietileno Tereftalato)

El procedimiento para el análisis del múltiple con material PET es el mismo que se detalló anteriormente con el ABS, teniendo en cuenta cambiar las propiedades del material las cuales se presentan en la tabla 9.

Tabla 9.

Propiedades termoplástico PET

Propiedades del PET	
Densidad	1,39 $\frac{gr}{cm^3}$
Módulo de elasticidad (módulo de Young)	0.896 GPa
Ratio de Poisson	0.434
Resistencia a la tracción (tensile yield strength)	72 MPa
Resistencia a la fluencia a compresión (compressive yield strength)	76 MPa
Resistencia a la tracción máxima (tensile ultimate strength)	86,4 MPa
Conductividad térmica isotrópica (Isotropic thermal conductivity)	0.35 $\frac{W}{m \cdot K}$
Calor específico (Specific heat)	1350 $\frac{J}{Kg \cdot ^\circ K}$

Fuente: (Terry, 2000)

A. Pruebas virtuales del múltiple de admisión con el material PET y a 804 rpm.

Deformación total.

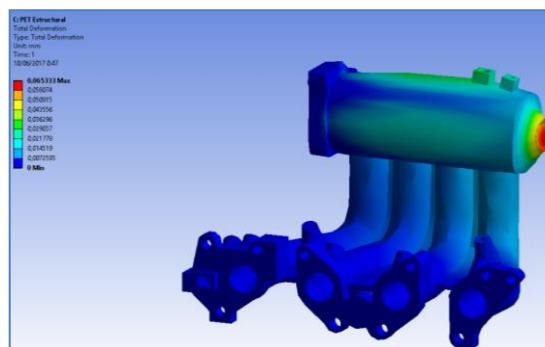


Figura 73. Representación de deformación del múltiple PET a 804 rpm.

La mayor deformación se obtiene al borde de la cámara del múltiple con 0.065 mm, en el cuerpo de la cámara la deformación llega a 0.036 mm, al

inicio de los conductos la deformación es de 0.014 mm y tanto en la entrada del múltiple como en la salida del mismo se tiende a no tener ningún tipo de deformación.

Tensión

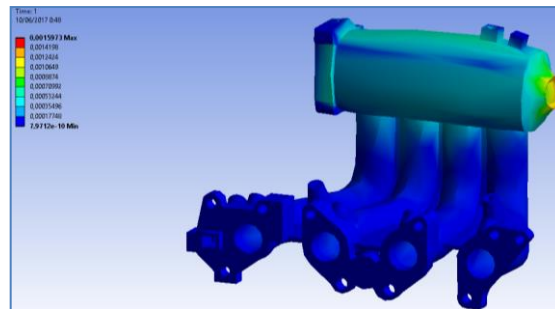


Figura 74. Representación de la tensión del múltiple PET a 804 rpm.

La mayor tensión que se obtiene es al borde de la cámara del múltiple con 0.00159 MPa, en el cuerpo de la cámara la tensión es de 0.00088 MPa, al inicio de los conductos la deformación es de 0.00035 MPa y tanto en la entrada del múltiple como en la salida del mismo se tiende a no tener ningún tipo de tensión.

Factor de seguridad

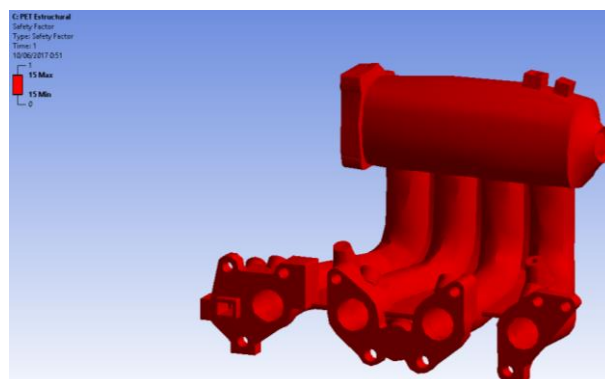


Figura 75. Representación del factor de seguridad del múltiple PET a 804 rpm.

El factor de seguridad para el uso del múltiple hecho con el material PET y con el motor a 804 rpm es de 15 en toda su estructura, por lo cual no habría problemas en el trabajo que tiene que realizar.

B. Pruebas virtuales del múltiple de admisión con el material PET a 3033 rpm

Deformación total.

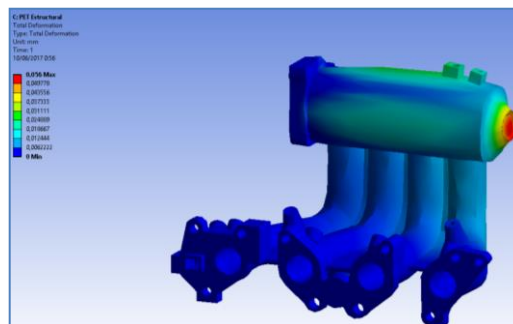


Figura 76. Representación de deformación del múltiple PET a 3033 rpm.

La mayor deformación se obtiene al borde de la cámara del múltiple con 0.056 mm, en el cuerpo de la cámara la deformación llega a 0.031 mm, al inicio de los conductos la deformación es de 0.012 mm y tanto en la entrada del múltiple como en la salida del mismo se tiende a no tener ningún tipo de deformación.

Tensión

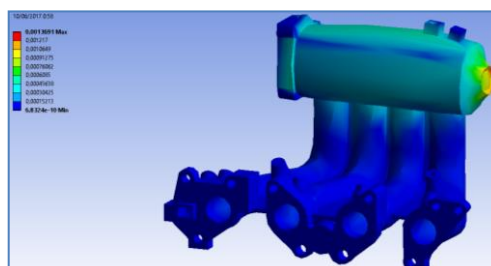


Figura 77. Representación de la tensión del múltiple PET a 3033 rpm.

La mayor tensión que se obtiene es al borde de la cámara del múltiple con 0.00136 MPa, en el cuerpo de la cámara la tensión es de 0.00076 MPa, al inicio de los conductos la deformación es de 0.0003 MPa y tanto en la entrada del múltiple como en la salida del mismo se tiende a no tener ningún tipo de tensión.

Factor de seguridad

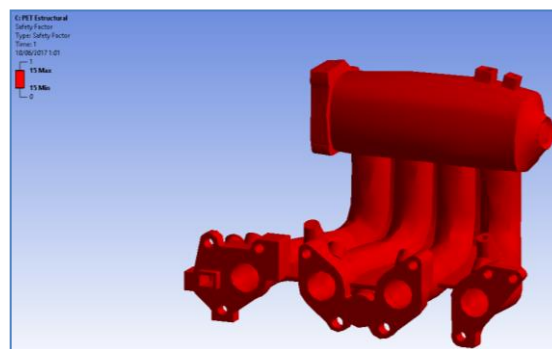


Figura 78. Representación del factor de seguridad del múltiple PET a 3033 rpm.

El factor de seguridad para el uso del múltiple hecho con el material PET y con el motor a 3033 rpm es de 15 en toda su estructura, por lo cual no habría problemas en el trabajo que tiene que realizar.

3.3.3. Análisis del PLA (Ácido Poliláctico)

El procedimiento para el análisis del múltiple con material PLA es el mismo que se detalló con los dos materiales anteriores, sin olvidar el cambio de las propiedades y las presiones para cada simulación.

Tabla 10.

Propiedades del termoplástico PLA

Propiedades del PLA	
Densidad	1,25 $\frac{gr}{cm^3}$
Módulo de elasticidad (módulo de Young)	3,5 GPa
Ratio de Poisson	0.3

Continúa



Resistencia a la tracción (tensile yield strength)	65,5 MPa
Resistencia a la fluencia a compresión (compressive yield strength)	76 MPa
Resistencia a la tracción máxima (tensile ultimate strength)	78,6 MPa
Conductividad térmica isotrópica (Isotropic thermal conductivity)	$0.13 \frac{W}{m \cdot K}$
Calor específico (Specific heat)	$1800 \frac{J}{Kg \cdot ^\circ K}$

Fuente: (Terms, 2016)

- **Pruebas virtuales del múltiple de admisión con el material PLA y a 804 rpm.**

Deformación total.

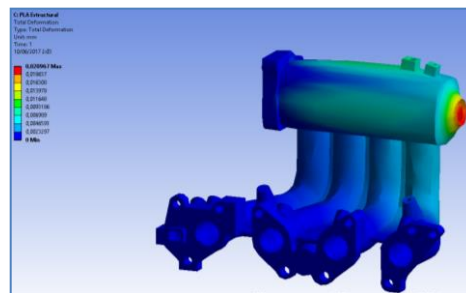


Figura 79. Representación de deformación del múltiple PLA a 804 rpm.

La mayor deformación se obtiene al borde de la cámara del múltiple con 0.02 mm, en el cuerpo de la cámara la deformación llega a 0.011 mm, al inicio de los conductos la deformación es de 0.046 mm y tanto en la entrada del múltiple como en la salida del mismo se tiende a no tener ningún tipo de deformación.

Tensión

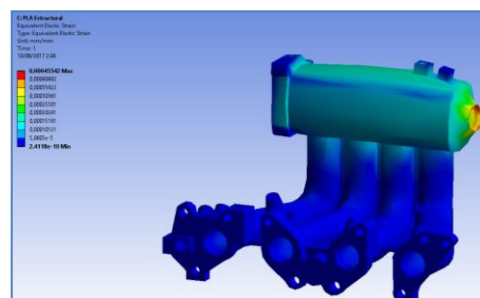


Figura 80. Representación de la tensión del múltiple PLA a 804 rpm.

La mayor tensión que se obtiene es al borde de la cámara del múltiple con 0.000455 MPa, en el cuerpo de la cámara la tensión es de 0.000253 MPa, al inicio de los conductos la deformación es de 0.0001 MPa y tanto en la entrada del múltiple como en la salida del mismo se tiende a no tener ningún tipo de tensión.

Factor de seguridad

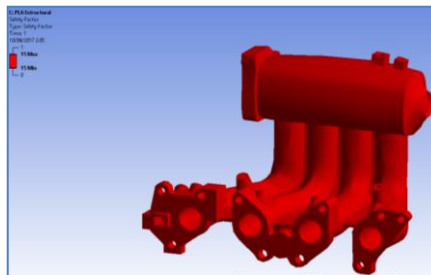


Figura 81. Representación del factor de seguridad del múltiple PLA a 804 rpm.

El factor de seguridad para el uso del múltiple hecho con el material PLA y con el motor a 804 rpm es de 15 en toda su estructura, por lo cual no habría problemas en el trabajo que tiene que realizar.

- **Pruebas virtuales del múltiple de admisión con el material PLA a 3033 rpm.**

Deformación total.

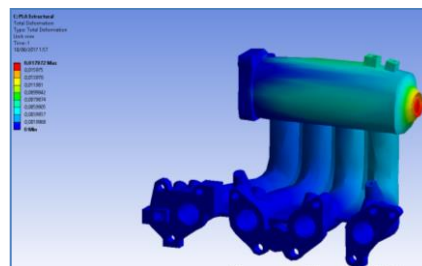


Figura 82. Representación de deformación del múltiple PLA a 3033 rpm.

La mayor deformación se obtiene al borde de la cámara del múltiple con 0.0179 mm, en el cuerpo de la cámara la deformación llega a 0.0099 mm, al inicio de los conductos la deformación es de 0.0399 mm y tanto en la entrada del múltiple como en la salida del mismo se tiende a no tener ningún tipo de deformación.

Tensión

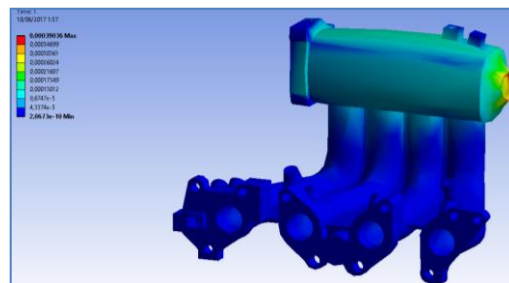


Figura 83. Representación de la tensión del múltiple PLA a 3033 rpm.

La mayor tensión que se obtiene es al borde de la cámara del múltiple con 0.00039 MPa, en el cuerpo de la cámara la tensión es de 0.00021 MPa, al inicio de los conductos la deformación es de 0.000086 MPa y tanto en la entrada del múltiple como en la salida del mismo se tiende a no tener ningún tipo de tensión.

Factor de seguridad

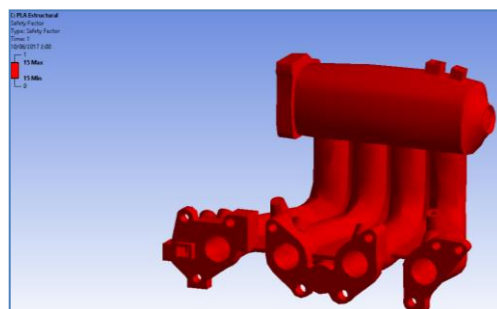


Figura 84. Representación del factor de seguridad del múltiple PLA a 3033 rpm.

El factor de seguridad para el uso del múltiple hecho con el material PLA y con el motor a 3033 rpm es de 15 en toda su estructura, por lo cual no habría problemas en el trabajo que tiene que realizar.

CAPÍTULO IV

4. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Para la realización de las pruebas se utilizó un vehículo Chevrolet Aveo Family 1.5 lt, de ciclo Otto con inyección electrónica MPFI.



Figura 85. Chevrolet Aveo Family 1.5 lt

4.1. Mantenimiento del vehículo previo a las pruebas.

Antes de realizar las respectivas pruebas estándar y con los diferentes múltiples termoplásticos, se realizó el mantenimiento del motor, el cual constó de cambio de filtro de aire, cambio de filtro de combustible, reemplazo de bujías y cables de bujías, limpieza de inyectores.

4.1.1. Filtro de aire

El filtro de aire retiene las impurezas del aire y evita que entren al motor, un filtro muy sucio puede obstruir el paso del aire limpio hacia la cámara de combustión.



Figura 86. Filtro de aire viejo



Figura 87. Filtro de aire nuevo

4.1.2. Filtro de combustible

Se reemplaza el filtro de combustible el cual previene que las impurezas del combustible lleguen a los inyectores y puedan causar obstrucción y problemas en el motor.



Figura 88. Filtros de combustible viejo y nuevo



Figura 89. Cambio del filtro de combustible

4.1.3. Bujías y cables de bujías

Se cambia las bujías y sus respectivos cables para prevenir que no haya pérdidas de energía desde la bobina hasta las bujías y así poder tener una buena chispa en la cámara de combustión.



Figura 90. Cables y bujías viejos



Figura 91. Bujías y cables nuevos

4.1.4. Inyectores

Se procedió a hacer una limpieza de inyectores con la máquina de ultrasonido para remover cualquier suciedad que se encontrase en el inyector.

4.2. Equipos y software utilizados para las pruebas.

4.2.1. Dinamómetro.

(Motorroll, 2015) “Un banco dinamométrico tiene la propiedad de generarle al motor del vehículo una resistencia a la tracción del mismo mediante un freno que contrarresta el par motor en forma dinámica y permite absorber la potencia y transformarla en calor por ejemplo para un freno hidráulico. El calor resultante se transfiere el agua y permite que las pruebas sean de una duración suficiente”.

(Motorroll, 2015) “Midiendo por barrido o punto a punto, la electrónica asociada registra y genera las curvas de potencia y torque con los valores de análisis correspondientes. A estas curvas se asocian los datos auxiliares que se puedan registrar durante la prueba para complementarla, por ejemplo el factor Lamda, presiones, temperaturas y demás factores que inciden en el rendimiento”.

(Motorroll, 2015) “Este tipo de bancos genera al motor el mismo efecto que se genera al vehículo al moverse o circular en la vía o ruta a diferentes velocidades, a mayor velocidad, mayor resistencia. La medición se realiza con una celda de carga adosada al estator del freno y el cálculo de potencia se completa con las RPM que se leen del eje del freno”.



Figura 92. Banco Dinamométrico.

4.2.2. Características del dinamómetro

Tabla 11.

Características del dinamómetro de rodillos.

CARACTERÍSTICAS DEL DINAMÓMETRO MOTORROLL	
Alcance de revoluciones	20000 RPM
Brazo de palanca	256 mm
Alcance de potencia	200 HP – 150 KW
Tipo de dinamómetro	Rodillos
Sensor de velocidad	Óptico
Electrónica utilizada	Interfaz Motorroll con conexión a pc.
Díametro de rodillos	165 mm
Tipo de freno	Hidráulico

Fuente (Motorroll, 2015)

4.2.3. Elementos del dinamómetro de rodillos

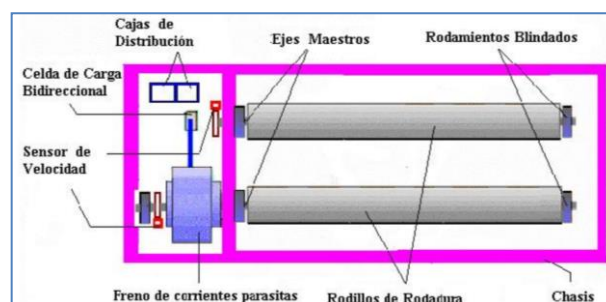


Figura 93. Elementos del banco Dinamométrico.

Fuente: (Oropeza, 2008)

- **Chasis:**

(Olivera M. , 2013) “Esta parte del dinamómetro es la encargada de soportar todos los esfuerzos producidos por el peso de las

piezas que integran el dinamómetro, es un armazón capaz de soportar el peso de los vehículos para los cuales fue diseñado, soportar las cargas producidas durante la realización de la prueba y absorber las vibraciones que ocasionan los ensayos respectivos”.

- **Rodillos:**

(Olivera M. , 2013)“La configuración de los rodillos en los dinamómetros es variable dependiendo el uso que se le vaya a dar al dinamómetro, existen configuraciones desde un sólo rodillo de gran diámetro hasta equipos con varios juegos de rodillos para comportar todas las ruedas motrices de las unidades a examinar”.

(Olivera M. , 2013) “Son estructuras cilíndricas rígidas las cuales al centro comportan un eje que en sus extremos descansa en rodamientos y van conectados a la unidad de absorción de potencia, cuentan con un sistema que permita registrar la velocidad de giro (velocidad angular)”.

- **Sistema de inercia:**

(Olivera M. , 2013) “Dentro de los sistemas con los que debe contar el dinamómetro figura un sistema que permita aumentar o disminuir la inercia total rotativa del dinamómetro a fin de poder simular la resistencia al avance que tendría el vehículo probado durante su funcionamiento en carretera”.

Esto se puede conseguir a partir del uso de volantes de inercia que son acoplados de forma escalonada al dinamómetro y aumentan la inercia total rotativa del dinamómetro.

4.2.4. Software del dinamómetro

“El software es moderno, con excelentes gráficos, cuenta con varios indicadores para mejor manejo del usuario y tiene una interfaz amigable y la más variada gama de posibilidades de ensayo”. (Motorroll, 2015)



Figura 94. Software del dinamómetro.

Fuente: (Motorroll, 2015)

(Accudyno, 2017) “Toda la información obtenida desde el módulo de adquisición de datos se despliega en un software que funciona bajo Windows. Se los puede visualizar en tiempo real o como un informe con valores instantáneos, máximos, promedios, así como las curvas de potencia y torque del motor”.

Estos valores puedes compararlos para medir las diferencias ante cualquier cambio o alteración que se haya hecho al motor.

4.3. Analizador de gases

(Bosch R. , Manual de la técnica del automóvil, 2005) “Es un equipo de medición el cual se indica en la figura 99, el cual debe estar correctamente calificado y calibrado de acuerdo a la normativa vigente, permite la medición de las concentraciones de los gases contenidos en el escape, producto de la combustión”.



Figura 95. Analizador de gases CARTEK

Los parámetros de medición de los analizadores varía de acuerdo a su aplicación o consideraciones del fabricante, pero en general entre los gases que el equipo debe medir se encuentran: CO₂, CO, HC y O₂.

(Ortmann & otros, 2003) “Entre los distintos métodos que se pueden utilizar, uno de los más comunes es el procedimiento de infrarrojos, que se basa en la absorción de una luz infrarroja por los componentes de los gases de escape, con una determinada longitud de onda para cada uno de esos componentes. Luego de un determinado proceso de conversión se puede obtener los distintos valores de concentración de los gases, que pueden ser mostrados en pantalla o impresos, de acuerdo al tipo de equipo analizador”.

La figura 100 esquematiza el recorrido de los gases de escape y componentes internos del equipo de medición de varios gases.

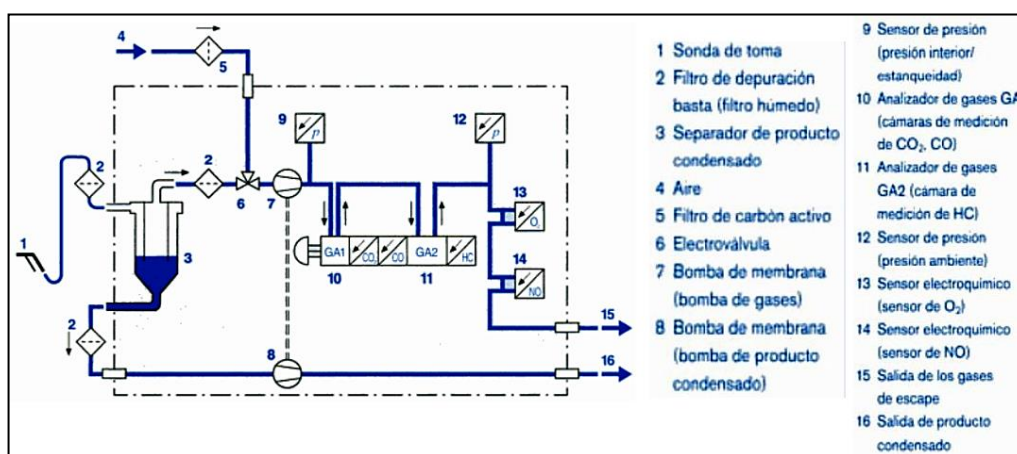


Figura 96. Recorrido de los gases de escape en el equipo de medición

Fuente: (Ortmann & otros, 2003)

4.4. Medidor de consumo de combustible

OBDwiz es un potente software de diagnóstico automotriz OBD2 que se incluye de forma gratuita con OBDLink MX , OBDLink LX , OBDLink MX-Fi , OBDLink SX , y ElmScan 5 compacto.



Figura 97. Interfaz OBDwiz

Fuente: (Software, 2017)

(Automotriz, 2012) “El OBDLink es la herramienta de exploración diseñada para el diagnóstico automotriz. Tiene características avanzadas que normalmente se encuentran en herramientas de diagnóstico más caras”.

(Automotriz, 2012) “OBDLink es rápido y preciso en el diagnóstico de problemas de motor y en los parámetros de rendimientos de los vehículos compatibles con OBDII. Instale el software OBDWiz en cualquier computadora portátil o PC con sistema operativo Windows”.



Figura 98. OBDLink SX

Fuente: (Autolandmexico, 2012)

4.4.1. Herramientas de análisis del medidor de consumo de combustible

El software de diagnóstico permite:

- Mide y muestra el ahorro de combustible

- Apagar la luz del Check Engine y borrar la información de diagnóstico almacenada.
- Leer y borrar códigos de falla almacenados, pendientes y permanentes.
- Acceso a información del cuadro congelado
- Crea sus propios cuadros de instrumentos (Automotriz, 2012)

4.4.2. Características del medidor de consumo de combustible

Entre las características principales están:

- Diseño Plug and Play
- Gran incremento en la entrega de datos, y más puntos en la pantalla de gráficos.
- Software de diagnóstico automotriz compatible.
- Detección automática del protocolo – OBDLink se conecta con más vehículos que cualquier herramienta de diagnóstico automotriz de las mismas características.
- El tamaño del buffer permite que el OBDLink sea una herramienta de diagnóstico automotriz estable.
- Dimensiones 3.5" x 1.75" W (89mm y 45 mm). (Automotriz, 2012)

4.4.3. Compatibilidad

(Automotriz, 2012) "OBDLink funciona con vehículos modelos 96 y actuales incluyendo todos los vehículos americanos, europeos y asiáticos vendidos en USA, así como con camiones ligeros. Vehículos que cumplan con los estándares OBDII".

4.5. Pruebas del vehículo Chevrolet con el múltiple estándar.

4.5.1. Características de fábrica del vehículo Chevrolet Aveo Family 1.5 lt.

Las principales características del vehículo se detallan en una tabla de resumen a continuación:

Tabla 12.

Características del vehículo.

Modelo	Aveo Family	
MOTOR		
Posición	Delantera transversal	
Cilindrada	1.498 cc	
Numero de cilindros	4	
Numero de Válvulas	8	
Potencia (hp@r.p.m.)	83@5600	
Torque	Lb.f@r.p.m. 94.02@3000 N.m.@r.p.m. 127.4@3000	
Relación de compresión	9.5 : 1	
Transmisión		
Tipo	Manual: 5 velocidades	
Relaciones:	1°	3.545
	2°	1.952
	3°	1.276
	4°	0.971
	5°	0.763

Fuente: (Chevrolet, 2017)

4.5.2. Consideraciones de seguridad y ubicación del vehículo antes de realizar las pruebas de torque y potencia

- Utilizar el equipo de protección personal (EPP): casco, orejeras, gafas, guantes, calzado de seguridad y ropa de trabajo.
- Ubicar el vehículo en los rodillos del dinamómetro y verificar que el eje de ruedas se encuentre paralelo a los rodillos, en caso de no serlo, no iniciar la prueba y volver a ubicar el auto para evitar que se salga bruscamente.
- Poner el freno de mano y anclar el vehículo con fajas de seguridad.

- Revisar la ficha técnica del vehículo para saber a qué revoluciones llega a tener la potencia y torque máximos.
- Encender el ventilador de enfriamiento y estar pendiente de la temperatura del motor.

4.5.3. Prueba del torque y potencia.

- **Calibración del software del dinamómetro.**

Una vez ubicado el vehículo e instalado el software, se enciende el equipo electrónico del dinamómetro y se procede a la calibración.

- Dentro de la interfaz del programa, dirigirse a 'Configuración', luego ir a 'Configuración de banco de pruebas' y en la nueva ventana se escoge la opción 'Banco de rodillos' y también se introduce el diámetro del rodillo del dinamómetro en milímetros, el cual en este caso es 165 mm y se acepta.

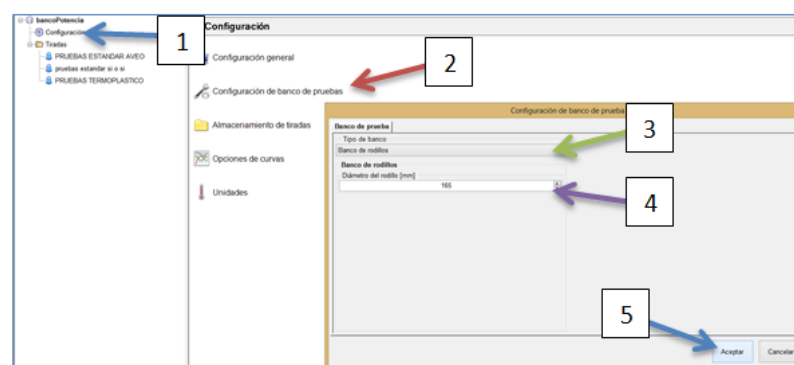


Figura 99. Configuración del banco de pruebas.

- En la pestaña 'Cliente' y se hace clic en 'Agregar nuevo cliente', escribir un nombre y aceptar, ahora se debe ir a 'Nueva tirada', se debe abrir otra ventana.

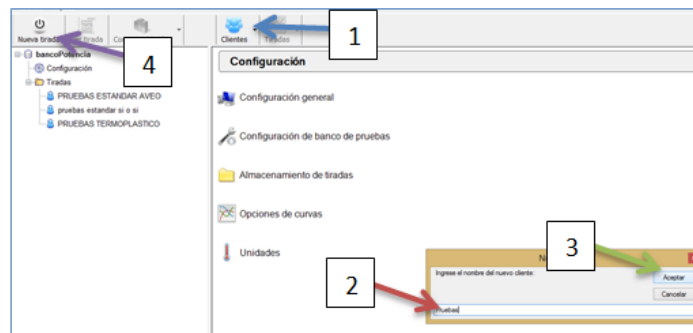


Figura 100. Creación de nuevo cliente.

- En la nueva ventana dirigirse a 'Configuración de tirada', donde se selecciona el método de medición y como el programa se activa automáticamente cuando el vehículo llega a un número determinado de revoluciones, se recomienda que se calibre con unas revoluciones superiores a las de ralentí para que el programa no se active desde que se empieza la prueba, sino desde que se pise a fondo el acelerador. También se calibrar las revoluciones a las cuales y programa corta la prueba y estas revoluciones son a la máxima potencia que se encuentren en la ficha técnica del vehículo, los datos quedaran de la siguiente manera:
 - Método de medición : Dinamométrico
 - Condición de inicio : RPM de motor < 1000 rpm
 - Condición de fin : RPM de motor < 5500 rpm

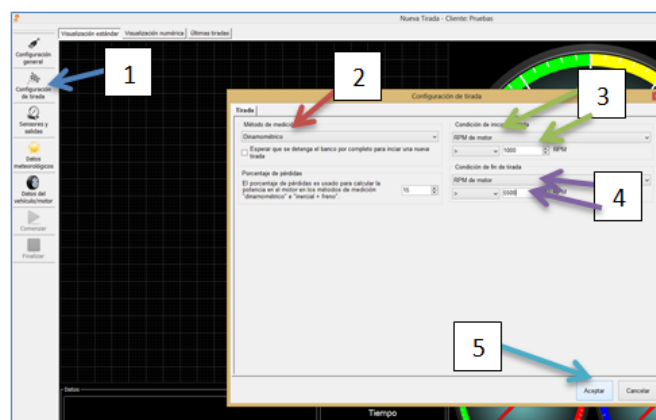


Figura 101. Calibración de inicio y corte de las pruebas.

- El sensor de revoluciones coge los datos del rodillo del dinamómetro y al ser de diferentes diámetros con la rueda del vehículo, se lo calibra con una relación entre las dos para no errar en la prueba. Para ello ir a 'Sensores y salidas' y dirigirse a la pestaña de 'RPM' y con el vehículo encendido se hace clic en 'Calibrar RPM del motor', se asigna un valor de 3000 rpm, se acepta y se hace que el vehículo llegue a esas rpm, debe salir una relación entre los dos diámetros y se procede a aceptar.

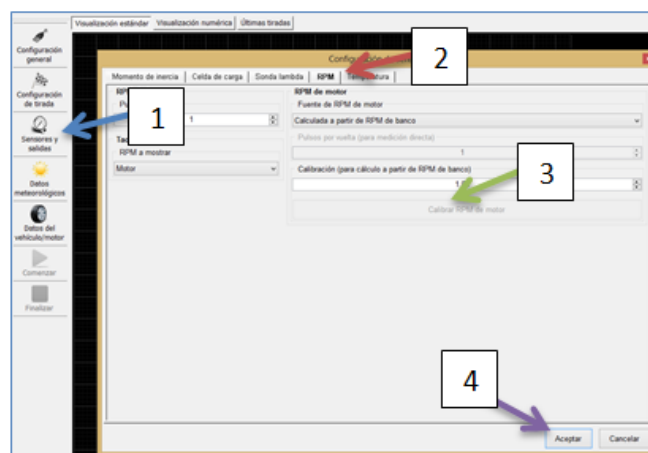


Figura 102. Calibración de la relación entre rueda y rodillo.

- También se tiene que introducir los datos de la temperatura del momento que se realiza la prueba, al igual que la presión atmosférica del lugar y la humedad del sitio.

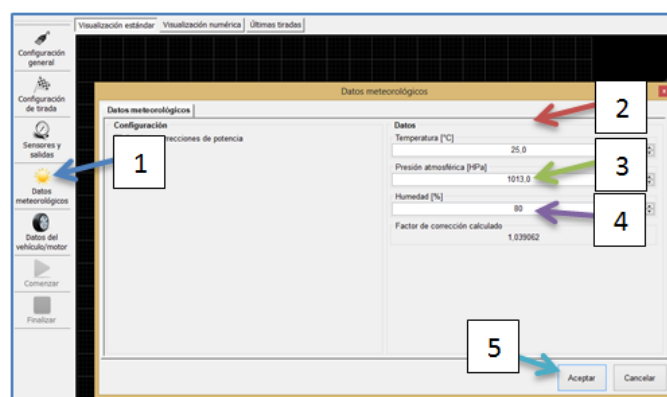


Figura 103. Datos del ambiente.

- Previo a iniciar la prueba se verifica la relación entre rueda y rodillo en la opción de 'Datos del vehículo/motor', dar clic en aceptar y luego en 'Comenzar'.

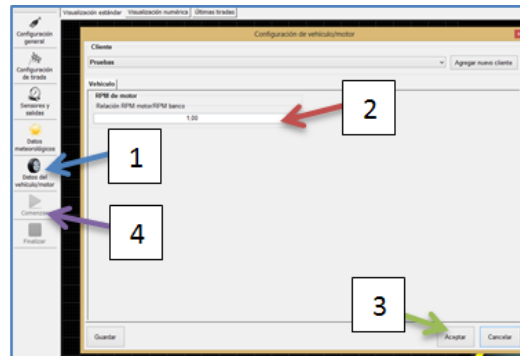


Figura 104. Verificación de relación rueda/rodillo.

- **Prueba**

Una vez calibrado el software del dinamómetro y tomado las respectivas consideraciones de seguridad y ubicación del vehículo, se procede a prender el ventilador y encender el motor para que llegue a su temperatura normal de funcionamiento.

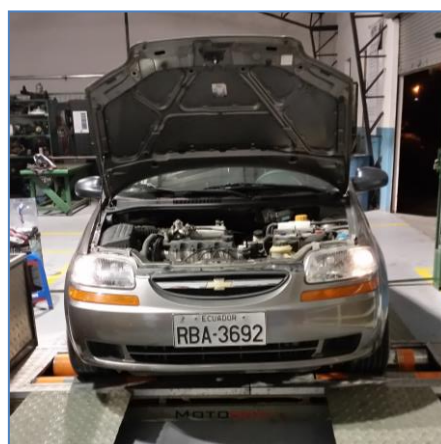


Figura 105. Conducción del vehículo en el dinamómetro.

Se procede a conducir el vehículo hasta que llegue a la cuarta velocidad que es donde tiene una relación más cercana a 1:1 y se acelera a fondo, el

software se auto inicia de acuerdo a la calibración que se puso anteriormente y corta la prueba al llegar a 5500 rpm.

- **Curva del torque y potencia con el colector de admisión estándar**

Realizada la prueba se procede a revisar la gráfica de torque y potencia con sus respectivos datos los cuales se guardan automáticamente.

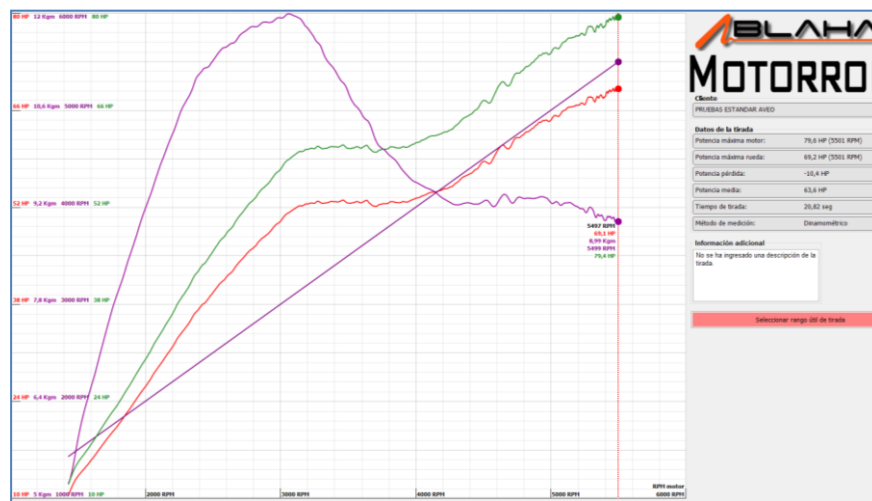


Figura 106. Torque y potencia con el múltiple estándar.

Tiempo	RPM motor	Potencia rueda	Torque	Potencia motor
0,00 Seg	1429 RPM	10,6 HP	5,22 Kgm	13,0 HP
2,08 Seg	2156 RPM	30,6 HP	10,04 Kgm	35,2 HP
4,17 Seg	2569 RPM	41,3 HP	11,49 Kgm	47,5 HP
6,25 Seg	2963 RPM	49,7 HP	11,94 Kgm	57,2 HP
8,33 Seg	3060 RPM	51,2 HP	11,99 Kgm	58,9 HP
10,41 Seg	3359 RPM	52,8 HP	11,28 Kgm	60,7 HP
12,49 Seg	3807 RPM	52,7 HP	9,95 Kgm	60,6 HP
14,57 Seg	4413 RPM	56,9 HP	9,25 Kgm	65,5 HP
16,65 Seg	4928 RPM	64,3 HP	9,35 Kgm	73,9 HP
18,74 Seg	5410 RPM	68,4 HP	9,18 Kgm	77,1 HP
20,78 Seg	5500 RPM	69,2 HP	9,02 Kgm	76,6 HP
20,82 Seg	5500 RPM	69,1 HP	8,99 Kgm	75,5 HP

Figura 107. Datos de torque y potencia digital con el múltiple estándar.

- **Tabulación de datos del múltiple estándar.**
- **Cálculos**

Presión media efectiva

$$pme = \frac{2 * \pi * \gamma * M}{V_t}$$

Donde:

pme = presión media efectiva (Pa)

γ = número de revoluciones por ciclo (motores de dos tiempos: 1 y para motores de cuatro tiempos: 2)

M = par motor (Nm)

V_t = cilindrada total del motor (m^3)

Par motor medido a 5501 rpm es 8,99 Kgm.

$M = 8,99 \text{ Kgm} = 88,16 \text{ Nm}$

$V_t = 1,5 \text{ litros} = 0,0015 \text{ m}^3$

$$pme = \frac{2 * \pi * 2 * 88,16 \text{ Nm}}{0,0015 \text{ m}^3}$$

$$pme = 738567,4889 \text{ Pa}$$

- **Potencia efectiva del motor**

$$Ne = \frac{2 * pme * Vh * n * i}{10^3 * \tau}$$

Donde:

Ne = potencia efectiva del motor (KW)

pme = presión media efectiva (Pa)

Vh = volumen del cilindro (m^3)

n = frecuencia de rotación del motor (r.p.s)

i = número de cilindros

τ = número de tiempos del motor

$$n = 5501 \text{ rpm} = 91,6833 \text{ r.p.s}$$

$$Ne = \frac{2 * 738567,4889 \text{ Pa} * 0,000375 \text{ m}^3 * 91,6833 \text{ r.p.s} * 4}{10^3 * 4}$$

$$N_e = 50,79 \text{ KW} = 68,11 \text{ hp}$$

En la tabla 13 se muestran los datos de la prueba con el múltiple estándar.

Tabla 13.

Datos obtenidos prueba estándar

Aceleración	100 %
Combustible	Gasolina extra
Marcha de la prueba	Cuarta velocidad
Tiempo de aceleración	20,82 seg.
Potencia del motor	79,6 hp
Revoluciones de corte	5501 rpm
Torque máximo	11,99 Kgm
Potencia efectiva medida	69,2 hp
Potencia efectiva calculada	68,11 hp

- **Prueba de emisión de gases.**
- **Protocolo de pruebas de acuerdo con la norma de medición de gases INEN 2203:2000 y las normas de ensayos ASM 2525, ASM 5015.**

Las pruebas se las realizó de acuerdo a los estándares de las normas ecuatorianas que establecen los máximos valores de emisiones de gases contaminantes generados por los motores a gasolina y el procedimiento establecido para pruebas de emisiones en condiciones estáticas, con el objeto de analizar las concentraciones de los diferentes productos de la combustión.



Figura 108. Vehículo para pruebas estáticas de emisiones.

- **Calibración del analizador de gases Cartek.**

La calibración del equipo se lo realiza cada 90 días, al pasar este tiempo el certificado y calibración expiran y no se puede realizar las pruebas con la misma fiabilidad.

El gas que se utiliza para la calibración es 'SCOTTY' y está compuesto por: Nitrógeno (N_2), Propano (C_3H_8), Dióxido de carbono (CO_2) y Monóxido de carbono (CO) en proporciones certificadas por el Equipment and tool institute (ETI).

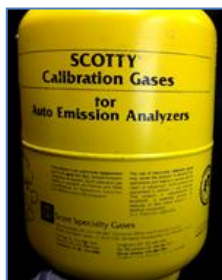


Figura 109. Gas de calibración

- **Calibración con el gas**

Primero se debe ajustar la salida del gas del tanque a una presión de 12 psi, luego colocar la manguera de la salida del gas a la toma de calibración de analizador (toma superior).



Figura 110. Ajuste del gas a 12 psi



Figura 111. Conexión a la toma de calibración.

Se abre el programa InspectorGas y en la ventana del software escoger la opción 'Calibraciones' y debe aparecer otra ventana.



Figura 112. Selección de la calibración.

Seguir el procedimiento que dice el programa en la nueva ventana como verificar la presión del tanque, la conexión de la manguera y la abertura de la válvula del gas y se da clic en 'Iniciar Calibración de Baja'.

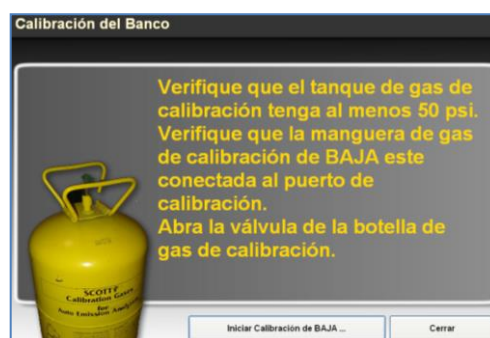


Figura 113. Inicio de la calibración.

El programa inicia el proceso de verificación y auto-cero automáticamente y una vez terminado cerrar la válvula del gas y desconectar la manguera de la toma de calibración.

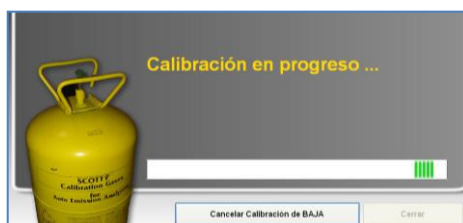


Figura 114. Calibración en proceso.



Figura 115. Auto-cero en proceso.



Figura 116. Fin de la calibración de baja.

- **Prueba de fugas**

Ahora se debe dirigir a la opción 'Fugas', y sale otra ventana donde da la instrucción de taponar la punta de la sonda antes de iniciar la prueba.

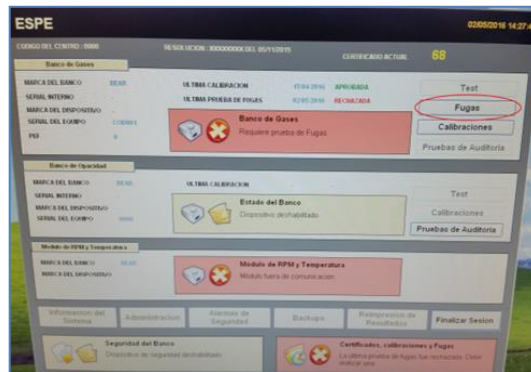


Figura 117. Sección de la opción de fugas.



Figura 118. Inicio de la prueba de fugas.



Figura 119. Punta de la sonda tapada.

Se espera un momento mientras el programa automáticamente realiza la verificación del estado del banco y la prueba de fugas.



Figura 120. Verificación del banco de pruebas.



Figura 121. Prueba de fugas en proceso.



Figura 122. Fin de la prueba de fugas

Finalizada la prueba de fugas y la calibración de gas a baja, se puede verificar que se tenga aprobadas las dos antes mencionadas en la ventana del software y estén listas para realizar la prueba de gases.



Figura 123. Calibración y fugas aprobadas.

- **Lectura de gases residuales estática con el colector de admisión estándar.**

Consideraciones previas a realizar la prueba.

- Utilizar el equipo de protección personal (EPP) tales como: guantes, gafas, mascarilla, calzado de seguridad.
- Inspeccionar que el sistema de escape no presente ningún tipo de fugas o abolladuras, ya que esto podría producir erróneas mediciones.
- Revisar el estado de la batería y chequear que sus bornes no se encuentren sulfatados.
- Realizar un chequeo del nivel de aceite y refrigerante para que no haya ningún inconveniente durante la prueba.
- Verificar el estado de las bujías, el filtro de aire y de combustible, reemplazar si es necesario.
- Hacer una limpieza de los inyectores de combustible.

Prueba

- Se enciende el vehículo y esperar a que llegue a la temperatura normal de funcionamiento, también se debe prender el analizador para que se caliente y se estabilice.
- Se conecta el módulo de rpm a la batería mediante las pizas, tener cuidado con la polaridad de los mismos.



Figura 124. Conexión del módulo de rpm la batería

- Seleccionar la opción de 'Test' en el cuadro de banco de gases y se abre otra ventana en donde se verifica que las revoluciones sean las correctas con las del vehículo y presionar en continuar.



Figura 125. Selección de Test para la prueba de gases.

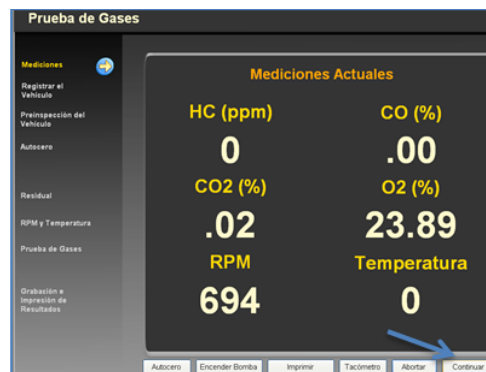


Figura 126. Verificación con las rpm del vehículo

- Ingresar los datos del vehículo y del propietario, las casillas amarillas son las relevantes y los blancos opcionales, debe quedar como se indica a continuación, luego se presiona 'Guardar y Continuar'.

The screenshot shows the 'Prueba de Gases' (Gas Test) software interface. On the left is a navigation menu with options: 'Mediciones', 'Registrar el Vehículo', 'Preinspección del Vehículo', 'Autocero', 'Residual', 'RPM y Temperatura', 'Prueba de Gases', and 'Grabación e Impresión de Resultados'. The 'Preinspección del Vehículo' option is highlighted with a blue arrow icon. The main area is divided into two sections: 'Información del Vehículo' and 'Información del Propietario'. The vehicle information includes fields for 'Placa' (RDA 3432), 'Marca' (CHEVROLET), 'Línea' (AVEO), 'Modelo' (2014), 'Servicio' (OFICIAL), 'Clase' (AUTOMOVIL), 'Número de motor', 'Número de Chasis' (BLAT052YE82317), 'Combustible' (Gasolina), 'Cilindraje', 'Kilometraje', and 'Número Cilindros' (4). The owner information includes fields for 'Identificación' (060254907), 'Tipo de identificación' (CC), 'Nombre' (JUAN CARLOS), 'Apellidos' (ORTIZ REYES), 'Dirección', 'Contacto', and 'Correo Electrónico'. At the bottom are buttons for 'Cerrar', 'Limpiar', and 'Guardar y Continuar'.

Figura 127. Datos del vehículo y del propietario.

- En la siguiente ventana presionar 'Verificado' siempre y cuando se haya cumplido con todos los procedimientos que se enlista y luego clic en 'Guardar y Continuar'.

The screenshot shows the 'Prueba de Gases' software interface at the verification step. The left navigation menu is the same as in Figure 127, with 'Preinspección del Vehículo' highlighted. The main area has a heading 'Revise los siguientes aspectos del vehículo antes de continuar con la inspección:' followed by a list of items to check: 'Verificar el filtro de retención de Humedad', 'Verificar la sonda de muestreo', 'Verificar caja de cambios en neutro o parqueo', 'Verificar choque del vehículo fuera de operación', 'Verificar accesorios del vehículo están apagados', 'Verificar el sistema de encendido', 'Verificar el sistema de admisión y filtro de aire', and 'Verificar el filtro de gasolina'. A 'Verificado' checkbox is checked. Below this is a section titled 'Si se cumple alguna de las siguientes características, marque la casilla correspondiente. La prueba será rechazada.' with a list of checkboxes: 'Fugas en el tubo de escape', 'Fuga en el silenciador', 'Ausencia o mal estado del tapon de combustible', 'Ausencia o mal estado del tapon de aceite', and 'Salidas adicionales a las del diseño'. At the bottom are buttons for 'Abortar' and 'Guardar y Continuar'.

Figura 128. Verificación y estado del vehículo.

- Si se cumplió con todo, el programa inicia el auto-cero y se espera un momento.

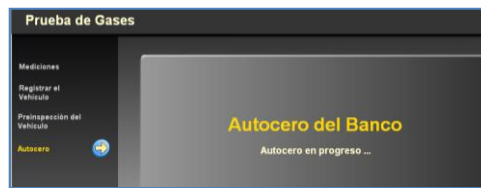


Figura 129. Auto-cero del banco

- En la siguiente ventana nuevamente ver las rpm del motor y se presiona continuar, luego sale un mensaje para insertar la sonda en el escape, insertarla completamente.



Figura 130. Inicio de prueba



Figura 131. Mensaje para insertar la sonda.



Figura 132. Sonda introducida en el escape

- El análisis inicia automáticamente con la prueba de ralentí, la cual dura 20 segundos.



Figura 133. Prueba de ralentí en proceso.



Figura 134. Prueba de ralentí finalizada.

- El programa pide acelerar el vehículo entre 2000 rpm y 2750 rpm, se debe mantener las revoluciones en este rango durante los 20 segundos que se demora la prueba crucero.



Figura 135. Prueba crucero en proceso.



Figura 136. Prueba crucero finalizada.

- Finalizada la prueba dar clic en 'Prueba finalizada' y se guardaran los resultados en una carpeta para luego poder revisar, posteriormente retirar la sonda del tubo de escape y desconectar el módulo de rpm de la batería.

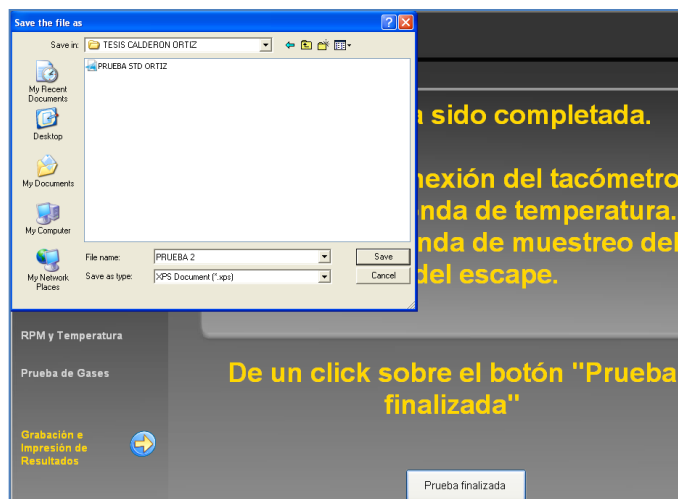


Figura 137. Guardado de los resultados.

- En el informe que se genera de la prueba de gases se muestran los datos del vehículo, del propietario, del encargado o del responsable de las pruebas y los resultados (Aprobada o Rechazada) con sus respectivas revoluciones a las que se llevó a cabo la prueba.

		ESPE			
		LATAKUNGA		Email:	
		Tel: 0000000			
DATOS DEL CLIENTE			DATOS DEL VEHICULO		
NOMBRE:	JUAN CARLOS		PLACA:	RBA-3692	MODELO: 2014
APELLIDO:	ORTIZ REYES		MARCA:	CHEVROLET	LINEA: AVEO
IDENTIFICACION:	0502254907		MOTOR:		COMBUSTIBLE: GASOLINA
DISPOSITIVO:	COD001		VIN:	8LATD52Y7E0231765	
DATOS DE LA PRUEBA					
RALENTI			CRUCERO		
RESULTADOS	NORMA		RESULTADOS	NORMA	
HC:	6.00	HC LIMITE: 200.00 ppm	HC:	2.00	HC LIMITE: 200.00 ppm
CO:	0.00	CO LIMITE: 1.00 %	CO:	0.00	CO LIMITE: 1.00 %
CO2:	13.43	CO2 MINIMO: 7.00 %	CO2:	14.22	CO2 MINIMO: 7.00 %
O2:	1.73	O2 MAXIMO: 5.00 %	O2:	0.25	O2 MAXIMO: 5.00 %
RPM:	695	RPM MIN: 500 rpm	RPM:	2.476	RPM MIN: 2,000 rpm
TEMP:	0	TEMP MIN: 0.00 °	TEMP:	0	TEMP MIN: 0.00 °
RESULTADO APROBADA			RESULTADO APROBADA		
FECHA DE LA PRUEBA: 4/26/2017 09:57:23			RESULTADO GENERAL: APROBADA		
OPERARIO RESPONSABLE: _____					
LEONIDAS QUIROZ					

Figura 138. Informe de gases con el múltiple estándar.

- **Medición del consumo de combustible**

Las mediciones del consumo de combustible se lo realiza a diferentes regímenes de revoluciones del motor desde la de ralentí hasta las máximas del vehículo 5500 rpm, esta prueba se la realizó durante la prueba dinamométrica, además se debe contar con un software que permita la conexión del vehículo con una computadora.

Instalación del software OBDwiz.

- Se hace doble clic en el instalador del software OBDwiz.
- Se da clic en 'Next' en la ventana de autorización de la instalación, luego clic en 'Next' en la ventana del destino de instalación y por último clic en 'Next' en la ventana de confirmación de la instalación.
- Se debe aceptar los términos de la instalación y esperar un momento para la instalación, finalmente se da clic en 'Close'.
- Se ubica el cable del OBDwiz, el un extremo al puerto OBD-II y el otro a un puerto USB de la computadora, si la conexión se encuentra bien hecha se enciende el led 'Power' de un color rojo.
- Poner el interruptor de encendido del vehículo en posición 'ON', el led 'Power' incrementa su brillo, y los demás leds se encienden intermitentemente confirmando la conexión.
- Abrir el software OBDwiz e introducir el serial de la licencia en el momento que el software lo pida.

Consideraciones previas a realizar la prueba.

- Utilizar el equipo de protección personal (EPP) los cuales son: casco, orejeras, guantes, calzado de seguridad, mandil.
- Ubicar el vehículo en el dinamómetro y verificar que se encuentre estable antes de iniciar la prueba.
- Tener apagado el vehículo.

Prueba

- Colocar la interfaz al terminal OBD-II del vehículo y el otro extremo al puerto USB de la computadora.



Figura 139. Conexión OBD-II y puerto USB

- Prender el vehículo y esperar que llegue a su temperatura de funcionamiento normal.
- Abrir el programa OBDwiz y hacer clic en el recuadro de 'Conexión', de ésta manera se conecta el vehículo con la computadora.

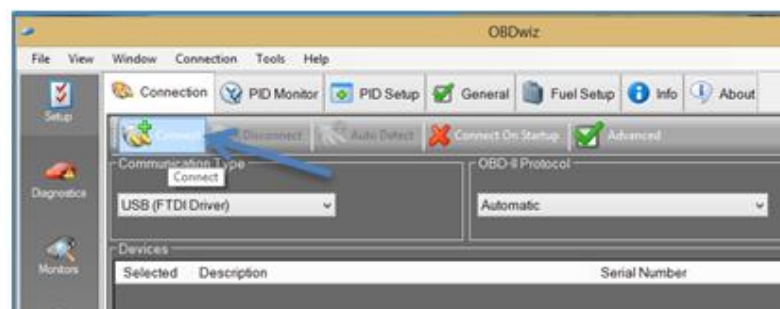


Figura 140. Conexión del vehículo con la PC.

- Ahora seleccionar el método de cálculo del consumo de combustible utilizando el 'IMAP', para ello ir al recuadro de 'Fuel setup' aquí se selecciona el IMAP, también se puede modificar algunos factores como la cilindrada, el tipo de combustible, las unidades de medición y la eficiencia volumétrica, que para este caso se puso en 65% que por defecto presenta el software bajo los siguientes criterios: se toma en

cuenta que “el rango de la eficiencia volumétrica para los motores a gasolina de cuatro tiempos es del 70% al 90%, de este 70% que es el mínimo se disminuye un 5% adicional por el desgaste normal del motor y por los altos regímenes a los que se alcanza la potencia máxima donde la duración del tiempo de admisión disminuye”. (Jaramillo, 1996)

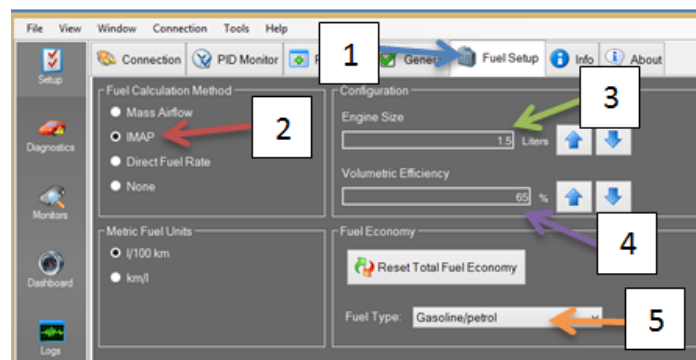


Figura 141. Configuraciones del tipo combustible.

- Dirigirse a la casilla ‘Dashboard’ y se presiona en ‘Reset’, también muestra una interfaz con numerosos indicadores los cuales son: el consumo total (Km/l) que indica el gasto promedio de combustible en un largo período de tiempo, el consumo instantáneo (Km/l), el consumo de combustible (l/h) que indica el gasto instantáneo y varía de acuerdo a las revoluciones del motor, el Trip (Km/l) que indica el consumo para el viaje activo, la distancia (Km), Combustible (l) que muestra el volumen estimado de combustible total consumido.



Figura 142. Indicadores del software.

- Realizar la prueba con la cuarta marcha ya que es la que más se acerca a una relación de transmisión 1:1 y coger los valores de combustible (gal/hr) a 5500 rpm que es el corte de prueba en el dinamómetro y la máxima potencia del vehículo.



Figura 143. Consumo de combustible.

- Se toma el valor de la casilla 'Fuel (gal/hr)' que muestra la figura 145, el cual es la cantidad que consume el vehículo al llegar a su máxima potencia.
- Finalizada la prueba se regresa a la casilla 'Setup' y se hace clic en 'Disconnect', luego en 'Exit' y por ultimo desconectar el interfaz del terminal OBD-II y apagar el vehículo.

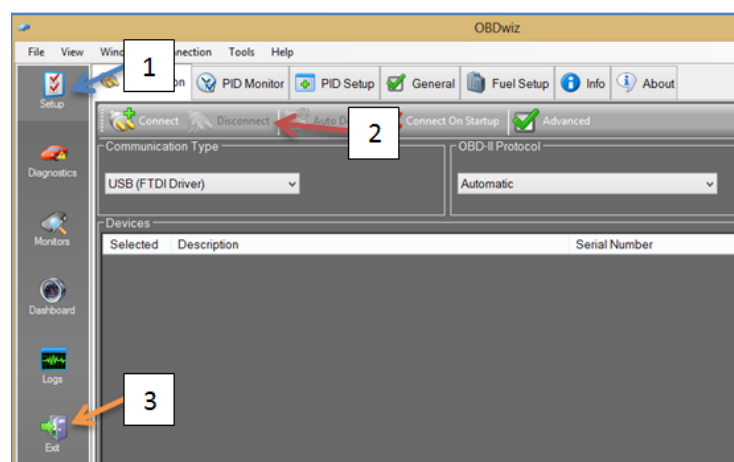


Figura 144. Salida y desconexión del interfaz.

4.6. Pruebas del vehículo Chevrolet con el múltiple ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno).

4.6.1. Desmontaje del múltiple estándar del vehículo Chevrolet Aveo Family 1.5 lt.

Se procede a retirar el múltiple estándar, para lo cual, con el vehículo apagado, desconectada la batería y embancado en un lugar seguro, se desaprietan las abrazaderas y se saca el conducto que une el depurador de aire al cuerpo de aceleración, se desconecta el sensor MAP y se lo retira, también se aflojan los pernos del cable de aceleración y se lo retira.

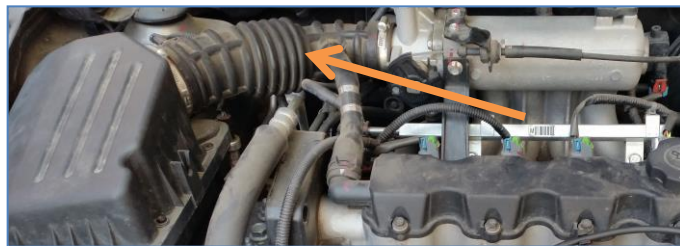


Figura 145. Conducto entre el depurador y el cuerpo de aceleración.



Figura 146. Ubicación del sensor MAP y sujetador del cable de aceleración.

Luego se procede con el cuerpo de aceleración, en este caso se aflojan los pernos y tuercas que lo sujetan al múltiple de admisión.



Figura 147. Cuerpo de aceleración.

Para poder retirar el riel de combustible, primero se desconectan todos los inyectores y se aflojan los dos pernos que unen el riel con el múltiple.



Figura 148. Desconexión de inyectores.



Figura 149. Aflojado de los pernos del riel de combustible.

Con mucho cuidado se sacan las mangueras de vacío que se encuentran en la parte posterior del múltiple.



Figura 150. Mangueras de vacío.

Finalmente se desmontan todos los pernos de la base del múltiple que lo sujetan al motor y se lo retira con cuidado.

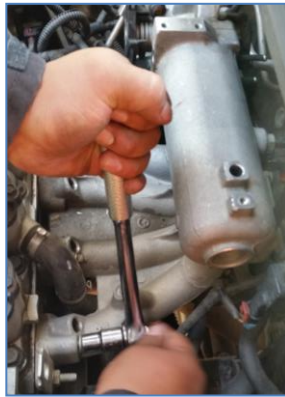


Figura 151. Desmontaje de los pernos de la base del múltiple.



Figura 152. Ubicación del múltiple libre.

4.6.2. Montaje del múltiple ABS en el vehículo Chevrolet Aveo Family 1.5 lt.

Antes del armado, primero se limpian bien las superficies tanto del motor como del múltiple ABS y se debe poner un empaque entre los dos.

Además para realizar un ajuste efectivo del múltiple de admisión se debe tener en cuenta la resistencia a la fractura del material y la resistencia requerida por los mismos.

Para tener un mayor ajuste se pone una rodela plana con el fin de que la fuerza aplicada se distribuya en un área mayor en el múltiple.

Fuerza máxima permisible por el material:

$$F_{mp} = R_f * \frac{\pi * d^2}{4}$$

Donde:

F_{mp} = Fuerza máxima permisible. [N]

R_f = Resistencia a la fractura. [MPa] (Ver anexo E)

d = Diámetro de la rodela. [mm]

$$F_{mp} = 70 \text{ MPa} * \frac{\pi * (16 \text{ mm})^2}{4}$$

$$F_{mp} = 14074,34 \text{ N}$$

Para obtener el momento de ajuste máximo se aplica la siguiente ecuación:

$$M_m = 0.17 * F_{mp} * d$$

Donde:

M_m = Momento máximo de ajuste. [N*m]

d= Diámetro de la rodela. [m]

$$M_m = 0.17 * 14074,34 \text{ N} * 0,016 \text{ m}$$

$$M_m = 38,28 \text{ N} * \text{m}$$

La fuerza máxima que se aplica para ajustar el múltiple ABS en el motor es de 38,28 N*m.

Para el montaje del múltiple y toda la línea de admisión y sensores se lo realiza de forma inversa al desmontaje que se detalló anteriormente.

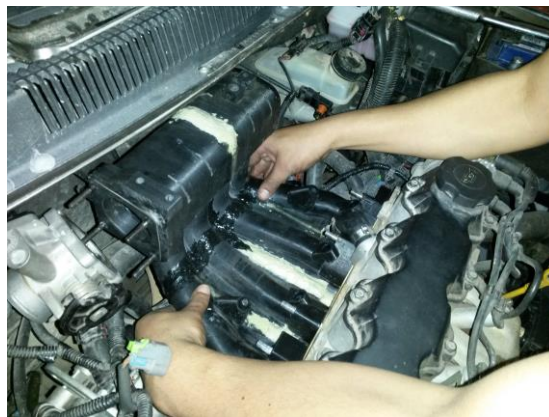


Figura 153. Montaje del múltiple ABS.



Figura 154. Múltiple ABS armado.

Una vez finalizado el armado, se puede continuar con las pruebas al vehículo.

4.6.3. Consideraciones de seguridad y ubicación del vehículo antes de realizar las pruebas de torque y potencia.

- Utilizar el equipo de protección personal (EPP): casco, orejeras, gafas, guantes, calzado de seguridad y ropa de trabajo.
- Ubicar el vehículo en los rodillos del dinamómetro y verificar que el eje de ruedas se encuentre paralelo a los rodillos, en caso de no serlo, no iniciar la prueba y volver a ubicar el auto para evitar que se salga bruscamente.
- Poner el freno de mano y anclar el vehículo con fajas de seguridad.
- Revisar la ficha técnica del vehículo para saber a qué revoluciones llega a tener la potencia y torque máximos.
- Encender el ventilador de enfriamiento y estar pendiente de la temperatura del motor.

4.6.4. Prueba de torque y potencia.

Una vez calibrado el software del dinamómetro y tomado las respectivas consideraciones de seguridad y ubicación del vehículo, se procede a prender el ventilador y encender el motor para llegue a su temperatura normal de funcionamiento.



Figura 155. Conducción del vehículo en el dinamómetro.

Se procede a acelerar el vehículo en la cuarta velocidad en la relación más cercana a 1:1 y acelerar a fondo, el software se auto inicia de acuerdo a la calibración que le puso anteriormente y corta la prueba al llegar a 5500 rpm.

- **Curva de torque y potencia con el colector de admisión ABS.**

Realizada la prueba se procede a revisar la gráfica de torque y potencia con sus respectivos datos los cuales se guardan automáticamente.

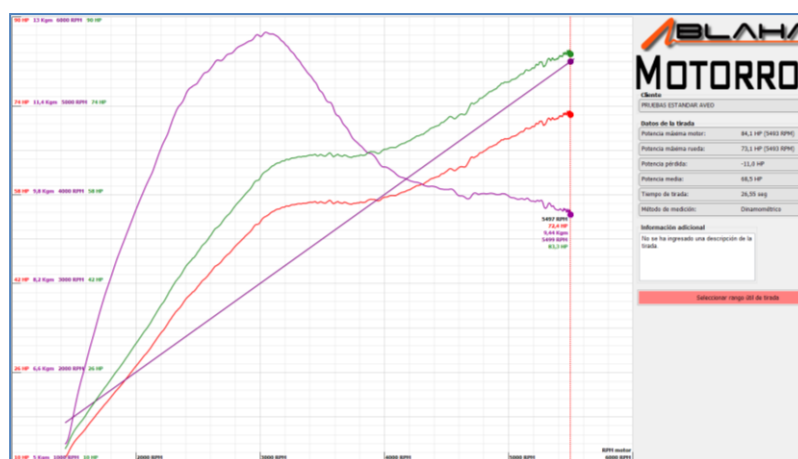


Figura 156. Torque y potencia con el múltiple ABS.

Tiempo	RPM motor	Potencia rueda	Torque	Potencia motor
1,66 Seg	1430 RPM	10,6 HP	5,36 Kgm	12,2 HP
2,66 Seg	2274 RPM	35,4 HP	11,01 Kgm	40,7 HP
5,31 Seg	2691 RPM	46,0 HP	12,22 Kgm	52,9 HP
7,44 Seg	3046 RPM	54,1 HP	12,71 Kgm	62,2 HP
7,97 Seg	3127 RPM	55,3 HP	12,67 Kgm	63,5 HP
10,62 Seg	3469 RPM	56,5 HP	11,72 Kgm	65,0 HP
13,27 Seg	3951 RPM	56,9 HP	10,39 Kgm	65,4 HP
15,93 Seg	4618 RPM	63,1 HP	9,78 Kgm	72,5 HP
18,58 Seg	5120 RPM	69,4 HP	9,72 Kgm	79,8 HP
21,24 Seg	5358 RPM	71,9 HP	9,60 Kgm	82,6 HP
23,89 Seg	5466 RPM	72,4 HP	9,49 Kgm	83,2 HP
25,68 Seg	5494 RPM	73,1 HP	9,51 Kgm	84,1 HP
26,50 Seg	5500 RPM	73,0 HP	9,49 Kgm	83,9 HP

Figura 157. Datos de torque y potencia digital con el múltiple ABS.

- **Tabulación de datos del múltiple ABS.**
- **Cálculos**

Presión media efectiva

$$pme = \frac{2 * \pi * \gamma * M}{V_t}$$

Donde:

pme = presión media efectiva (Pa)

γ = número de revoluciones por ciclo (motores de dos tiempos: 1 y para motores de cuatro tiempos: 2)

M = par motor (Nm)

V_t = cilindrada total del motor (m^3)

Par motor medido a 5494 rpm es 9,51 Kgm.

$M = 9,51 \text{ Kgm} = 93,26 \text{ Nm}$

$V_t = 1,5 \text{ litros} = 0,0015 \text{ m}^3$

$$pme = \frac{2 * \pi * 2 * 93,26 \text{ Nm}}{0,0015 \text{ m}^3}$$

$$pme = 781293,1489 \text{ Pa}$$

Potencia efectiva del motor

$$Ne = \frac{2 * pme * Vh * n * i}{10^3 * \tau}$$

Donde:

Ne = potencia efectiva del motor (KW)

pme = presión media efectiva (Pa)

Vh = volumen del cilindro (m^3)

n = frecuencia de rotación del motor (r.p.s)

i = número de cilindros

τ = número de tiempos del motor

$$n = 5494 \text{ rpm} = 91,5666 \text{ r.p.s}$$

$$Ne = \frac{2 * 781293,1489 \text{ Pa} * 0,000375 \text{ m}^3 * 91,5666 \text{ r.p.s} * 4}{10^3 * 4}$$

$$Ne = 53,655 \text{ KW} = 71,95 \text{ hp}$$

En la tabla 14 se muestran los datos de la prueba con el múltiple estándar.

Tabla 14.

Datos obtenidos prueba con ABS

Aceleración	100 %
Combustible	Gasolina extra
Marcha de la prueba	Cuarta velocidad
Tiempo de aceleración	25,68 seg.
Potencia del motor	84,1 hp
Revoluciones de corte	5494 rpm
Torque máximo	12,73 Kgm
Potencia efectiva medida	73,1 hp
Potencia efectiva calculada	71,95 hp

- **Prueba de emisión de gases.**

Consideraciones previas a realizar la prueba.

- Utilizar el equipo de protección personal (EPP) tales como: guantes, gafas, mascarilla, calzado de seguridad.
- Inspeccionar que el sistema de escape no presente ningún tipo de fugas o abolladuras, ya que esto podría producir erróneas mediciones.
- Revisar el estado de la batería y chequear que sus bornes no se encuentren sulfatados.
- Realizar un chequeo del nivel de aceite y refrigerante para que no haya ningún inconveniente durante la prueba.

- Verificar el estado de las bujías, el filtro de aire y de combustible, reemplazar si es necesario.
- Hacer una limpieza de los inyectores de combustible.
- **Informe de gases del múltiple ABS**

ESPE LATACUNGA Tel: 0000000		Email:	
DATOS DEL CLIENTE NOMBRE: JUAN CARLOS APELLIDO: ORTIZ REYES IDENTIFICACION: 0502254907 DISPOSITIVO: COD001		DATOS DEL VEHICULO PLACA: RBA-3692 MODELO: 2014 MARCA: CHEVROLET LINEA: AVEO MOTOR: COMBUSTIBLE: GASOLINA VIN: 8LATD52Y7E0231765	
DATOS DE LA PRUEBA			
RALENTI		CRUCERO	
RESULTADOS	NORMA	RESULTADOS	
HC: 9.00	HC LIMITE: 200.00 ppm	HC: 4.00	HC LIMITE: 200.00 ppm
CO: 0.00	CO LIMITE: 1.00 %	CO: 0.00	CO LIMITE: 1.00 %
CO2: 13.57	CO2 MINIMO: 7.00 %	CO2: 14.27	CO2 MINIMO: 7.00 %
O2: 1.88	O2 MAXIMO: 5.00 %	O2: 0.27	O2 MAXIMO: 5.00 %
RPM: 694	RPM MIN: 500 rpm	RPM: 2,405	RPM MIN: 2,000 rpm
TEMP: 0	TEMP MIN: 0.00 °	TEMP: 0	TEMP MIN: 0.00 °
RESULTADC APROBADA		RESULTADC APROBADA	
FECHA DE LA PRUEBA: 7/20/2017 15:05:46		RESULTADO GENERAL: APROBADA	
OPERARIO RESPONSABLE: _____			LEONIDAS QUIROZ

Figura 158. Informe de gases con el múltiple ABS.

- **Medición del consumo de combustible**

La realización de la prueba de consumo de combustible se la ejecutó bajo las mismas condiciones del estándar y siguiendo el mismo procedimiento detallado anteriormente para tener resultados correctos.



Figura 159. Consumo de combustible con el múltiple ABS.

En el corte de combustible se toma el consumo 'Fuel (gal/hr)' que muestra la figura 161, el cual es la cantidad que consume el vehículo al llegar a su máxima potencia.

4.7. Pruebas del vehículo Chevrolet con el múltiple PLA (Ácido Poliláctico).

Para el desmontaje del anterior múltiple y el montaje del múltiple de PLA se debe seguir el procedimiento detallado anteriormente, teniendo en cuenta el nuevo ajuste de los pernos para este material.

Fuerza máxima permisible por el material:

$$Fmp = R_f * \frac{\pi * d^2}{4}$$

Donde:

Fmp= Fuerza máxima permisible. [N]

R_f = Resistencia a la fractura. [MPa] (Ver anexo E)

d= Diámetro de la rodela [mm].

$$Fmp = 60 \text{ MPa} * \frac{\pi * (16 \text{ mm})^2}{4}$$

$$Fmp = 12063,71 \text{ N}$$

Para obtener el momento de ajuste máximo se aplica la siguiente ecuación simplificada:

$$M_m = 0.17 * Fmp * d$$

Donde:

M_m = Momento máximo de ajuste. [N*m]

d= Diámetro de la rodela [m].

$$M_m = 0.17 * 14074,34 N * 0,016 m$$

$$M_m = 32,81 N * m$$

La fuerza máxima que se aplica para ajustar el múltiple PLA en el motor es de 32,81 N*m.



Figura 160/ Múltiple PLA para el montaje.

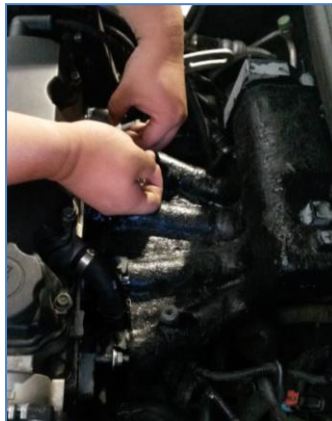


Figura 161. Armando el múltiple de material PLA.

Una vez finalizado el armado, se puede continuar con las pruebas al vehículo.

4.7.1. Consideraciones de seguridad y ubicación del vehículo antes de realizar las pruebas de torque y potencia.

- Utilizar el equipo de protección personal (EPP): casco, orejeras, gafas, guantes, calzado de seguridad y ropa de trabajo.
- Ubicar el vehículo en los rodillos del dinamómetro y verificar que el eje de ruedas se encuentre paralelo a los rodillos, en caso de no serlo, no iniciar la prueba y volver a ubicar el auto para evitar que se salga bruscamente.
- Poner el freno de mano y anclar el vehículo con fajas de seguridad.
- Revisar la ficha técnica del vehículo para saber a qué revoluciones llega a tener la potencia y torque máximos.
- Encender el ventilador de enfriamiento y estar pendiente de la temperatura del motor.

4.7.2. Prueba de torque y potencia con el múltiple PLA.

Una vez calibrado el software del dinamómetro y tomado las respectivas consideraciones de seguridad y ubicación del vehículo, se procede a prender el ventilador y encender el motor para llegue a su temperatura normal de funcionamiento.



Figura 162. Conducción del vehículo en el dinamómetro.

Se procede a acelerar el vehículo hasta que llegue a la cuarta velocidad en la relación más cercana a 1:1 y acelerar a fondo, el software se auto inicia

de acuerdo a la calibración que se puso anteriormente y corta la prueba al llegar a 5500 rpm.

- **Curva del torque y potencia con el colector de admisión PLA.**

Realizada la prueba proceder a revisar la gráfica de torque y potencia con sus respectivos datos los cuales se guardan automáticamente.

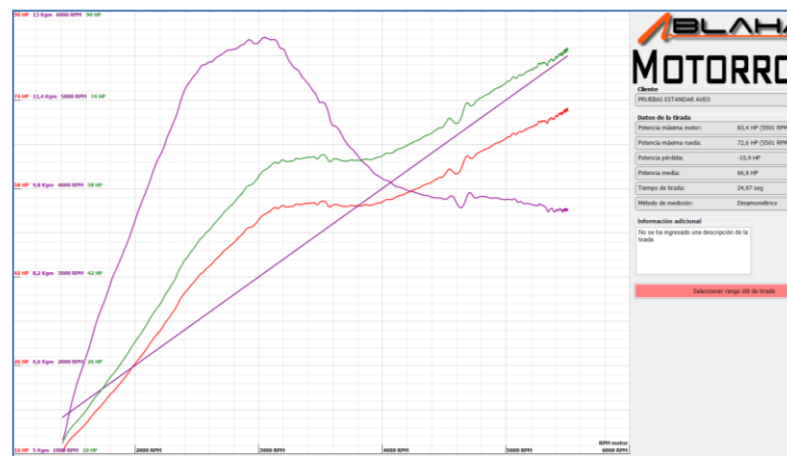


Figura 163. Torque y potencia con el múltiple PLA.

Tiempo	RPM motor	Potencia rueda	Torque	Potencia motor
0.00 Seg	1412 RPM	10.4 HP	5.25 Kgm	11.0 HP
2.50 Seg	2089 RPM	28.9 HP	9.75 Kgm	33.2 HP
5.00 Seg	2504 RPM	43.9 HP	12.04 Kgm	49.4 HP
7.49 Seg	2992 RPM	52.1 HP	12.43 Kgm	58.9 HP
7.81 Seg	3049 RPM	53.3 HP	12.54 Kgm	61.3 HP
9.99 Seg	3383 RPM	55.3 HP	11.74 Kgm	63.6 HP
12.49 Seg	3849 RPM	55.0 HP	13.27 Kgm	63.2 HP
14.38 Seg	4514 RPM	60.8 HP	9.61 Kgm	69.9 HP
17.48 Seg	5045 RPM	67.7 HP	9.60 Kgm	77.8 HP
19.98 Seg	5311 RPM	70.2 HP	9.48 Kgm	80.8 HP
22.48 Seg	5445 RPM	72.4 HP	9.41 Kgm	82.4 HP
24.92 Seg	5501 RPM	72.6 HP	9.42 Kgm	82.4 HP
24.97 Seg	5583 RPM	72.5 HP	9.43 Kgm	83.4 HP

Figura 164. Datos de torque y potencia digital con el múltiple PLA.

- **Tabulación de datos del múltiple PLA.**
- **Cálculos**

Presión media efectiva

$$pme = \frac{2 * \pi * \gamma * M}{V_t}$$

Donde:

pme = presión media efectiva (Pa)

γ = número de revoluciones por ciclo (motores de dos tiempos: 1 y para motores de cuatro tiempos: 2)

M = par motor (Nm)

V_t = cilindrada total del motor (m^3)

Par motor medido a 5501 rpm es 9,42 Kgm.

$M = 9,42 \text{ Kgm} = 92,38 \text{ Nm}$

$V_t = 1,5 \text{ litros} = 0,0015 \text{ m}^3$

$$pme = \frac{2 * \pi * 2 * 92,38 \text{ Nm}}{0,0015 \text{ m}^3}$$

$$pme = 773920,8782 \text{ Pa}$$

Potencia efectiva del motor

$$Ne = \frac{2 * pme * Vh * n * i}{10^3 * \tau}$$

Donde:

Ne = potencia efectiva del motor (KW)

pme = presión media efectiva (Pa)

Vh = volumen del cilindro (m^3)

n = frecuencia de rotación del motor (r.p.s)

i = número de cilindros

τ = número de tiempos del motor

$$n = 5501 \text{ rpm} = 91,6833 \text{ r.p.s}$$

$$N_e = \frac{2 * 773920,8782 \text{ Pa} * 0,000375 \text{ m}^3 * 91,6833 \text{ r.p.s} * 4}{10^3 * 4}$$

$$N_e = 53,217 \text{ KW} = 71,37 \text{ hp}$$

En la tabla 15 se muestran todos los datos de la prueba con el múltiple estándar.

Tabla 15.

Datos obtenidos de la prueba con PLA.

Aceleración	100 %
Combustible	Gasolina extra
Marcha de la prueba	Cuarta velocidad
Tiempo de aceleración	24,92 seg.
Potencia del motor	83,4 hp
Revoluciones de corte	5501 rpm
Torque máximo	12,54 Kgm
Potencia efectiva medida	72,6 hp
Potencia efectiva calculada	71,37 hp

- **Medición del consumo de combustible**



Figura 165. Consumo de combustible con el múltiple PLA.

Se toma el valor del consumo de la casilla 'Fuel (gal/hr)' que muestra la figura 167, el cual es la cantidad que consume el vehículo al llegar a su máxima potencia.

Durante las pruebas dinamométricas y de consumo de combustible con el múltiple PLA, en la prueba número tres el material no resistió la temperatura y se deformó, por lo cual no se puede realizar la siguiente prueba de análisis de gases de escape.



Figura 166. Múltiple PLA instalado.



Figura 167. Deformación del múltiple PLA en los cilindros dos y tres.

4.8. Pruebas del vehículo Chevrolet con el múltiple PET (Polietileno Tereftalato).

Para el desmontaje del anterior múltiple y el montaje del múltiple de PET se debe seguir el procedimiento detallado anteriormente, teniendo en cuenta el nuevo ajuste de los pernos para este material.

Fuerza máxima permisible por el material:

$$F_{mp} = R_f * \frac{\pi * d^2}{4}$$

Donde:

F_{mp} = Fuerza máxima permisible. [N]

R_f = Resistencia a la fractura. [MPa] (Ver anexo E)

d = Diámetro de la rodela [mm].

$$F_{mp} = 59 \text{ MPa} * \frac{\pi * (16\text{mm})^2}{4}$$

$$F_{mp} = 11862,65 \text{ N}$$

Para obtener el momento de ajuste máximo se aplica la siguiente ecuación simplificada:

$$M_m = 0.17 * F_{mp} * d$$

Donde:

M_m = Momento máximo de ajuste. [N*m]

d = Diámetro de la rodela [m]

$$M_m = 0.17 * 14074,34 \text{ N} * 0,016 \text{ m}$$

$$M_m = 32,26 \text{ N} * \text{m}$$

La fuerza máxima que se aplica para ajustar el múltiple PET en el motor es de 32,26 N*m.



Figura 168. Montaje del múltiple PET.



Figura 169. Múltiple PET armado.

Una vez finalizado el armado, se puede continuar con las pruebas al vehículo.

4.8.1. Consideraciones de seguridad y ubicación del vehículo antes de realizar las pruebas de torque y potencia.

- Utilizar el equipo de protección personal (EPP): casco, orejeras, gafas, guantes, calzado de seguridad y ropa de trabajo.
- Ubicar el vehículo en los rodillos del dinamómetro y verificar que el eje de ruedas se encuentre paralelo a los rodillos, en caso de no serlo, no iniciar la prueba y volver a ubicar el auto para evitar que se salga bruscamente.
- Poner el freno de mano y anclar el vehículo con fajas de seguridad.
- Revisar la ficha técnica del vehículo para saber a qué revoluciones llega a tener la potencia y torque máximos.
- Encender el ventilador de enfriamiento y estar pendiente de la temperatura del motor.

4.8.2. Prueba de torque y potencia con el múltiple PET.

Una vez calibrado el software del dinamómetro y tomado las respectivas consideraciones de seguridad y ubicación del vehículo, se puede proceder a

prender el ventilador y encender el motor para que llegue a su temperatura normal de funcionamiento.



Figura 170. Conducción del vehículo en el dinamómetro.

Al encender el vehículo para que alcance a su temperatura normal de funcionamiento y proceder a realizar la prueba dinamométrica, el múltiple de material PET no resistió la temperatura que se transmitió del motor hacia el múltiple a través de los pernos que se encuentran en los cilindros número dos y tres.



Figura 171. Múltiple PET armado.

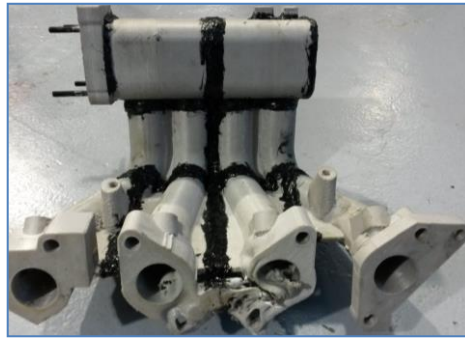


Figura 172. Deformación del múltiple PET en los cilindros dos y tres.

4.9. Cálculos de los rendimientos de motor de combustión interna.

- Rendimiento efectivo

$$n_e = \frac{N_e}{\dot{m}_f * H_c}$$

$$n_e = \frac{50.79 \text{ KW}}{2.4684 * 10^{-3} \frac{\text{Kg}}{\text{seg}} * 43200 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}}$$

$$n_e = 0.47$$

$$n_e = 47\% \text{ (Colector estándar)}$$

$$n_e = \frac{53.655 \text{ KW}}{2.5709 * 10^{-3} \frac{\text{Kg}}{\text{seg}} * 43200 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}}$$

$$n_e = 0.483$$

$$n_e = 48.31\% \text{ (Colector ABS)}$$

$$n_e = \frac{53.217 \text{ KW}}{2.5314 * 10^{-3} \frac{\text{Kg}}{\text{seg}} * 43200 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}}$$

$$n_e = 0.486$$

$$n_e = 48.66\% \text{ (Colector PLA)}$$

- **Volumen del cilindro**

$$Vh = \frac{\pi * D^2}{4} * s$$

$$Vh = \frac{\pi * (0.0765 \text{ m})^2 * 0.0815 \text{ m}}{4}$$

$$Vh = 3.74 * 10^{-4} \text{ m}^3$$

Presión media del ciclo

$$Pmc = \frac{T}{Vh} * i$$

$$Pmc = \frac{117.58 \text{ Nm}}{3.74 * 10^{-4} \text{ m}^3} * 4$$

$$Pmc = 1257.54 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2}$$

$$Pmc = 12.57 \text{ Bar (Colector estándar)}$$

$$Pmc = \frac{124.84 \text{ Nm}}{3.74 * 10^{-4} \text{ m}^3} * 4$$

$$Pmc = 13.35 \text{ Bar (Colector ABS)}$$

$$Pmc = \frac{122.98 \text{ Nm}}{3.74 * 10^{-4} \text{ m}^3} * 4$$

$$Pmc = 13.15 \text{ Bar (Colector PLA)}$$

- **Eficiencia térmica**

$$n_t = Pmc \frac{(\varepsilon - 1)(k - 1)}{P_a * \varepsilon^k * (\gamma - 1)}$$

$$n_t = 1.257 * 10^8 \text{ Pa} * \frac{(9.5 - 1)(1.41 - 1)}{102811 \text{ Pa} * 9.5^{1.41} * (6 - 1)}$$

$$.n_t = 35.64 \% \text{ (Colector estándar)}$$

$$n_t = 1.335 * 10^8 Pa * \frac{(9.5 - 1)(1.41 - 1)}{102811 Pa * 9.5^{1.41} * (6 - 1)}$$

$$.n_t = 37.85 \% \text{ (Colector ABS)}$$

$$n_t = 1.315 * 10^8 Pa * \frac{(9.5 - 1)(1.41 - 1)}{102811 Pa * 9.5^{1.41} * (6 - 1)}$$

$$.n_t = 37.28 \% \text{ (Colector PLA)}$$

- **Rendimiento mecánico**

$$n_m = \frac{N_e}{N_i}$$

$$n_m = \frac{50.79 KW}{61.89 KW}$$

$$n_m = 82.06 \% \text{ (Colector estándar)}$$

$$n_m = \frac{53.665 KW}{61.89 KW}$$

$$n_m = 86.71 \% \text{ (Colector ABS)}$$

$$n_m = \frac{53.217 KW}{61.89 KW}$$

$$n_m = 85.98 \% \text{ (Colector PLA)}$$

- **Rendimiento efectivo**

$$n_i = \frac{N_i}{\dot{m}_f * H_c}$$

$$n_i = \frac{61.8931 KW}{2.4684 * 10^{-3} \frac{Kg}{seg} * 43200 \frac{KJ}{Kg}}$$

$$n_e = 0.58$$

$$n_i = 58.04\% \text{ (Colector estándar)}$$

$$n_i = \frac{61.8931 \text{ KW}}{2.5709 * 10^{-3} \frac{\text{Kg}}{\text{seg}} * 43200 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}}$$

$$n_e = 0.557$$

$$n_i = 55.72\% \text{ (Colector ABS)}$$

$$n_i = \frac{61.8931 \text{ KW}}{2.5314 * 10^{-3} \frac{\text{Kg}}{\text{seg}} * 43200 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}}$$

$$n_e = 0.565$$

$$n_i = 56.59\% \text{ (Colector PLA)}$$

4.10. Medición de rugosidades.

Para la medición de la rugosidad de los materiales termoplásticos se utilizó un rugosímetro, el cual debe estar bien fijado en su estructura para que no tenga oscilaciones durante la medición.

Una vez sujetado el equipo de medición, se ubica al frente la pieza a ser medida, haciendo contacto la superficie a medir con la punta palpadora.



Figura 173. Superficie y punta palpadora en contacto

4.10.1. Medición de la rugosidad de los materiales termoplásticos.



Figura 174. Rugosímetro y pieza a medir bien fijadas

Para iniciar se presiona la tecla ON del rugosímetro, luego STAR y se espera que la punta palpadora haga su recorrido hacia delante midiendo la rugosidad de la superficie y regrese a su posición inicial.

En la pantalla del equipo de medición sale el resultado en la unidad de metro, hay que tener en cuenta que el rugosímetro tiene un margen de error de más-menos 40 nanómetros.



Figura 175. Rugosidad del PET

El procedimiento para la medición de los otros materiales es el mismo que el realizado con el PET.



Figura 176. Rugosidad del PLA



Figura 177. Rugosidad del ABS

4.11. Análisis de resultados.

4.11.1. Simulación CFD

Tabla 16.

Velocidades del flujo de aire dentro del múltiple.

Parte del múltiple	Velocidad del flujo de aire
Entrada	8,26 m/s
Cámara	0.92 m/s
Inicio de los conductos	9.18 m/s
Salida	5,50 m/s

Mediante la simulación Dinámica de fluidos computacional (CFD) se puede ver cuál es el comportamiento del aire dentro de la geometría del múltiple y se comprueba si el aire circula a la misma velocidad en los conductos del mismo, en la tabla 16 se registra la velocidad del flujo de aire en distintos puntos del colector, en la entrada del múltiple se tiene 8,26 m/s,

luego entra a la cámara donde hay un descenso a 0.92 m/s y antes de dirigirse totalmente a cada uno de los conductos su velocidad al inicio es de 9.18 m/s, finalmente se alcanza en la salida de cada uno de los conductos de admisión hacia la cámara del motor una velocidad de 5,50 m/s.

4.11.2. Análisis estructural

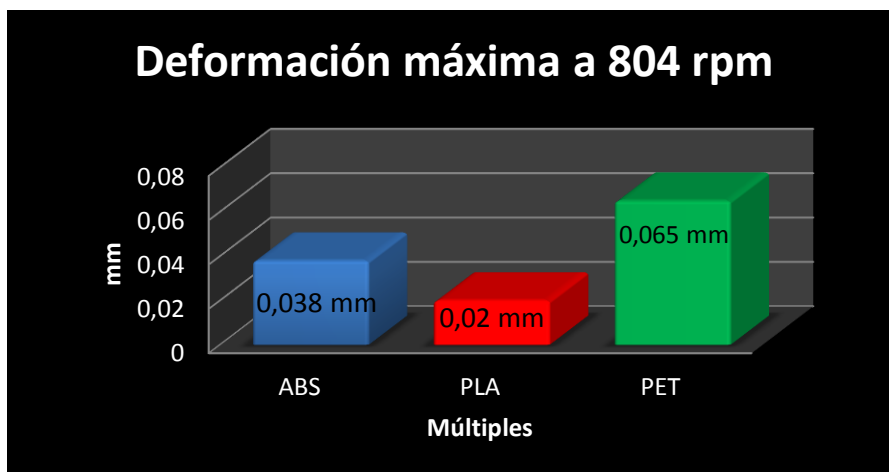


Figura 178. Comparación de la deformación máxima a 804 rpm

La mayor deformación a 804 rpm sufrió el múltiple de material PET con un 0,065 mm, mientras que el material con la menor deformación fue el PLA con 0,02 mm, hay que tener en cuenta que la mayor deformación en los tres materiales fue en el mismo punto del múltiple, al extremo de la cámara.

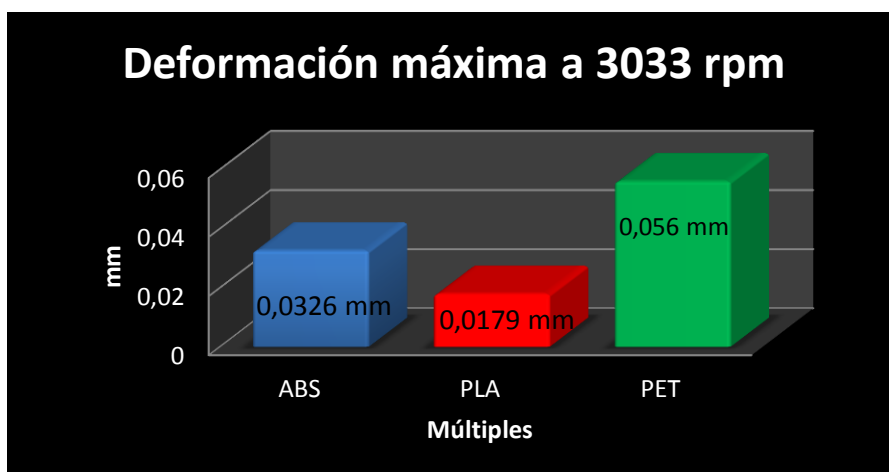


Figura 179. Comparación de la deformación máxima a 3033 rpm

La mayor deformación a 3033 rpm sufrió el múltiple de material PET con un 0,056 mm, mientras que el material con la menor deformación fue el PLA con 0,0179 mm, hay que tener en cuenta que la mayor deformación en los tres materiales fue en el mismo punto del múltiple, al extremo de la cámara.

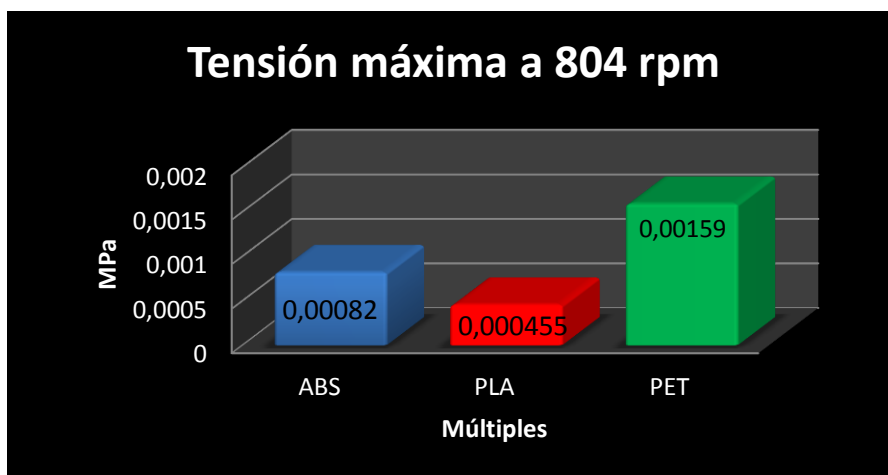


Figura 180. Comparación de la tensión máxima a 804 rpm

La mayor tensión a 804 rpm sufrió el múltiple de material PET con un 0,00159 MPa, mientras que el material con la menor deformación fue el PLA con 0,000455 MPa, hay que tener en cuenta que la mayor tensión en los tres materiales fue en el mismo punto del múltiple, al extremo de la cámara.

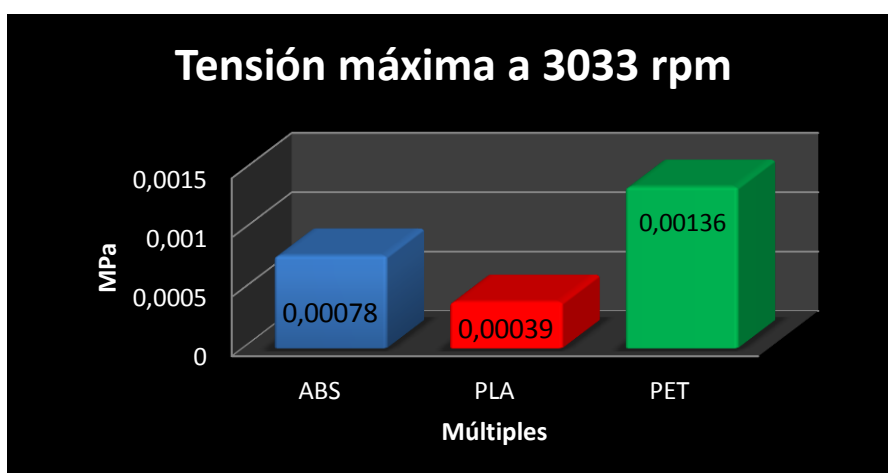


Figura 181. Comparación de la tensión máxima a 3033 rpm

La mayor tensión a 3033 rpm sufrió el múltiple de material PET con un 0,00136 MPa, mientras que el material con la menor deformación fue el PLA con 0,00039 MPa, hay que tener en cuenta que la mayor tensión en los tres materiales fue en el mismo punto del múltiple, al extremo de la cámara.

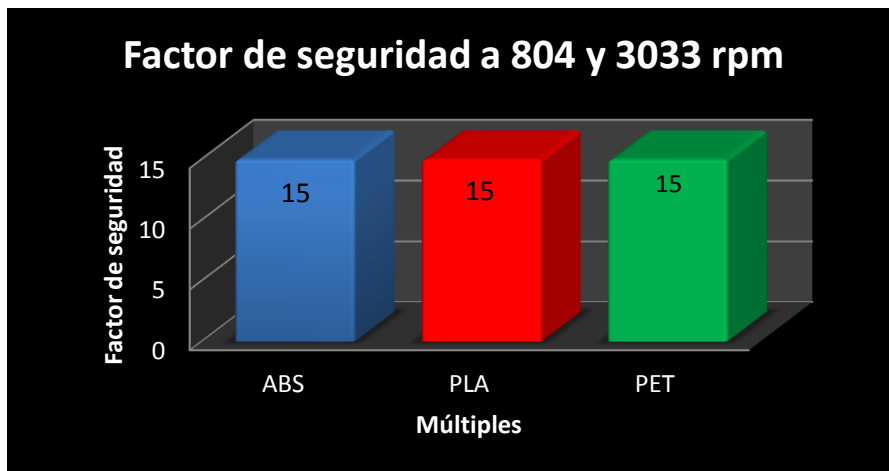


Figura 182. Comparación del factor de seguridad a 804 y 3033 rpm

El factor de seguridad para los tres materiales termoplásticos en las dos condiciones de trabajo (804 y 3033 rpm) es de 15 en toda su estructura.

4.11.3. Rugosidades

Tabla 17.

Rugosidades de los distintos materiales.

Múltiple de admisión	Rugosidad
Estándar aluminio (ver anexo F)	1 - 2 μm
ABS	0,067 μm
PLA	0,041 μm
PET	5,805 μm

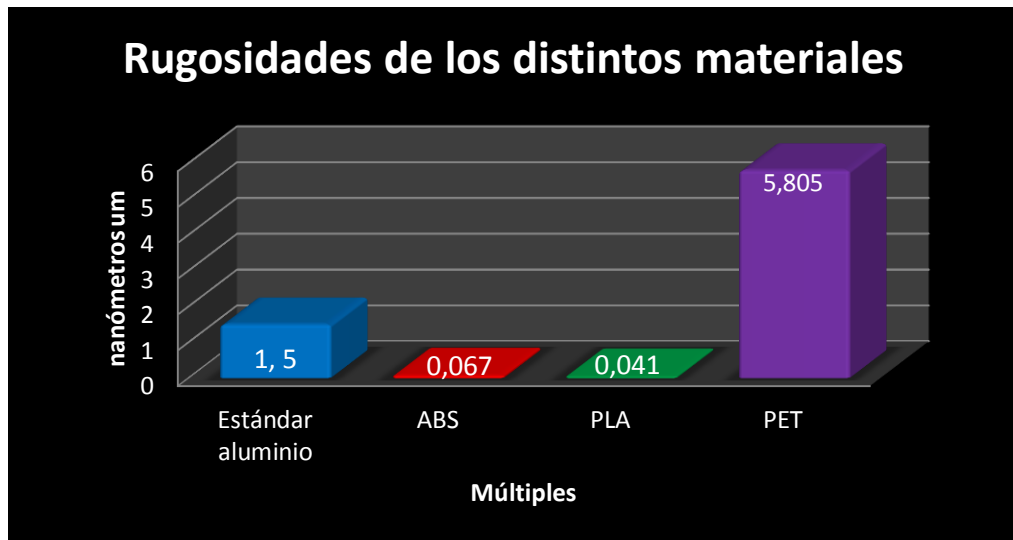


Figura 183. Comparación de las rugosidades

Las menores rugosidades las tienen los materiales termoplásticos ABS y PLA, siendo 0,067 μm y 0,041 μm respectivamente, lo que justifica que el aire tenga menos resistencia en circular hasta la salida del múltiple, por el contrario el material con mayor rugosidad es el PET con 5,805 μm .

4.11.4. Potencia

Como se mencionó anteriormente el múltiple de material PET se deformó antes de realizar las primeras pruebas, por lo que no se lo tomará en cuenta para los análisis, mientras que el colector de material PLA se deformó luego de realizar las primeras pruebas, por este motivo se lo tomará en cuenta en el análisis de: potencia, torque y consumo de combustible más no en el análisis de gases.

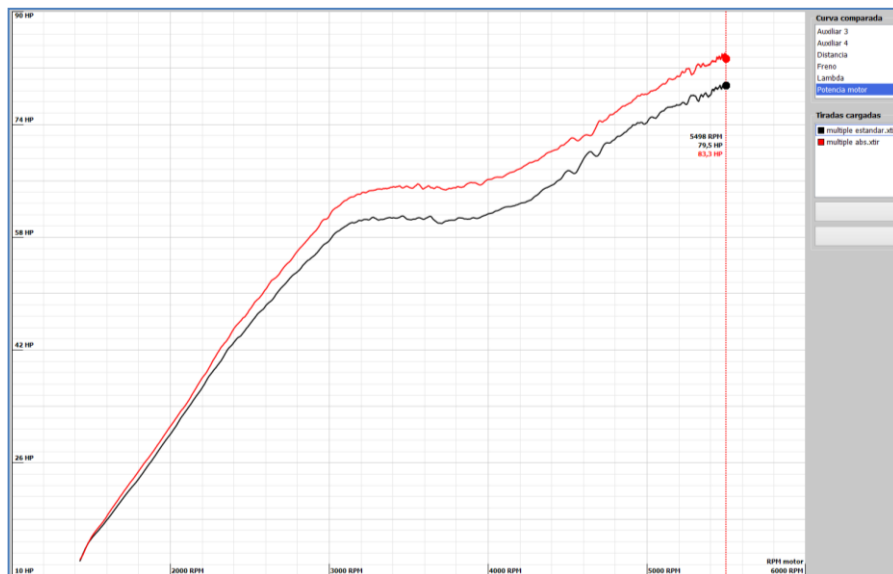


Figura 184. Comparación de potencia estándar vs ABS

Donde el color rojo representa la curva del múltiple de material ABS y el color negro el colector estándar.

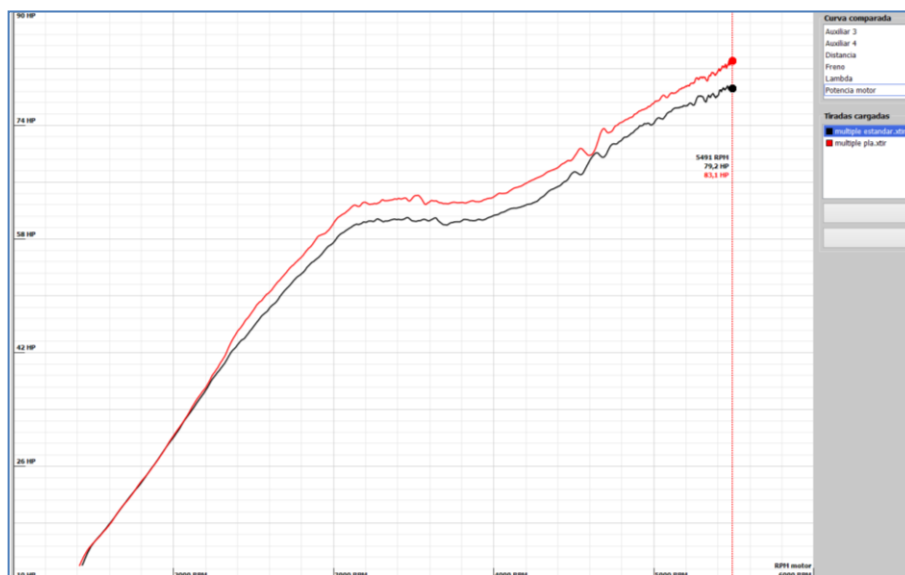


Figura 185. Comparación de potencia estándar vs PLA

Donde el color rojo representa la curva del múltiple de material PLA y el color negro el colector estándar.

Tabla 18.

Potencia obtenida de los diferentes múltiples.

Múltiple de admisión	Tiempo de prueba	RPM del motor	Potencia del motor
Estándar	20,82 seg	5501	79,6 hp
ABS	25,68 seg	5494	84,1 hp
PLA	24,92 seg	5501	83,4 hp

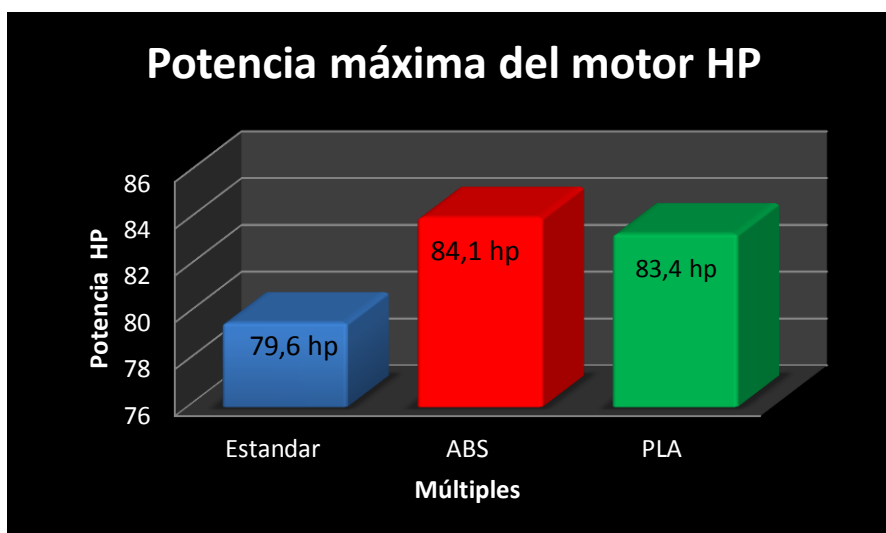


Figura 186. Comparación de las potencias del motor

La potencia del motor con los múltiples de material termoplástico tuvo un incremento de 4,5 hp para el de ABS lo que representa un 5,65 % y de 3,8 hp para el de PLA que es un 4,77 % en comparación con el estándar, por motivo de que los materiales no transfieren el calor y el aire a la salida del múltiple se encuentra más frío y tiene una mayor densidad, haciendo que entre una cantidad mayor de aire al motor y tenga un mejor llenado.

También los múltiples de ABS y PLA presentan superficies más lisas que el de aluminio, haciendo que cuando se acelere a fondo el aire que entra al motor encuentre menos resistencia, por lo que su llenado es más eficiente.

4.11.5. Torque.

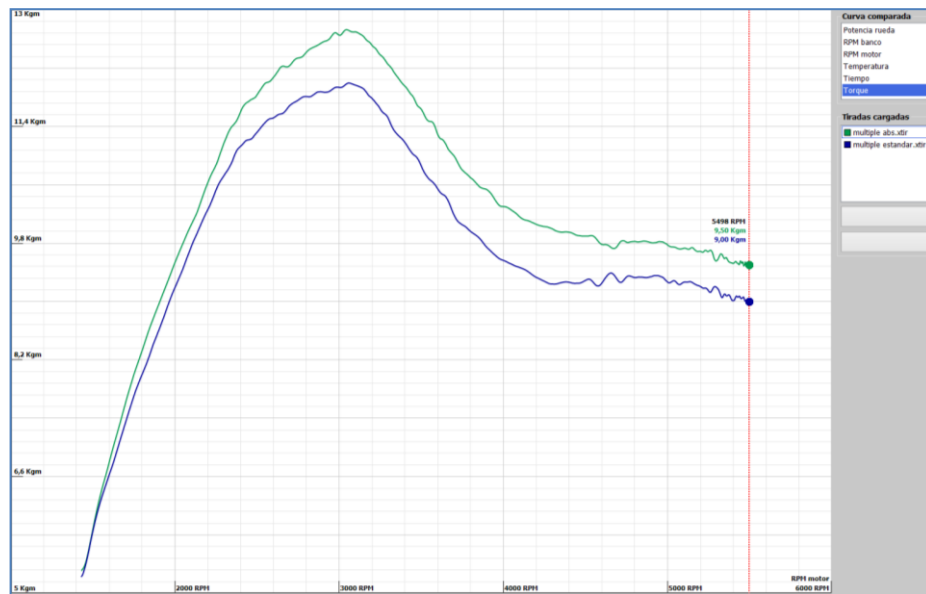


Figura 187. Comparación de torque estándar vs ABS

Donde el color verde representa la curva del múltiple del material ABS y el color azul el colector estándar.

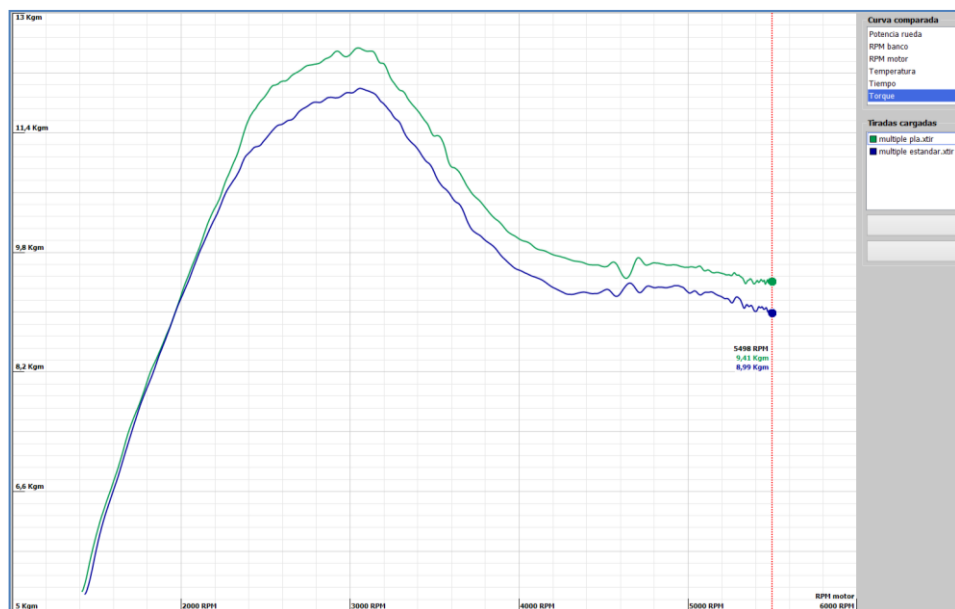


Figura 188. Comparación de torque estándar vs PLA

Donde el color verde representa la curva del múltiple de material PLA y el color azul el colector estándar.

Tabla 19.

Torque obtenido de los diferentes múltiplos.

Múltiple de admisión	Tiempo de prueba	RPM del motor	Torque del motor
Estándar	20,82 seg	5501	117,58 Nm
ABS	25,68 seg	5494	124,84 Nm
PLA	24,92 seg	5501	122,98 Nm

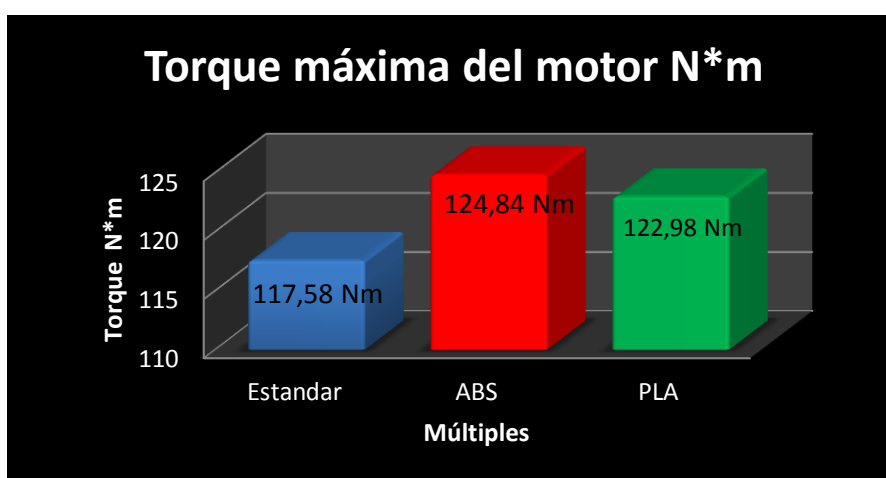


Figura 189. Comparación de los torques del motor

El torque del motor con los múltiplos de material termoplástico tuvo un aumento de 7,26 Nm para el de ABS lo que representa un 6,17 % y de 5,4 Nm para el de PLA que es un 4,59 % en relación con el estándar, recordando que el torque es directamente proporcional a la potencia, se justifica que a mayor potencia, mayor será el torque. Como se puede ver en las figuras 190 y 191, hay más torque desde el inicio de las pruebas en ambas comparaciones.

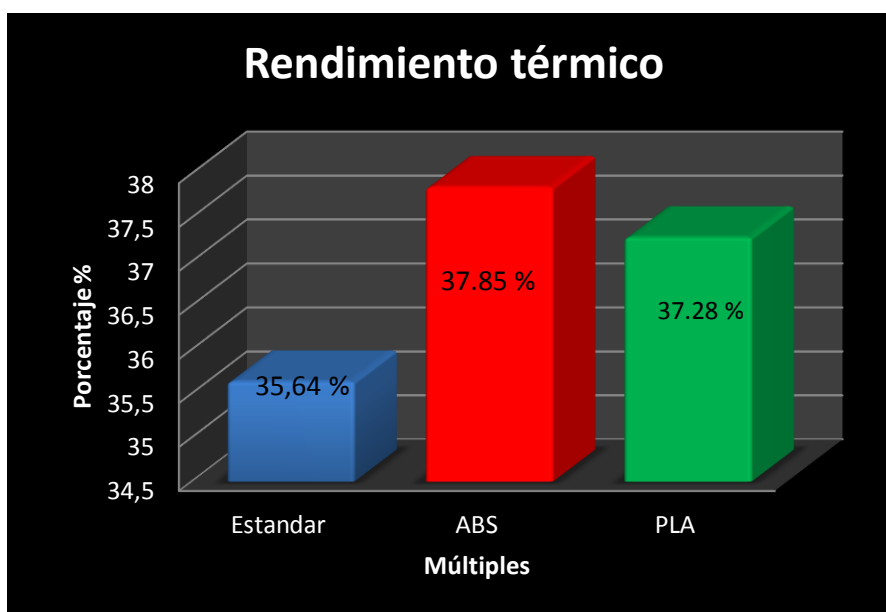
4.11.6. Rendimientos del motor de combustión interna

Con los datos obtenidos durante las pruebas con los diferentes múltiplos, se realiza los cálculos de la presión media del ciclo, eficiencia térmica, rendimiento mecánico, rendimiento indicado y se presentan en la tabla 20.

Tabla 20.**Consumo de combustible obtenido de los diferentes múltiplos.**

Múltiple de admisión	Rendimiento térmico	Rendimiento mecánico	Rendimiento indicado
Estándar	35.64 %	82.06 %	58.04 %
ABS	37.85 %	86.71 %	55.72 %
PLA	37.28 %	85.98 %	56.59 %

En la figura 194 se representa el rendimiento térmico con cada uno de los múltiplos con los que se realizó las pruebas, siendo el múltiple de material ABS el que tiene un mayor rendimiento, con un 2,21 % por encima del colector estándar.

**Figura 190. Comparación del rendimiento térmico**

En la figura 195 se muestra la comparación del rendimiento mecánico al intercambiar los múltiplos en el motor, se observa que el colector de material ABS presenta el mayor porcentaje con un 86,71 %, mientras que el múltiple estándar tiene el menor valor con 82,06 %.

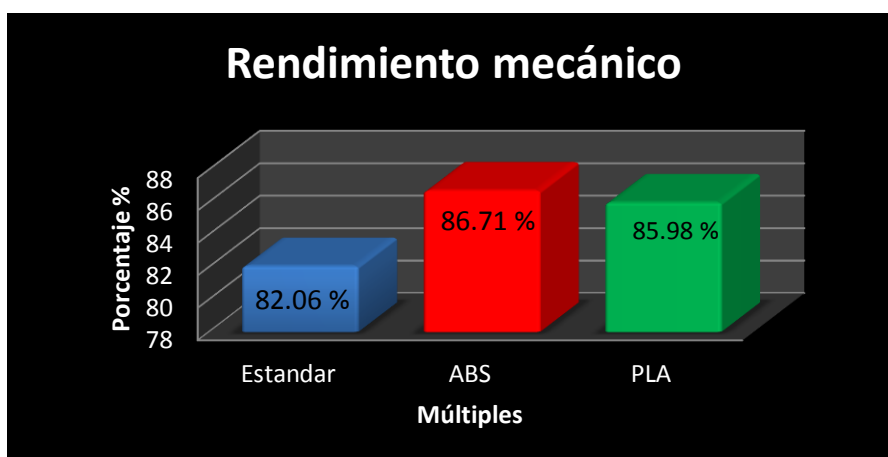


Figura 191 Comparación del rendimiento mecánico

En la figura 197 se exponen los valores del rendimiento indicado para cada uno de los múltiplos, se puede ver un porcentaje menor con el material ABS de 2,32 % por debajo del mejor rendimiento que presentó el colector estándar.

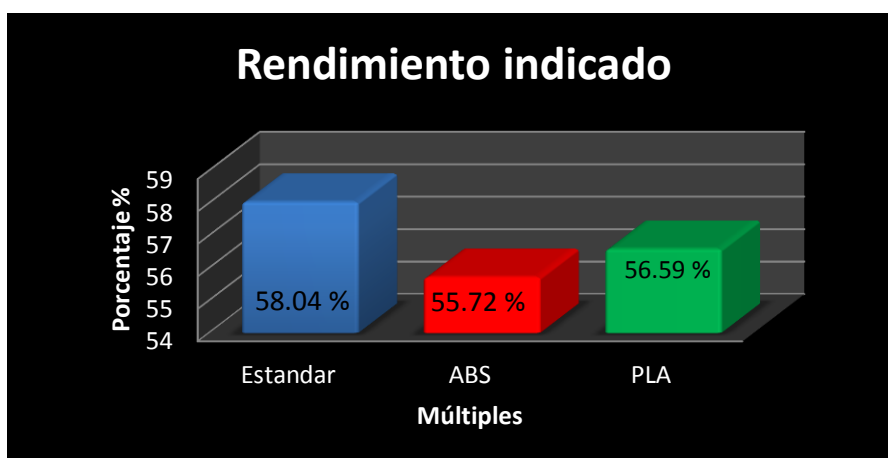


Figura 192. Comparación del rendimiento indicado

4.11.7. Consumo de combustible

Tabla 21.

Consumo de combustible obtenido de los diferentes múltiplos.

Múltiple de admisión	Tiempo de prueba	RPM del motor	Consumo de combustible
Estándar	20,82 seg	5501	3,13 Gal/hr
ABS	25,68 seg	5494	3,26 Gal/hr
PLA	24,92 seg	5501	3,21 Gal/hr

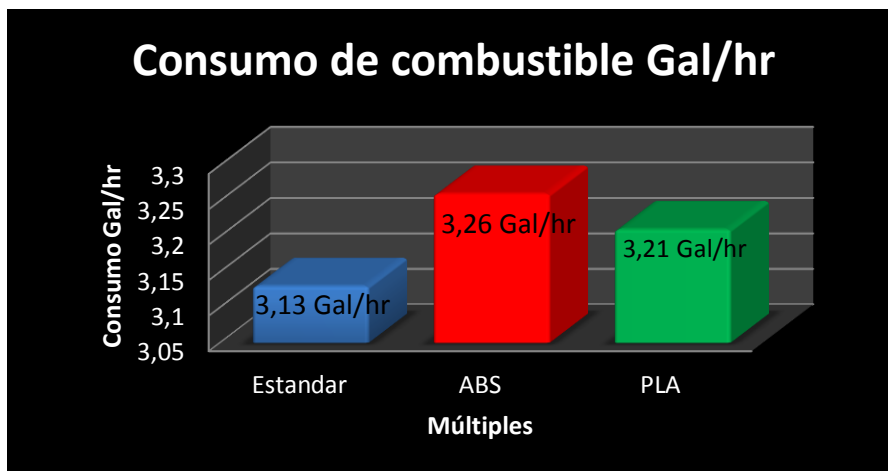


Figura 193. Comparación del consumo de combustible

Como se muestra en la tabla 21 el consumo de combustible, varía en 0,13 Gal/hr para el múltiple de ABS lo que representa un 4,15%, y de 0,08 Gal/hr para el colector de PLA lo que es un 2,55 % en aumento de consumo de combustible cuando el motor llega a su máxima potencia con relación al múltiple estándar.

Al tener un mejor llenado de aire en el motor, la computadora detecta que se tiene una mezcla pobre por lo que envía una mayor cantidad de combustible para tener una mejor mezcla estequiométrica.

4.11.8. Emisiones contaminantes

Las pruebas estáticas para medir las emisiones contaminantes que produce el vehículo con los diferentes múltiplos, muestra las cantidades de: hidrocarburos HC (ppm), monóxido de carbono CO (%), dióxido de carbono CO₂ (%) y oxígeno O₂ (%).

Los valores de las pruebas deben estar por debajo de los permitidos por la norma NTE INEN 2 204:2002 para poder salir a circulación, el informe de resultado dirá si el vehículo está Aprobado o Rechazado.

Año modelo	% CO*		ppm HC*	
	0 - 1 500 **	1 500 - 3 000 **	0 - 1 500 **	1 500 - 3 000 **
2000 y posteriores	1,0	1,0	200	200
1990 a 1999	3,5	4,5	650	750
1989 y anteriores	5,5	6,5	1 000	1 200

* Volumen
**Altitud = metros sobre el nivel del mar (msnm).

Figura 194. Valores máximos permitidos por la norma NTE INEN 2 204:2002.

Fuente: Norma NTE INEN 2 204:2002

Tabla 22.

Emisiones obtenidas de los diferentes múltiplos a ralentí (800 rpm).

Múltiple de admisión	HC (ppm)	CO (%)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)	Resultado de la prueba
Estándar	6,00	0,00	13,43	1,73	Aprobada
ABS	9,00	0,00	13,57	1,68	Aprobada

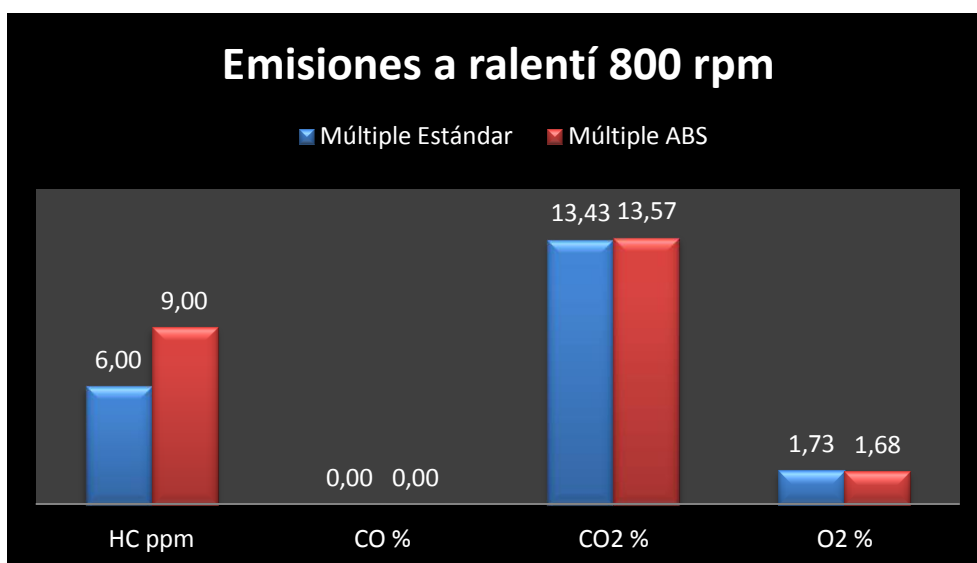


Figura 195. Comparación de las emisiones a ralentí.

Tabla 23.

Emisiones obtenidas de los diferentes múltiplos a aceleración crucero (2000 rpm a 2750 rpm).

Múltiple de admisión	HC (ppm)	CO (%)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)	Resultado de la prueba
Estándar	2,00	0,00	14,22	0,25	Aprobada
ABS	4,00	0,00	14,27	0,27	Aprobada

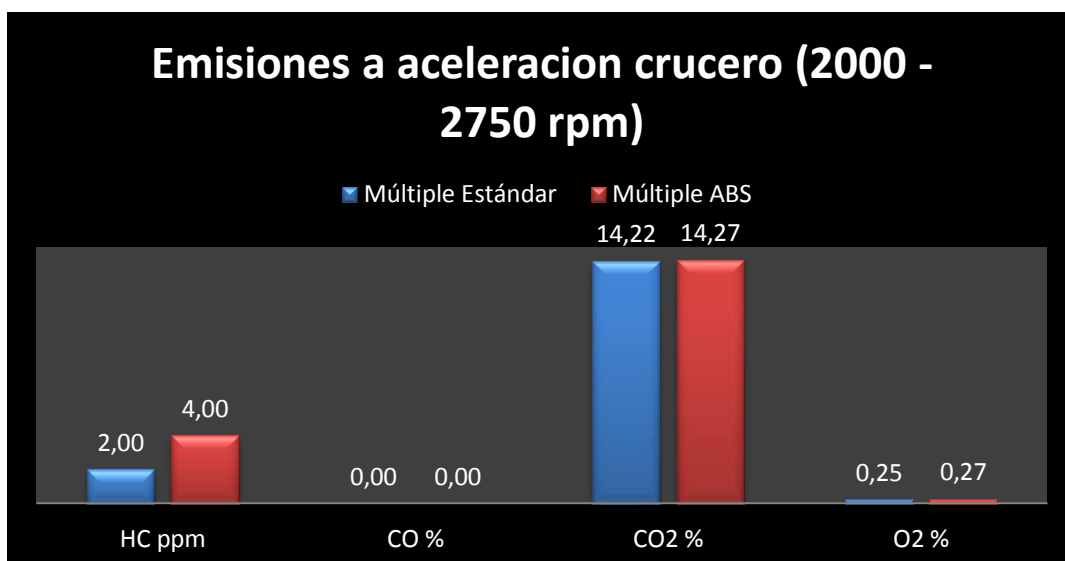


Figura 196. Comparación de las emisiones a aceleración crucero (2000 rpm a 2750 rpm).

Como se puede ver en las tablas 22 y 23, los valores de HC que genera el motor tanto en ralentí como en crucero de los dos múltiples, son menores a los valores máximos permitidos por la norma NTE INEN 2 204:2002.

Se presenta un incremento de hidrocarburos con el múltiple de material ABS en ambos casos de las pruebas, sin embargo aún está por debajo de los 200 ppm permitido.

La medición de CO para los dos múltiples es de 0,00 % y como el analizador de gases no aprecia valores menores a 0,01, no los puede medir.

Las cantidades de CO₂ fluctúan en alrededor de 0,1 % entre los dos múltiples y sus valores están dentro del margen, lo que supone una buena combustión. Se tiene un ligero aumento de CO₂ con el múltiple de ABS.

Los valores de O₂ no varían significativamente entre los diferentes colectores de admisión, teniendo el valor más alto en la prueba de ralentí con el múltiple estándar de 1,73 % y el valor más bajo es con el mismo

múltiple con 0,25 % en la prueba crucero, todos los valores de las mediciones están aceptadas por la norma.

CAPÍTULO V

5. MARCO ADMINISTRATIVO.

5.1. Recursos

Para la puesta en marcha del presente proyecto de investigación es importante hacer un análisis de los medios empleados los cuales son: institucional, humanos, tecnológicos y materiales que deben estar de manera organizada para el cumplimiento del tema.

5.1.1. Recursos institucionales.

En esta sección se detallan los recursos institucionales utilizados durante el desarrollo de la investigación.

Tabla 24.

Recursos institucionales.

Institución:	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga
Dirección:	Ecuador, Cotopaxi-Latacunga Calle Quijano y Ordoñez y Hermanas Páez
Teléfono:	593(3)2810-206 / 2813-130 / 2810-326

5.1.2. Recursos humanos.

Para el cumplimiento de la investigación titulado “ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL MOTOR DAEWOO SOHC DEL VEHÍCULO CHEVROLET AVEO FAMILY 1.5 LT UTILIZANDO MATERIALES TERMOPLÁSTICOS EN EL COLECTOR DE ADMISIÓN”, contribuyeron distintas personas las cuales se presentan a continuación.

Tabla 25.**Recursos humanos.**

Investigadores:	Carlos Fernando Calderón Sánchez Juan Carlos Ortiz Reyes
Tutor:	Ing. Danilo Zambrano
Colaboradores científicos:	Ing. Germán Erazo Ing. Luis Mena Ing. Leonidas Quiroz Ing. Andrés Gordón

5.1.3. Recursos materiales.

Son los insumos físicos que se utilizaron para llevar a cabo toda la investigación y se los detalla a continuación en la tabla 26.

Tabla 26.**Recursos materiales.**

Ord.	Recurso	Cantidad	Unidad
1	Gasolina	10	Galones
2	Mantenimiento vehicular	1	Unidad
3	Colectores de admisión	3	Unidades
4	Equipos de seguridad personal	2	Unidad
5	Hojas	1	Resma
6	CD	2	Unidad
7	Pegas epoxica	9	Unidades
8	Empaques de admisión	4	Unidades
9	Silicón automotriz	1	Unidad
10	Espárragos	12	Unidades
11	Machuelos	2	Unidades

5.1.4. Recursos tecnológicos.

Son los equipos que facilitan el desarrollo del proyecto aminorando el tiempo de realización y mostrando de una mejor manera los resultados obtenidos de las pruebas hechas.

Tabla 27.**Recursos tecnológicos.**

Ord.	Recurso	Cantidad	Unidad
1	Calibración del dinamómetro	1	Unidad
2	Calibración del analizador de gases	1	Unidad
3	Interfaz OBDwiz	1	Unidad
4	Pruebas de torque y potencia	20	Unidades
5	Mediciones de gases	6	Unidades
6	Laptop	100	Horas
7	Cámara digital	15	Horas

5.2. Presupuesto de la investigación.

El dinero para llevar a cabo el proyecto es una parte fundamental, en esto se contempla la adquisición y uso de los recursos materiales, tecnológicos y laboratorios. El costo de cada uno de ellos se detalla en las tablas 28 y 29.

5.2.1. Presupuesto de los recursos materiales.**Tabla 28.****Presupuesto de los recursos materiales.**

Ord.	Recurso	Cant.	Unidad	Costo Unitario	Costo total
1	Gasolina	10	Galones	2,00	20,00
2	Mantenimiento vehicular	1	Unidad	80,00	80,00
3	Colectores de ABS	1	Unidad	150,00	150,00
4	Colectores de PLA	1	Unidad	150,00	150,00
5	Colectores de PET	1	Unidad	150,00	150,00
6	Equipos de seguridad personal	2	Unidad	5,00	10,00
7	Hojas	1	Resma	5,00	5,00
8	CD	2	Unidad	1,00	2,00
9	Pegas epoxica	9	Unidades	6,50	58,50
10	Empaques de admisión	4	Unidades	5,00	20,00
11	Silicón automotriz	1	Unidad	4,50	4,50
12	Espárragos	12	Unidades	0,25	3,00
13	Machuelos	2	Unidades	3,00	6,00
				Total:	659,00

5.2.2. Presupuesto de los recursos materiales.

Tabla 29.

Presupuesto de los recursos materiales.

Ord.	Recurso	Cantidad	Unidad	Costo Unitario	Costo total
1	Calibración del dinamómetro	1	Unidad	300,00	300,00
2	Calibración del analizador de gases	1	Unidad	20,00	20,00
3	Interfaz OBDwiz	1	Unidad	70,00	70,00
4	Pruebas de torque y potencia	20	Unidades	30,00	600,00
5	Mediciones de gases	6	Unidades	2,00	12,00
6	Laptop	100	Horas	0,50	50,00
7	Cámara digital	15	Horas	5,00	75,00
Total:					1127,00

5.2.3. Presupuesto total

Tabla 30.

Presupuesto total del proyecto.

Recursos	Costo total
Recurso material	659,00
Recurso tecnológico	1127,00
Subtotal	1786,00
Gastos extras (2%)	35,72
Total (USD):	1821,72

Analizando las tablas del presupuesto para el desarrollo del proyecto de investigación titulado “ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL MOTOR DAEWOO SOHC DEL VEHÍCULO CHEVROLET AVEO FAMILY 1.5 LT UTILIZANDO MATERIALES TERMOPLÁSTICOS EN EL COLECTOR DE ADMISIÓN”, se concluye que el valor total es de 1821,72 dólares americanos en los cuales se incluye un 2% destinado a gastos imprevistos.

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

Al terminar el presente proyecto de investigación se procederá a exponer las siguientes conclusiones y recomendaciones, con el objetivo de aportar como base científica o fuente de consulta para las diferentes personas interesadas de cualquier tipo de nivel académico.

- Se recolectó la información bibliográfica, manuales y datos técnicos que permitieron un adecuado manejo de los equipos de medición a utilizar.
- Se Modeló el múltiple de admisión, se simuló el comportamiento del flujo de aire, y se realizó un análisis estructural del colector con cada material termoplástico.
- Se Construyó diferentes colectores de admisión, en una impresora 3D de material ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno), PLA (Ácido Poliláctico) y PET (Polietileno Tereftalato) para comprobar los parámetros mecánicos del motor DAEWOO SOHC con respecto al fabricante.
- Se instaló los colectores de admisión en el vehículo Chevrolet Aveo Family 1.5 lt del motor DAEWOO SOHC.
- Se realizó las diferentes pruebas para determinar los parámetros característicos (potencia, torque, consumo de combustible y análisis de gases de escape) del motor DAEWOO SOHC del vehículo Chevrolet Aveo Family 1.5 lt. cuando se utilizó los diferentes tipos de colectores fabricados.
- Se tabuló los datos obtenidos, para generar un registro de las variaciones de los parámetros característicos del motor DAEWOO SOHC.

- Se Comparó los resultados obtenidos durante las pruebas con los parámetros característicos del fabricante.
- Los termoplásticos PLA y PET no resistieron las pruebas en el dinamómetro de rodillos aunque su temperatura de fusión (178 y 244 °C) respectivamente es similar que la del termoplástico ABS (250 °C); lo cual terminaron derritiéndose en el cilindro 2 y 3 tres del motor. En el cilindro 2 y 3 es donde más calor se produce ya que tiene a su lado el cilindro 1 y 4 respectivamente lo cual no permite que se disipe de una manera rápida el calor.
- Al reemplazar el colector de admisión estándar (aluminio), por un termoplástico (ABS), se logró obtener menos rugosidad de 1.5 a 0.067 μm respectivamente, y resistencia a la fricción del flujo de aire.
- La temperatura de funcionamiento del colector de admisión termoplástico ABS es mucho más baja que el colector de aluminio (43 y 68 °C) respectivamente, lo cual es muy oportuno, ya que así el aire que ingresan a los cilindros para la combustión entra más frío, y así se tiene mayor masa de aire en los cilindros.
- La temperatura de fusión del termoplástico ABS es de 250 °C, lo cual evita que el colector de admisión resista la temperatura de funcionamiento del motor que es aproximadamente 95 °C.
- La potencia obtenida por los colectores de admisión ABS, PLA y estándar, fueron 84.1, 83.4 y 79.6 hp respectivamente; en lo cual se puede concluir que si se obtiene una mayor potencia utilizando el colector de admisión ABS, y su diferencia con el estándar es de 4.5 hp. El porcentaje en incremento es de 5.65%.
- En relación al torque con el termoplástico ABS se obtuvo 124.84 Nm, y con el colector estándar se obtuvo 117.58 Nm, lo que indica que el torque también aumento considerablemente, y el vehículo por tal tendrá mejores rendimientos en carretera con pendientes con ángulos muy pronunciados. El porcentaje en incremento es de 6.17%.
- El consumo de combustible aumento al usar el colector de admisión ABS debido al aumento de aire en los cilindros y los tiempos en que

se realizó las pruebas; el aumento no es muy exaltado ya que el colector estándar obtuvo 3.13 Gal/hr y el colector ABS obtuvo 3.26 Gal/hr.

- Al igual que el consumo de combustible, las emisiones de gases aumentaron para el termoplástico ABS; pero aun así cumple la norma INEN 2204 (CO, HC, O₂, CO₂) para los vehículos automotores. Los valores varían por centésimas en los diferentes gases medidos lo cual se refleja en el análisis de resultado de emisiones de gases. Los porcentajes en que aumentaron son: CO₂=0.1%, HC=(de 2 a 4 ppm), O₂=(2.8%).

6.2. Recomendaciones

- Realizar pruebas dinámicas con el termoplástico ABS de torque, potencia, consumo de combustible, eligiendo una ruta en donde el vehículo se encuentre sometido a diferentes condiciones ambientales, de carga y conducción, con el equipo apropiado para este tipo de prueba.
- Se recomienda realizar una investigación con el termoplástico PLA, combinándolo con diferentes materiales para aumentar así su resistencia a la temperatura, ya que el termoplástico PLA también al pulirlo posee una superficie lisa en sus conductos.
- El termoplástico PET no se recomienda para aplicaciones automotrices ya que tiene una muy poca resistencia a la fractura y a la temperatura.
- El porcentaje de impresión en 3d es muy importante, ya que mientras más porcentaje de impresión, se obtienen capas de material más unidas y así el prototipo será más resistente y por sus conductos no se escapara el fluido en este caso el aire. Se recomienda un porcentaje de impresión de 80%.
- Calcular el torque correcto para cada uno de los diferentes materiales termoplásticos, ya que todos no tienen la misma resistencia a la

fractura.

- Los materiales termoplásticos son hidrofílicos, lo cual significa que reaccionan con el agua, por lo tanto; no se recomienda usarlos para admisión con tomas de agua unidas. Usar únicamente los termoplásticos para admisión el cual su fluido es el aire.
- Para realizar cualquier prueba, tener en cuenta los métodos de seguridad industrial para así no se tenga ningún inconveniente físico.
- Inspeccionar que todas las maquinas utilizadas en las pruebas descritas estén en perfectas condiciones de funcionamiento, para así poder obtener resultados precisos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Accudyno. (8 de Enero de 2017). *Accudyno*. Recuperado el 29 de Enero de 2017, de Accudyno PRO: <http://www.accudyno.com/accudyno-pro/>
- Askeland D., P. P. (2011). *Ciencia e ingeniería de los materiales*. Boston, Massachusetts, Estados Unidos: Cengage learning.
- Automotriz, A. e. (19 de Abril de 2012). *AutolandMéxico*. Recuperado el 01 de Febrero de 2017, de OBDLink SX: <https://autolandmexico.wordpress.com/>
- Banrepcultural. (2012). *Banrepcultural*. Recuperado el 5 de febrero de 2017, de: <http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/ciencias/sena/mecanica/gas-preconversion-vehiculos/gaspre12.htm>
- Benítez, A., & Velástegui, S. (2015). *Análisis de los parámetros característicos de un motor de combustión interna con inyección directa de hidrógeno*. S.L.
- Benson, R. (1982). *The thermodynamics and gas dynamics of internal-combustion engines*. S.L.: Clarendon Press.
- Bosch. (2003). *Técnicas de gases de escape para motores de gasolina*. S.L.
- Bosch, R. (1996). *Manual de la Técnica Del Automóvil*. Barcelona, España: Reverté.
- Bosch, R. (2000). *Sistemas de Encendido*. Barcelona, España: Reverté.
- Bosch, R. (2002). *Los sensores en el automóvil*. Barcelona, España: Reverté.
- Bosch, R. (2005). *Manual de la técnica del automóvil* (Cuarta ed.), Alemania: Bauer & Partner.
- Burgess, E., & Obert. (1999). *Internal Combustion Engines*. S.L.: Scranton.
- Carlos A. Guerrero, V. A. (2002). *Algunas Aplicaciones de los Plásticos en las Industrias del Empaque y Automotriz*. S.L.
- Castro. (17 de Febrero de 2015). *dima3d*. Recuperado el 28 de Noviembre de 2016, de dima3d: <http://www.dima3d.com/pla-material-interes-y-consejos-de-impresion-3/>

- Castro Llontop, F. E. (2013). *Avances Tecnológicos en Materiales en la Industria Automotriz*. S.L.
- Castro, M. (1989). *El motor de gasolina*. Barcelona, España: Ceac.
- Ceac, E. (2004). *Manual CEAC del automóvil*. Barcelona, España: Grupo Planeta.
- Chevrolet. (2017). *Chevrolet*. Recuperado el 5 de Febrero de 2017, de Chevrolet, Aveo Family:
<http://www.chevrolet.com.ec/aveo-family-auto-economico/especificaciones.html>
- Crouse, H. (1993). *Mecánica del Automóvil* (Tercera ed.). Barcelona, España: Boixar.
- Depcik, C., & Assanis, D. N. (2002). *A Universal Heat Transfer Correlation for Intake and Exhaust Flows in an Spark-Ignition Internal Combustion Engine*. S.L.: SAE Technical Paper 2002-01-0372.
- Díaz, M. J., & Sopa, L. G. (2013). *Reprogramación electrónica del vehículo Corsa Evolution 1.4, para elevar los parámetros característicos del motor de combustión interna*.
- Diel Electronica. (2015). *Electronicadiel*. Recuperado el 5 de Diciembre de 2016, de <http://electronicadiel.com/index.php/producto/variadores-de-avance>
- Ditron. (2014). *Ditron*. Recuperado el 4 de Diciembre de 2016, de <http://www.ditron.com.ar/productos/variadores.htm>
- Elgegren M, G. J. (08 de 05 de 2012). Reciclaje químico de desechos plásticos. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 4.
- Garibaldi, A. (2011). *Las curvas de par y potencia*. Recuperado el 5 de Diciembre de 2016, de Auto Tecnica:
http://www.autotecnicatv.com.ar/autotecnica/index.php?kk_seccion=notas_tecnicas&id=9
- Gerschler, H., Bohner, M., & Zwickel, H. (2001). *Tecnología del automovil tomo 2*. S.L.: Reverté. S. A.
- González, D. (2011). *Motores*. Madrid, España: Parafino.
- González, D. (2011). *Motóres CFGM*. Madrid, España: Parafino.

- González, D. (2015). *Mantenimiento de motores térmicos de dos y cuatro tiempos*. Madrid, España: Copyright.
- González, D. (2015). *Motores térmicos y sus sistemas auxiliares*. Madrid, España: Copyright.
- Heywood, J. (1998). *Internal combustion engine fundamentals*. Nueva York, Estados Unidos: McGraw-Hill.
- Hoechst. (1997). *Enciclopedia del plástico*. México, D.F.: Impi.
- Ilba, C., Jhon, A., & Carlos, S. (2008). *Flujo comprensible en múltiples de motores*. Antioquia, Colombia: Universidad de Antioquia.
- Imprimiren3d. (05 de Febrero de 2014). Recuperado el 8 de Diciembre de 2016, de <http://www.imprimiren3d.com.mx/>
- Incropera, F. P., & De Witt, D. (1996). *Fundamentals of heat and mass transfer*. Nueva York: John Wiley & Sons .
- Jaramillo, H. (1996). Procesos reales en los motores de combustión interna (M.C.I). *El Hombre y la Máquina*, 30-45.
- Jones, J. (1997). *Termodinámica*. México, D.F.: Prentice-Hall.
- Jóval, M. (1982). *Motores de automóvil*. Moscou: MIR.
- Kindler, H. (1986). *Matemática aplicada para la técnica del automóvil*. Barcelona, España: Reverté.
- Kurt, C., & Rolle. (2006). *Termodinámica*. México D.F.: Pearson Educación.
- Mariano. (30 de Mayo de 2011). *Tecnología de los Plásticos*. Recuperado el 13 de Enero de 2017, de PET: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/05/pet.html>
- Martinez, J. (2011). *Idae*. Recuperado el 5 de Diciembre de 2016, de http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10320_Conduccion_eficiente_veh_industriales_A2011_A_982a7098.pdf.
- Martínez, J. (14 de Septiembre de 2016). *CAD2X3*. Recuperado el 21 de Enero de 2017, de Qué es y Cómo Hacer una Malla en AutoCAD: <https://cad2x3.com/2016/09/14/que-es-y-como-hacer-una-malla-en-autocad/>

- Medina, V. (24 de Mayo de 2007). *Ácido poliláctico*. Recuperado el 12 de Diciembre de 2016, de Ácido poliláctico: <http://www.eis.uva.es/~biopolimeros/alberto/index.htm>
- Mena, L. (2011). *Compilador de ejercicios de motores de combustión interna Diesel-Gasolina*. Quito, Ecuador: Nueva Aurora.
- Micheli, J. (1994). *Nueva manufactura, globalización y producción de automóviles en México*. México, D.F.: Unam.
- Montes, M., Muñoz, M., & Rovira, A. (2014). *Ingeniería térmica*. Madrid, España: UNED.
- Motorroll, A. (18 de 07 de 2015). *Motorroll*. Recuperado el 25 de Enero de 2017, de Motorroll: <http://www.motorroll.com/>
- Nissan. (2004). *Service and Rapair Manual*. Japon.
- Nuñez, G. P. (1997). *Tendencias actuales de los plásticos en la industria*. Ciudad de La Habana. Cuba.: Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría".
- Obert, E. (1996). *Motores de Combustión interna*. México D.F.: CECSA.
- Olivera, M. A. (2008). *Universidad nacional autónoma de méxico*. Obtenido de Diseño de un Dinamómetro de Chasis Para Vehículos de hasta 3500 kg de Peso Bruto Vehicular.: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/1784/1/Tesis.pdf>
- Oropeza, G. (31 de Abril de 2008). *congreso.pucp.edu.pe*. Obtenido de Caracterización de masas inerciales en un dinamómetro de chasis: <http://congreso.pucp.edu.pe/cibim8/pdf/31/31-04.pdf>
- Ortmann, R., & otros. (2003). *Técnica de gases de escape para motores de gasolina* (Segunda ed.). Postfach: Robert Bosch GmbH.
- Peñafiel, D., & Zavala, C. (2017). *Influencia en la potencia del motor 1.8 l Chevrolet OPTRA mediante la reingeniería del múltiple de admisión*. Latacunga, Ecuador.
- Pérez, M. Á. (2011). *Sistemas auxiliares del motor*. Madrid, España: Parafino.

- Pesis, H. (2015). *Motos: motores de 2 y 4 tiempos*. Buenos Aires, Argentina: Fox Andina.
- PET. (30 de Mayo de 2011). *Fabricación de Piezas Automotrices con el Mejor Termoplástico*. Recuperado el 09 de Enero de 2017, de Tecnología de los Plásticos: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/05/pet.html>
- PLA. (12 de Marzo de 2015). *HXX*. Recuperado el 22 de Diciembre de 2016, de Materiales de impresión 3D: PLA (ácido poliláctico): <http://hxx.es/2015/03/12/materiales-de-impresion-3d-i-pla-acido-polilactico/>
- Porras, J. L. (2003). *Ciclo real del motor de combustión interna*. S.L. Castilla-La Mancha.
- Quiminet. (14 de Mayo de 2010). *QuimiNet.com*. Recuperado el 05 de Enero de 2017, de Usos y aplicaciones del Polietileno Tereftalato (PET): <https://www.quiminet.com/articulos/usos-y-aplicaciones-del-polietileno-tereftalato-pet-42703.htm>
- Rodríguez, H. (30 de Mayo de 2016). *Ingemecánica*. Recuperado el 22 de Noviembre de 2016, de <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn63.html>
- Rolle, K. C. (2006). *Termodinámica* (Sexta ed.). Platteville, EEUU: Pearson.
- Rovira, M. (2015). *Motores de Combustión Interna*. Madrid, España.
- Ruiz, R. (2007). *El método científico y sus etapas*. México, D.F.: Grijalbo.
- Saenz. (7 de Enero de 2016). *Saenz*. Obtenido de Dinamómetros de rodillos banco de prueba sobre el chasis: <http://www.saenzdynos.com.ar/bco-rodillos-freno-hid.php?lang=es&division=diesel>
- Sánchez, M. (2012). *Mantenimiento de motores térmicos de dos y cuatro tiempos*. Málaga, España: Innova.
- Sanmetal, s. (2010). *Sanmetal, s.a.* Recuperado el 17 de Enero de 2017, de Termoplásticos: <http://www.sanmetal.es/productos/termoplasticos/arnite-pet/10>
- Sanz, S. (2011). *Motores*. Madrid: Editex.
- Schwoch, W. (1982). *Manual práctico del automóvil*. México, D.F.: Reverté.

- Shames, I. H. (1995). *Mecánica de fluidos*. Nueva York, Estados Unidos: McGraw-Hill.
- Sung, N. W., Choi, J. S., & Jeong, Y. (1995). *A study on the flow in the engine intake system*. S.L.: SAE Technical Paper 952067.
- Termoplástico. (08 de Febrero de 2014). *imprimiren3d*. Recuperado el 20 de Diciembre de 2016, de imprimiren3d: <http://www.imprimiren3d.com.mx/materiales-3d/termoplastico-pla/>
- Terms, D. a. (06 de Agosto de 2016). *MakeItFrom*. Recuperado el 16 de Diciembre de 2016, de MakeItFrom: <http://www.makeitfrom.com/material-properties/Polylactic-Acid-PLA-Polylactide/>
- Terry. (2000). *Industria del plástico*. Madrid, España: Paraninfo.
- Touzet, H. (27 de Julio de 2012). *La Industria Automotriz busca Materiales Ligeros de alto Rendimiento*. Recuperado el 11 de Octubre de 2016, de <http://plaen.blogspot.com/2012/08/la-industria-automotriz-busca.html>
- Vaca M. (2015). *Construcción de una impresora 3D para la elaboración de objetos plásticos utilizando el método de modelado por deposición fundida (MDF)*. Riobamba, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Velástegui, S., & Jesús, C. (2015). *Análisis de los parámetros característicos de un motor de combustión interna con inyección directa de hidrógeno*. S.L.
- Winterbone, D. E., & Pearson, R. J. (2000). *Theory of engine manifold design*. S.L.
- Wittel, H., Muhs, D., Jannasch, D., & Vosseik, J. (2014). *Roloff / matek elementos de la máquina*. Alemania, Alemania.

ANEXOS



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por lo señores:

CARLOS FERNANDO CALDERÓN SÁNCHEZ
JUAN CARLOS ORTIZ REYES

En la ciudad de Latacunga, a los: **10 días del mes de agosto del 2017.**

Ing. Danilo Zambrano

DIRECTOR DEL PROYECTO

Aprobado por:

Ing. Danilo Zambrano

DIRECTOR DE CARRERA

Dr. Freddy Jaramillo Checa

SECRETARIO ACADÉMICO