UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRÍZ

"DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL COLECTOR DE ADMISIÓN PARA EL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA YAMAHA FZR 600 CC PARA LA COMPETENCIA FORMULA SAE".

TESIS DE GRADO PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO AUTOMOTRÍZ

AUTORES:

DIEGO VINICIO DIAZ SINCHE
JOSE IGNACIO HURTADO MATUTE
PAÚL ANDRÉS MOLINA CAMPOVERDE
JOE FERNANDO VALAREZO ORDONEZ

DIRECTOR:

ING. NÉSTOR RIVERA CAMPOVERDE

CUENCA, ENERO 2014

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Diego Vinicio Díaz Sinche, José Ignacio Hurtado Matute, Paúl Andrés Molina Campoverde, Joe Fernando Valarezo Ordóñez, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Universidad Politécnica Salesiana, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Diego Vinicio Díaz Sinche

Paúl Andrés Molina Campoverde

José Ignacio Hurtado Matute

Joe Fernando Valarezo Ordóñez

CERTIFICACIÓN

Que el siguiente trabajo de tesis: "Diseño, construcción e implementación del colector de admisión para el motor de combustión interna Yamaha FZR 600 cc para la competencia formula SAE", para la carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Cuenca, realizado por los estudiantes Diego Vinicio Díaz Sinche, José Ignacio Hurtado Matute, Paúl Andrés Molina Campoverde, Joe Fernando Valarezo Ordóñez, fue dirigido por mi persona.

Cuenca, 25 de enero del 2014

Agradezco a Dios, a mi familia por brindarme el apoyo, el tiempo, la dedicación y la confianza durante la etapa de mi vida.

A mis amigos de tesis por compartir los conocimientos, experiencias adquiridas y opiniones durante el desarrollo da la misma.

A mi director de tesis por compartir el conocimiento adquirido y a su voluntad por guiarnos en el desarrollo de la tesis.

Diego Vinicio Díaz Sinche.

A mi familia por el apoyo, el cariño y la confianza que han puesto en mí.

A mis amigos Diego, Joe y Paúl juntos desarrollamos el proyecto donde tuvimos decepciones y triunfos pero siempre recibí un apoyo incondicional de su parte.

Gracias Ing. Néstor Rivera por su apoyo desinteresado y conocimientos compartidos.

José Ignacio Hurtado M.

٧

Agradezco a mis padres por el apoyo incondicional recibido durante toda mi vida y a nuestro director de tesis por el apoyo recibido durante el desarrollo del mismo.

Paul Molina Campoverde.

VI

A Dios; al apoyo incondicional, consejos, y ánimos de mi familia.

A mis amigos Diego, José y Paúl por los análisis y discusiones siempre constructivas.

Al Ing. Néstor Rivera, por su generosa transmisión de conocimientos, fundamentales para la realización de la tesis.

Joe Fernando Valarezo Ordóñez.

A mi padre Fabián y a mi madre Esperanza por el cariño y el apoyo que me han brindado en el periodo de mi vida.

A mis hermanos Andrea y
Darío por estar a mi lado en
cada etapa de mi vida y
dedicarme su tiempo.

A mi sobrino Mateo por ser el ser que levanta mis ánimos y por ser la razón de mi superación.

Diego Vinicio Díaz Sinche.

A mi padre Bolívar y a mi mamá Janeth por el sacrificio que realizan por la familia; y por el cariño que han tenido en nuestra formación.

A mi hermano Martin, a mis hermanas Johana y Jesenia son parte fundamental en mi vida.

A mi novia Cristina por su apoyo y comprensión que me brinda día a día.

José Ignacio Hurtado M

A mis padres, por haber estado a mi lado en todos los momentos buenos y malos de mi vida, los cuales me han enseñado a valorar las cosas realmente importantes de la vida y han estado siempre ahí cuando los he necesitado, durante este largo recorrido académico y vivencial.

A mis hermanos que han sido siempre un impulso e inspiración para alcanzar mis metas y propósitos

Paul Molina Campoverde.

Dedicatoria

A mis padres y hermanos que han confiado en mí plenamente, con mucho amor y cariño les dedico todo mi esfuerzo y trabajo puesto para la realización de esta.

Joe Fernando Valarezo Ordóñez

ALIMENT	O I. FUNDAMENTO TEÓRICO DE LOS SISTEMAS DE CACIÓN Y LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS ACORDE AL	
	ENTO DE LA COMPETENCIA SAE.	
	ducción	
	Competencia Formula SAE	
	listoria	
	amento de la Formula SAE 2014	
1.2.1 Rec	querimientos técnicos generales (Parte T)	3
1.2.1.1	Requerimientos del vehículo y restricciones (Artículo 1)	3
1.2.1.2	Sistema de frenos (Artículo 7)	3
1.2.1.3	Tren de potencia (Artículo 8)	4
1.2.1.4	Sujetadores (Artículo 11)	5
1.2.1.5	Transpondedor (Artículo 12)	6
1.2.2 V	ehículos con motores de combustión interna (Parte IC)	7
1.2.2.1	Motores de combustión interna (Artículo1)	7
1.2.2.2	Combustible y sistema de combustible (Artículo 2)	12
1.2.2.3	Sistema eléctrico y sistema de parada (Artículo 4)	16
1.2.3 R	EGULACIONES DE LOS EVENTOS DINÁMICOS (PARTE D)	19
1.2.3.1	Resistencia y eficiencia (Artículo 8)	19
1.3 Sis	stema de Alimentación de Combustible	22
1.3.1	Sistema de alimentación en vehículos de competencia	23
1.3.2	Principales partes del sistema de alimentación	24
1.3.2.1	Bombas de combustible	24
1.3.3.2	Tanque de combustible	25
1.3.2.2	Filtro de combustible	27
1.3.2.3	Regulador de presión	27
1.3.2.4		
1.3.3	Restricción de aire en vehículos de competencia	
	Pastricciones en Pacina Series	30

	1.3.3.2	Restricciones en Rallyes	30
	1.3.3.3	Restricciones en NASCAR	31
	1.3.3.4	Restricciones en Formula SAE	31
	1.3.4	Tipos de motores empleados en la competencia Formula SAE	31
	1.3.4.1	Motores tetracilíndricos	32
	1.3.4.2	Motores bicilíndrico	34
	1.3.4.3	Motores monocilíndricos	36
1.	4 Ele	cción del motor:	37
	1.4.1	Características Técnicas del Motor Yamaha FZR 600	37
1.	.5 Estudi	io del sistema de reprogramación y control de parámetros de motor	38
	1.5.1 Pr	incipio de trabajo del sistema de reprogramación	38
	1.5.2 El	ección del sistema reprogramable	39
	1.5.2.1 I	Fiabilidad	40
	1.5.2.3 I	Facilidad de programación	40
	1.5.3.1	Características generales	41
	1.5.3.3	Características:	43
CA:	PÍTULO	II. DISEÑO, CONTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL	
		R DE ADMISIÓN, ACORDE AL REGLAMAETO DE LA	
		NCIA.	
2.		conocimiento de la necesidad	
2.		inición del problema	
2.	3 Sín	tesis	46
		roducción	
	2.3.2 Ac	lquisición de datos	47
	2.3.2.1	Curvas Características del Sensor MAP	50
	2.3.2.2	Mediciones Obtenidas	50
	2.3.3 M	odelado	53
	2.3.3.1 I	Desarrollo del Modelado	53
	2.3.3.2 I	Ecuaciones Fundamentales para modelado en sistemas neumáticos	54
	2.3.3.3	Obtención de coeficientes	57
	2.3.3.4	Calculo de la resistencia neumática provocada por la restricción	57

2.3.3.4.1	1 Obtención de la Resistencia Neumática 1	58
2.3.3.4.2	2 Obtención de la Resistencia Neumática 2	60
2.3.3.5	Calculo de la capacitancia 1 (C ₁)	61
2.3.4	Comportamiento del sistema modelado	63
2.3.5 Cá	álculo de la longitud de la trompeta	69
2.3.4 Si	mulación	71
2.3.4.1	Гіро de simulación	71
2.3.4.2	Software	71
2.3.4.3]	Parámetros a emplear como entrada de datos en la simulación CF	X71
2.3.4.3.	1 Configuraciones Básicas Análisis Estático	71
2.3.4.3.2	2 Configuraciones Básicas Análisis Transitorio	78
2.3.4.4	Análisis CFX	83
2.3.4.4.1	1 Desarrollo de Modelos de Colectores de Admisión	83
2.3.4.5	Evaluación del diseño	83
2.3.4.6	Análisis de Resultados	93
2.3.4.4	Análisis Estructural	95
2.4 Selecc	ión del material	99
2.4.1 Ti	pos de materiales comúnmente usados para fabricar colectores de 99	e admisión
2.4.1.1	Materiales naturales	99
2.4.1.2	Materiales sintéticos	101
2.4.1.3	Material compuesto	104
2.4.2 Ca	aracterísticas importantes de los materiales	105
2.4.2.1	Peso	105
2.4.2.2	Resistencia a la oxidación y corrosión	106
2.4.2.3	Resistencia mecánica	107
2.4.2.4	Maleabilidad	107
2.4.2.5	Costo	108
2.4.2.6	Rugosidad	108
2.4.3 Ta	ıbla de priorización	109

2	2.5 Fibra	de Vidrio	110
	2.5.1 Pr	oceso de Fabricación	110
	2.5.1.1	Estirado	111
	2.5.1.2	Ensimaje	111
	2.5.2	Propiedades	112
	2.5.3 Rt	ugosidad	113
	2.5.3.1	Parámetros	113
	2.5.3.2	Ensayo de Rugosidad	114
	2.5.3.4	Resultados	117
2	2.6 Proces	so de fabricación del colector de admisión	117
	2.6.1 Pr	reparación de la espuma de poliuretano	117
	2.6.2 M	anejo de la fibra de vidrio	120
	2.6.2.1	Procedimiento	121
	2.6.2.2	Desmoldeo	122
	2.6.2.3	Unión de piezas del colector	122
	2.6.2.4	Acabado final	123
		O III. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE	
		ACIÓN Y SISTEMA DE CONTROL ELÉCTRICO, CONFORMI MATIVAS DEL REGLAMENTO	
		STEMA DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE	
•	3.1.1	Sistema original de la motocicleta	
	3.1.2	Requerimientos de la competencia	
	3.1.2.1	Riel de combustible	
	3.1.2.1	Regulador de presión de combustible	
	3.1.2.3	Bomba de combustible	
	3.1.2.3	Filtro de combustible	
	3.1.2.4	Acoples de combustible	
		•	
	3.1.2.6	Inyectores de combustible	
	3.1.2.7	Mangueras de combustible	
	3.1.2.8	Diseño del tanque de combustible	
	3.1.2.9	Construcción del tanque de combustible	131

3.1.2.1	0 Instalación de los acoples a las mangueras	132
3.1.2.1	1 Adaptación del sistema de alimentación	133
3.2 D	iseño del sistema eléctrico	133
3.2.1	Componentes eléctricos	134
3.2.1.1	Interruptor maestro primario	134
3.2.1.2	Interruptor maestro secundario:	136
3.2.1.3	Batería	136
3.2.1.4	Interruptor de ignición y arranque	137
3.2.1.5	Motor de arranque	138
3.2.1.6	Alternador	138
3.2.2 I	Esquema eléctrico del sistema de parada	139
3.2.3 I	nstalación eléctrica	139
3.3 Ir	nplementación del sistema electrónico de control del motor	142
3.3.1	Computadora reprogramable	142
3.3.2	Sensor TPS	142
3.3.3	Sensor MAP	143
3.3.3.1	Curva característica	144
3.3.4	Sensor ECT	144
3.3.4.1	Curva característica	144
3.3.5	Sensor IAT	145
3.3.5.1	Curva característica	145
3.3.6	Sensor de oxígeno de banda ancha	145
3.3.6.1	Curva característica	146
3.3.6.2	Instalación del sensor de oxígeno	146
3.3.6.3	Calibración del sensor	147
3.3.7	Sensor CMP y CKP efecto HALL	147
3.3.7.1	Calibración	149
	O IV. AJUSTE DE PARÁMETROS DE REPOTENCIACIÓN,	
	A LA COMPETENCIA SAE	
	ma de Repotenciación	
4.1.1 \$	Software Haltech Sport 1000	151

	4.1.2 Ajuste de Parámetros de Repotenciación	.152
	4.1.2.1 Básico	.152
	4.1.2.1.1 Principal	.152
	4.1.2.1.2 Sincronización	.153
	4.1.2.1.3 Inyección	.154
	4.1.2.1.4 Avance	.154
	4.1.2.2 Calibración del tiempo de encendido	.155
	4.1.2.3 Configuraciones Avanzadas	.156
	4.1.2.3.1 Limitador RPM	.156
	4.1.2.3.2 Mejora. Aceleración Transitoria	.157
	4.1.3 Programación de la Inyección	.158
	4.1.3.1 Mapa Base	.158
	4.1.3.2 Mapa Objetivo de la mezcla	.159
	4.1.3.3 Mapa de enriquecimiento Post Arranque	.160
	4.1.3.4 Mapa de corrección por temperatura de aire	.160
	4.1.3.5 Mapa de corrección por temperatura del refrigerante	.161
	4.1.3.6 Mapa de corrección de inyección por presión barométrica	.161
	4.1.3.7 Mapa de inyección inicial	.162
	4.1.4 Programación del avance	.162
	4.1.4.1 Mapa Base	.162
	4.1.4.2 Mapa de avance en arranque	.163
4	1.2 SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS	163
	4.2.1 Haltech IQ3 Dash	.163
	4.2.1.1 Características	.164
	4.2.1.2 Conexión del Dash y la interface	.165
	4.2.1.3 Programación del Dash IQ3 usando el software Datalink	.166
	4.2.1.3.1 Páginas de visualización	.166
	4.2.1.3.2 Luces de advertencia	.168
	4.2.1.3.3 Luces de cambio	.169
	4.2.1.3.4 Cálculo de Marcha	170

CAPÍTULO	O V. ANÁLISIS DE RESULTADOS, CONFORME AL	
REGLAMI	ENTO SAE	172
5.1 RENI	DIMIENTO DEL MOTOR	172
5.1.1	Potencia original de la motocicleta	172
5.1.2	Requerimientos de la competencia	173
5.1.2.1	Eventos dentro de la competencia	173
5.1.2.1.	1 Aceleración (Artículo 5)	173
5.1.2.1.	2 Skid – pad (Artículo 6)	174
5.2 Pr	uebas de eficicencia del consumo de combustible	176
CONCLUS	IONES:	181
RECOME	NDACIONES:	184
BIBLIOGE	RAFÍA:	185

INDICE DE GRAFICOS

CAPITULO I

Figura 1.1 Vehículo Formula SAE 1981 Stevens Institute of New Jersey	2
Figura 1.2 Vehículo Formula SAE	2
Figura 1.3 Interruptor de Freno de Sobre-recorrido	4
Figura 1.4 Transpondedor	6
Figura 1.5 Limitaciones del Sistema de Admisión de Aire	8
Figura 1.6 Especificaciones de la boca de llenado en el tanque de combustible	15
Figura 1.7 Interruptor Primario	17
Figura 1.8 Interruptor en la cabina del piloto	18
Figura 1.9 Esquema del circuito de alimentación de combustible por carburador	22
Figura 1.10 Esquema del circuito de alimentación de combustible electrónico	23
Figura 1.11 Sistema de alimentación de vehículo de rally	23
Figura 1.12 Sistema de alimentación de vehículo de rally	24
Figura 1.13 Sistema de alimentación para motos Harley	24
Figura 1.14 Bomba de alto caudal	24
Figura 1.15 Tanques de combustible de alto nivel de seguridad	26
Figura 1.16 Espuma de seguridad "foambaffling"	26
Figura 1.17 Filtro de combustible normal y de competición	27
Figura 1.18 Regulador de combustible convencional y de competencia	27
Figura 1.19 Inyector convencional y de alto caudal	28
Figura 1.20 Representación de una placa de restricción NASCAR	29
Figura 1.21 Accidente automovilístico	29
Figura 1.22 Monoplaza Fsae con motor Honda CBR de 4 cilindros	32
Figura 1.23 Yamaha YZF-R6 2004 junto a su motor	33
Figura 1.24 Swansea University, motor Yamaha Genesis de 2 cilindros	34
Figura 1.25 Equipo Modena, motor Husqvarna monocilíndrico	36
Figura 1.26 Características Técnicas del Motor Yamaha FZR 600	38
Figura 1. 27 Características Técnicas del Motor Yamaha FZR 600	38
Figura 1.28 Tabla de programación	39
Figura 1.29 ECU HaltechPlatinium Sport 1000	
Figura 1.30 Software Haltech ECU Manager	
Figura 1.31 Pantalla de visualización digital Haltech IQ3	
Figura 1.32Descripción-pantalla de visualización digital Haltech IQ3	
Figura 1.33 Descripción-pantalla de visualización digital Haltech IQ3	
Figura 1.34 Medidas externas-pantalla de visualización digital Haltech IO3	44

CAPITULO II

Figura 2.1 Velocidad de entrada de aire hacia el motor	47
Figura 2.2 Flujo másico – Presión (Kg/s/ KPa)	48
Figura 2.3 Presión en el interior del cilindro	49
Figura 2.4 Tarjeta de adquisición de Datos Arduino	49
Figura 2.5 Ubicación del Sensor MAP para captar el vacío de la cámara de combu	ıstión
	50
Figura 2.6 Curva Característica del Sensor MAP	50
Figura 2.7 Presión en el Interior del Cilindro (KPa-tiempo)	51
Figura 2.8 Presión en la Capacitancia del Carburador (KPa-tiempo)	51
Figura 2.9 Presión en el Interior del Cilindro (KPa-tiempo)	52
Figura 2.10 Presión en el interior y exterior del cilindro del motor a diferentes	
regímenes del motor	52
Figura 2.11 Diferencia de presión en el interior y exterior del motor a diferentes	
regímenes de funcionamiento	53
Figura 2.12 Diagrama esquemático del Sistema.	54
Figura 2.13 Curva de diferencia de presión, contra la razón de flujo de masa	57
Figura 2.14 Resistencia Neumática.	58
Figura 2.15 Presión en función de RPM	58
Figura 2.16 Flujo másico – RPM	58
Figura 2.17 Presión - Flujo másico	59
Figura 2.18 Mapa Tridimensional (Presión -Flujo másico – RPM)	59
Figura 2.19 Resistencia Neumática en función de RPM	60
Figura 2.20 Resistencia Neumática 2 en función de RPM	60
Figura 2.21 Mapa Tridimensional (Presión -Flujo másico – RPM)	61
Figura 2. 22 Diagrama de bloques en Simulink	64
Figura 2.23 Respuesta a un impulso de -60 KPa	65
Figura 2.24 Respuesta a diferentes capacitancias	65
Figura 2. 25 Respuesta una capacitancia alta	66
Figura 2. 26 Respuesta a respuesta medianamente alta	66
Figura 2. 27 Respuesta en el cilindro con capacitancia moderada	
Figura 2. 28 Respuesta con la mejor capacitancia	67
Figura 2. 29 Masa de aire vs rpm vs diferencia de presión	
Figura 2. 30 Masa de aire vs rpm vs diferencia de presión	68
Figura 2. 1 Angulo de apertura y cierre de las válvulas	69
Figura 2.31 Distribución del porcentaje de enmallado	
Figura 2.32 Dominio Predeterminado – Configuraciones básicas	72
Figura 2.33 Dominio Predeterminado – Modelos de Fluidos	
Figura 2.34 Dominio Predeterminado – Inicio	
Figura 2.35 Colector de Admisión	74

Figura 2.36 Número de Iteraciones	75
Figura 2.37 Presión Absoluta	75
Figura 2.38 Presión Estática	76
Figura 2.39 Análisis Estático	76
Figura 2.40 Flujo másicos obtenidos	77
Figura 2.41 Comportamiento del Fluido en el interior del colector	77
Figura 2.42 Variación de presión en el interior del colector	78
Figura 2.43 Configuraciones CFX	78
Figura 2.44 Times Steps	79
Figura 2.45 Entrada de datos - Tipo de Análisis	80
Figura 2.46 Condiciones de Contorno	81
Figura 2. 47 Función para visualizar el promedio de la presión estática	81
Figura 2. 48 Funciones de presión en función del tiempo	82
Figura 2.49 Numero de Courant	82
Figura 2.50 Residuos del Dominio	83
Figura 2.51 Diseño Seleccionado	95
Figura 2.52 Propiedades Típicas de la Fibra de vidrio utilizada	96
Figura 2. 53 Propiedades Insertadas	97
Figura 2.54 Geometría utilizada para el análisis estructural	97
Figura 2.55 Refinamiento promedio del enmallado	98
Figura 2.56 Valores de depresión insertada	98
Figura 2.57 Deformación máxima	98
Figura 2.58 Resultados Obtenidos	99
Figura 2.59 Tabla de propiedades físicas y mecánicas del aluminio	100
Figura 2. 60 Colector de admisión de plástico y de aluminio	
Figura 2.61 Fibra de vidrio tipo Mat	
Figura 2.62 Colector en fibra de vidrio	102
Figura 2.63 Piezas fibra de carbono	103
Figura 2.64 Valores de propiedades mecánicas para fibras de carbono de bajo y a	ılto
módulo de elasticidad	
Figura 2.65 Vehículo Formula student UK 2011	104
Figura 2.66 Colector de admisión-Universidad de Dalhousie	105
Figura 2.67 Colector de admisión-Universidad de Duke	
Figura 2.68 Corrosión	
Figura 2.69 Colector de admisión fibra de carbono	
Figura 2.70 Colector de admisión construidos en aluminio y plástico	
Figura 2.71 Proceso de Fabricación de la fibra de vidrio	111
Figura 2.72 Distintos tejidos de la fibra de vidrio	112
Figura 2.73 Propiedades Físicas y Mecánicas de la Fibra de vidrio en General	
Figura 2.74 Perfil de Rugosidad Norma ISO R469	113
Figura 2.75 Longitudes Básicas	113

Figura 2.76 Desviación media de la Rugosidad	114
Figura 2.77 Desviación máxima entre pico y valle	114
Figura 2.78 Patrón del instrumento	115
Figura 2.79 Calibración del Instrumento	115
Figura 2.80 Ensayo de rugosidad sobre la probeta	115
Figura 2.81 Primer ensayo de rugosidad	116
Figura 2.82 Segundo ensayo de rugosidad	116
Figura 2.83 Tercer ensayo de rugosidad	117
Figura 2.84 Isocianato y resina de inyección	118
Figura 2.85 Moldeado de la espuma de poliuretano	119
Figura 2.86 Moldeado de la espuma de poliuretano	119
Figura 2.87 Espuma moldeada con materiales para su masillado. Plenum masillado	.119
Figura 2.88 Molde acabado	120
Figura 2.89 Proceso de fabricación con fibra de vidrio	121
Figura 2.90 Desmoldeo del plenum	122
Figura 2.91 Despiece del colector: trompetas, base para el restrictor y el plenum	122
Figura 2.92 Acabado con fibra de vidrio. Acabado con masilla y lija	123
Figura 2.93Comprobación de hermeticidad	123
Figura 2.94 Colector acabado	124
CAPITULO II Figura 3. 1 Sistema de alimentación original de la motocicleta	125
Figura 3.3 Riel de inyectores en 3D	
Figura 3.4 Regulador de presión en 3D	
Figura 3.5 Bomba de combustible en 3D.	
Figura 3.6 Filtro de combustible en 3D	
Figura 3.7 Acoples de combustible en 3D	
Figura 3.8 Electroválvula o inyector de combustible en 3D	
Figura 3. 9 Mangueras de combustible de metal trenzado	
Figura 3.10 Tanque de combustible en 3D	
Figura 3.11 Chapa desplegada del tanque y tapas en 3D	
Figura 3. 12 Soldado y armado del tanque de combustible	
Figura 3.13 Tanque terminado	132
Figura 3.14 Instalación de acoples	132
Figura 3.15 Disposición final del sistema de combustible	
Figura 3.18 Diagrama esquemático master switch	
Figura 3.19 Master switch	
Figura 3.20 Símbolo de identificación del interruptor master switch	135
Figura 3.21 Interruptor maestro secundario	136
Figura 3.24 Batería	137

Figura 3.26 Interruptor de Ignición y de arranque	137
Figura 3. 27 Esquema eléctrico del circuito de parada	139
Figura 3.28 Código de cables AWG	139
Figura 3.29 Instalación Eléctrica	140
Figura 3.30 Instalación del interruptor secundario de emergencia	141
Figura 3.31 Instalación del interruptor de arranque e ignición	141
Figura 3. 32 Instalación de la computadora reprogramable	142
Figura 3. 33 Sensor TPS efecto hall	143
Figura 3. 34 Curva característica sensor MAP interno de la ECU (KPa/Voltios)	144
Figura 3. 35 Instalación del sensor ECT	
Figura 3. 36 Curva característica sensor ECT	144
Figura 3. 37 Instalación del sensor IAT	145
Figura 3. 38 Curva característica sensor IAT	145
Figura 3. 39 Modulo del sensor de banda ancha	146
Figura 3. 40 Curva característica sensor de oxígeno de banda ancha	146
Figura 3. 41 Cableado del sensor de oxigeno	146
Figura 3. 42 Disposición de cada uno de los imanes sobre la rueda fónica	147
Figura 3.43 Comportamiento de los sensores CMP y CKP montados sobre el árbol	de
levas de admisión	148
Figura 3. 44 Visualización del sensor CMP y CKP	149
Figura 3.45 Calibración del sensor CKP y CMP	149
Figura 3.46 Instalación de los bobinas	150
CAPITULO IV	
Figura 4.1 Interfaz gráfica - Software Haltech Sport 1000	151
Figura 4.2 Menú principal - Software Haltech Sport 1000.	
Figura 4.3 Menú de sincronización - Software Haltech Sport 1000	
Figura 4.4 Menú de inyección - Software Haltech Sport 1000	
Figura 4.5 Menú de avance - Software Haltech Sport 1000.	
Figura 4.6 Sensor Haltech S4.	
Figura 4. 7 Limitador de RPM - Software Haltech Sport 1000.	
Figura 4. 8 Tabla del limitador de RPM -Software Haltech Sport 1000.	
Figura 4.9 Menú aceleración transitoria - Software Haltech Sport 1000	
Figura 4.10 Tabla y mapa base de inyección - Software Haltech Sport 1000	
Figura 4.11 Tabla y mapa de objetivo de mezcla - Software Haltech Sport 1000	
Figura 4.12 Tabla y mapa de enriquecimiento post arranque - Software Haltech Spo	
1000.	
Figura 4. 13 Tabla y mapa de corrección por temperatura de aire - Software Haltech	
Sport 1000	

Figura 4. 14 Tabla y mapa de corrección por temperatura De Refrigerante - Software
Haltech
Figura 4.15 Tabla de corrección por presión barométrica - Software Haltech Sport
1000
Figura 4.16 Tabla de inyección inicial - Software Haltech Sport 1000162
Figura 4.17 Tabla y mapa base de avance - Software Haltech Sport 1000162
Figura 4. 18 Tabla de avance en arranque - Software Haltech Sport 1000163
Figura 4.19 Dash Haltech IQ3
Figura 4.20 Dash Haltech IQ3-Descripcion
Figura 4. 21 Cable P/N: 280-CA-C2-072
Figura 4.22 Menú de selección de dispositivo
Figura 4.23 Entorno de configuración de entradas y pantallas del Dash167
Figura 4.24 Menú de configuración de entradas del Dash
Figura 4.25. Luces de emergencia del Dash IQ3
Figura 4.26 Entorno de configuración luces de emergencia
Figura 4.27 Entorno de configuración luces de cambio de Marcha
Figura 4.28 Entorno de configuración del cálculo de marcha
CAPITULO IV
Figura 5.1 Gráfica de potencia Yamaha FZR600 1992
Figura 5.2 Gráfica de torque Yamaha FZR600 1992173
Figura 5. 3 Recorrido esquemático del skid-pad
Figura 5.4 Medidor del caudal de combustible
Figura 5.5 Colocación de las conexiones de combustible entre el medidor y el motor 177
Figura 5.6 Cartografía inicial
Figura 5.7 Mapa cartográfico anterior y posterior
Figura 5.9 Consumo de Combustible Anterior y mejorado
Figura 5.7 Grafica comparativa (Consumo Específico - Potencia - Torque)180

INDICE DE TABLAS

CAPITULO I

Tabla 1.1 Características mecánicas de diversos motores de motocicleta	33
Tabla 1.2 Rendimiento de diversos motores de motocicleta	34
Tabla 1.3 Ventajas y desventajas de los motores tetracilíndricos	34
Tabla 1.4 Rendimiento de diversos motores de motocicleta	
Tabla 1.5 Ventajas y desventajas de los motores bicilíndricos	35
Tabla 1.6 Rendimiento de diversos motores de motocicleta	
Tabla 1.7 Ventajas y desventajas de los motores monocilíndricos	37
Tabla 1.8 Características Técnicas Motor Yamaha FZR 600	
Tabla 1. 9 Características Técnicas Motor Yamaha FZR 600	42
CAPITULO II	
Tabla 2.1 Velocidad de entrada de aire hacia el motor	47
Tabla 2.2 Vacío del motor	47
Tabla 2.3 Flujo másico del motor calculado	48
Tabla 2.4 Presión en el interior del cilindro	48
Tabla 2.5 Ecuaciones Sistemas Neumáticos	54
Tabla 2.6 Resistencia 1 en función de las rpm	60
Tabla 2.7 Resistencia 1 en función de las rpm.	61
Tabla 2.8 Colector 1	86
Tabla 2.9 Colector 2	87
Tabla 2.10 Colector 3	89
Tabla 2. 11 Colector 4	90
Tabla 2. 12 Colector 5	92
Tabla 2.13 Resultados obtenidos en análisis transitorio	93
Tabla 2.14 Propiedades mecánicas de la fibra de vidrio	
Tabla 2.15 Rugosidad Absoluta De Materiales.	108
Tabla 2.16 Tabla de asignación de valores	109
Tabla 2.17 Tabla de priorización	
Tabla 2.18 Rugosidad Equivalencia Escala N-um	
Tabla 2.19 Rugosidades de diferentes materiales medidos	117
CAPITULO III	
Tabla 3.1 Características de la bomba de combustible del Hyundai Getz	
Tabla 3.2 Capacidad nominal del interruptor	
Tabla 3.4 Especificaciones técnicas de la batería	
Tabla 3.6 Especificaciones técnicas del motor de arrangue	138

Tabla 3.7 Especificaciones técnicas del alternador	138
Tabla 3. 8 Características del Sensor TPS	143
CAPITULO IV	
Tabla 4. 1 Características - Dash Haltech IQ3	164
Tabla 4.2 Conexionado cable de comunicación	165
Tabla 4.3 Valores de relación de transmisión y desplazamiento del neumático	170
CAPITULO IV	
Tabla 5.1 Primera prueba de consumo de combustible	178
Tabla 5.2 Consumo de Combustible modificado	179

RESUMEN

El proyecto de grado que se presenta a continuación trata sobre el diseño, construcción e implementación de un colector de admisión, además del diseño y montaje de un sistema electrónico reprogramable de inyección para el motor Yamaha FZR 600 montado en un prototipo que participará en la competencia internacional "Formula Student".

Para cumplir con los objetivos propuestos, se empezó realizando un estudio a profundidad del reglamento Formula SAE 2014, en base a las restricciones y disposiciones que presenta con el fin de evitar que el vehículo sea sancionado en la competencia.

El desarrollo del colector de admisión empezó con la adquisición de datos reales del motor como la velocidad de ingreso de aire en cada cilindro para sacar un promedio de las mediciones de los 4 cilindros, teniendo en cuenta que cada dato que se toma es realizado a diferentes regímenes de RPM del motor. Con ayuda de sensores MAP instalados en el interior de la cámara de combustión se determinó la presión real del motor en la fase de admisión, dichas señales fueron transmitidas al software Matlab-Simulink utilizando como interfaz una tarjeta de comunicación Arduino donde las señales de voltaje obtenidas son interpretadas como salidas de presión.

Con la recolección de los diferentes datos obtenidos en las mediciones, se desarrolló un modelo matemático en donde se consideran las variables y constantes que van a actuar en el proceso de inducción de aire del motor como; resistencia neumática, capacitancia, presiones del cilindro y restricción de 20 mm, con el fin de obtener un volumen adecuado del colector de admisión para un funcionamiento óptimo del motor en bajas y altas revoluciones. Cabe recalcar que la longitud de la trompeta fue calculada para el efecto de sobrealimentación por aire.

Una vez obtenido el volumen del colector, utilizando el software de diseño Solidworks se diseñó 5 modelos con forma geométrica diferente para luego analizar; en cual el fluido se comporte de mejor manera mediante el software de dinámica de fluidos

ANSYS con su módulo CFX mediante un análisis estático y transitorio. Finalmente se pasó a la construcción en fibra de vidrio del colector con mejores resultados en la simulación.

Posteriormente se desarrolló e instaló el circuito eléctrico del prototipo teniendo muy en cuenta la reglamentación acerca del interruptor maestro, del interruptor principal así como indicando de manera técnica la conexión de todos los elementos eléctricos del motor.

Para Implementar al motor con un sistema de inyección electrónica reprogramable, inicialmente se instalaron sensores indispensables para el funcionamiento del motor como son MAP, TPS, ECT, IAT, O2, para luego instalar los actuadores como son; bobinas e inyectores, todo lo anterior cableado a la computadora reprogramable en la cual se controla parámetros como inyección, encendido, emisiones, método de carga y demás, todo acorde al motor y a los requerimientos de la competencia.

Finalmente el sistema de adquisición de datos implementado fue un Dash Haltech IQ3, este dispone de 4 configuraciones para la pantalla, en las cuales se programaron las entradas a visualizar ECT, IAT, O2, TPS, RPM, de igual manera se programó las luces de cambio para que indique la manera más eficiente para realizar el cambio de marcha correspondiente.

CAPÍTULO I. FUNDAMENTO TEÓRICO DE LOS SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN Y LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS ACORDE AL REGLAMENTO DE LA COMPETENCIA SAE.

1.1 Introducción

1.1.1 Competencia Formula SAE

Fórmula SAE es un concurso de universidades desarrollado con estudiantes de pregrado y posgrado para concebir, diseñar, fabricar, desarrollar y competir con un vehículo estilo fórmula.

Para efectos de la competencia de Fórmula SAE, los equipos han de asumir que trabajan en una empresa que está diseñando y fabricando un prototipo, el cual debe cumplir con las normativas de la competencia para un mercado no profesional.

El vehículo debe tener un rendimiento muy alto en términos de aceleración, frenado, manejo y ser lo suficientemente sólido para completar con éxito todos los eventos descritos en las normas de la Fórmula SAE y competiciones de Fórmula SAE.

1.1.2 Historia

A mediados de la década de 1970, varias universidades empezaron a acoger competiciones de diseño con estudiantes para la fabricación de prototipos parecidos a los de la formula Indy¹.

Los primeros vehículos fueron conocidos como los SAE Mini Baja, cuyas competiciones tuvieron lugar en 1976 y rápidamente se convirtieron en tres competencias regionales anuales. Estos acontecimientos crearon un formato estándar: un día competición en eventos estáticos de eventos de diseño, costo y presentación,

1

¹http://www.sae.org/students/fsaehistory.pdf

seguidos de un día de eventos de rendimiento, y un evento de resistencia en el tercer y último día.



Figura 1.1 Vehículo Formula SAE 1981 Stevens Institute of New Jersey Fuente: http://www.sae.org/students/fsaehistory.pdf

El énfasis en el Mini Baja fue el diseño del chasis, así como la utilización de un motor de 8 caballos de fuerza que no se podía modificar.

La competencia SAE mini Baja era grande para el diseño del chasis, pero muchos estudiantes querían trabajar en los motores también. Las nuevas reglas mantendrían las restricciones del motor al mínimo. Cualquier motor de cuatro tiempos se permitió durante los primeros cuatro años, con el poder limitado por una restricción 25,4 mm a la entrada².

Para reflejar mejor la naturaleza del evento y el desarrollo ingenieril el nombre de la Fórmula SAE fue adoptado.



Figura 1.2 Vehículo Formula SAE **Fuente:** http://www.cardomain.com/ride/3227117/2008-honda-600/

2

²http://students.sae.org/competitions/formulaseries/about.htm

1.2 Reglamento de la Formula SAE 2014

1.2.1 Requerimientos técnicos generales (Parte T)

1.2.1.1 Requerimientos del vehículo y restricciones (Artículo 1)

1.2.1.1.1 Modificaciones y reparaciones (T1.2)

Las modificaciones permitidas por el inspector una vez homologado el vehículo son (T1.2.2):

- a) Ajuste de los parámetros de funcionamiento del motor, como mezcla de combustible, tiempo de encendido y cualquier cambió en los software de calibración.
- b) Recarga de la batería de bajo voltaje.

Una vez que el vehículo está aprobado para la competencia, cualquier daño en el vehículo que requiera una reparación, por ejemplo, daños por choques, eléctricos o daños mecánicos, se anulará la aprobación de la inspección, al finalizar la reparación y para volver a entrar en una competencia dinámica el vehículo debe volver a presentarse a la inspección técnica (T1.2.4). ³

1.2.1.2 Sistema de frenos (Artículo 7)

1.2.1.2.1 Interruptor de freno de sobre-recorrido (T7.3)

El interruptor en el pedal de freno de sobre – recorrido debe estar instalado en el vehículo como parte del sistema de parada y con un conexionado en serie con los botones de parada (T7.3.1).

Repetidas actuaciones del interruptor no deben restaurar la energía de los componentes y debe ser diseñado de manera que el piloto no pueda restablecerla (T7.3.2).

³ Reglamento Formula SAE 2014; Parte T; Artículo 1; T1.2; T1.2.2; T1.2.4

El interruptor debe ser implementado con componentes analógicos y no mediante el recurso de los controladores lógicos programables o controladores similares de funcionamiento digital (T7.3.3).

El interruptor de freno de sobre recorrido debe ser un actuador de accionamiento mecánico, conocido como de dos posiciones "push-pull" (T7.3.4).



Figura 1.3 Interruptor de Freno de Sobre-recorrido **Fuente:** Reglamento Formula SAE 2014

1.2.1.2.2 Luz de freno (T7.4)

El vehículo debe estar equipado con una luz de freno de color rojo. La luz de freno debe tener un fondo negro y una forma rectangular, triangular o redonda con una superficie mínima de brillo de al menos 15 cm² (T7.4.1).

Cada luz de freno debe ser claramente visible desde la parte trasera ante la luz solar muy brillante. Esta luz debe ser montada en la parte central comprendida por la rueda y el nivel de los hombros del conductor en posición vertical y aproximadamente en la línea central del vehículo de vista lateral (T7.4.2).⁵

1.2.1.3 Tren de potencia (Artículo 8)

1.2.1.3.1 Escudos y protectores del tren de transmisión (T8.4)

Protectores de dedos – Protectores de dedos son requeridos para cubrir las piezas de transmisión que giran mientras el automóvil está parado con el motor en marcha. Los

⁴ Reglamento Formula SAE 2014; Parte T; Artículo 7; T7.3; T7.3.1; T7.3.2; T7.3.3

⁵ Ídem T7.4;T7.4.1; T7.4.2

protectores de dedos pueden estar hechos de material más ligero, suficiente para resistir las fuerzas de los dedos. Malla o material perforado pueden ser usados, pero deben evitar el paso de un objeto de 12 mm (¹/₂ pulgada) de diámetro a través del protector (T.8.4.6).

Comentario: los protectores de dedos tienen la intención de evitar la introducción de un dedo en equipos rotativos, mientras que el vehículo está en reposo.⁶

1.2.1.3.2 Integridad de sistemas que transportan fluidos - Prueba de inclinación (T8.5)

Prueba de inclinación – Fluidos (T8.5.1)

Durante la inspección técnica, el vehículo debe ser capaz de inclinarse a un ángulo de cuarenta y cinco grados (45 °) y sin pérdida de líquido de cualquier tipo.

La prueba de inclinación se llevará a cabo con el vehículo que contiene la mayor cantidad de líquidos que llevará durante cualquier prueba o evento (T8.5.2).

1.2.1.4 Sujetadores (Artículo 11)

1.2.1.4.1 Requisitos de calidad de los fijadores (T11.1)

Todos los elementos de fijación roscados empleados en la estructura del vehículo deben cumplir o superar, SAE grado 5, Grado 8.8 Métrico o especificaciones AN/MS "Ejército Naval – Estándares Militares" (T11.1.1).

El uso de botón de cabeza, cabeza redonda, cabeza plana o tornillos de cabeza redonda o tornillos en lugares críticos, están prohibidos. Estas posiciones incluyen la estructura de la célula del conductor y el accesorio de equipos del conductor (T11.1.2).

Nota: Tornillos Hexagonal de paso distanciado o pernos (llamados también tornillos de cabeza hueca o tornillos Allen) están permitidos.⁸

 $^{^6}$ Reglamento Formula SAE 2014; Parte T; Artículo 8; T8.4 ; T8.4.6 7 Ídem T8.5; T8.5.1; T8.5.2

⁸ Ídem Artículo 11; T11.1; T11.1.1; T11.1.2

1.2.1.4.2 Seguridad de los sujetadores (T11.2)

Todo perno crítico y otros sujetadores sobre la dirección, el frenado, las guarniciones del conductor, y la suspensión deben ser asegurados del aflojamiento involuntario por el empleo de mecanismos de cierre positivos. Mecanismos de cierre positivos incluyen (T11.2.1):

- a) Correcta instalación del alambrado de seguridad
- b) Pasadores de chaveta
- c) Tuercas de nylon
- d) Tuercas de bloqueo de par

Nota: Arandelas de seguridad y los compuestos de rosca de cierre, por ejemplo, Loctite, no cumplen con el requisito de bloqueo.

Debe haber un mínimo de dos hilos de proyección que se visualicen desde cualquier tuerca de bloqueo (T11.2.2).⁹

1.2.1.5 Transpondedor (Artículo 12)





Figura 1.4 Transpondedor **Fuente:** Reglamento Formula SAE 2014

1.2.1.5.1 Transpondedor montaje – Todos los eventos (T12.3)

Los requisitos de montaje del transpondedor:

a. <u>Orientación</u> - El transpondedor debe ser montado en posición vertical y orientado de modo que el número se pueda leer "lado derecho hacia arriba".

⁹ Reglamento Formula SAE 2014; Parte T; Artículo 11; T11.2; T11.2.1; T11.2.2

b. Ubicación - El transpondedor se debe montar en el lado derecho del conductor del coche hacia adelante del arco frontal "Main Hoop". El transpondedor tiene que estar no más de 60 cm (24 pulgadas) por encima de la pista.

c. Obstrucciones - Debe haber una línea abierta, sin obstáculos entre la antena en la parte inferior del transpondedor y el suelo. Metal y fibra de carbono pueden interrumpir la señal del transpondedor. La señal normalmente se transmite a través de fibra de vidrio y plástico. Si la señal se ve dificultada por el metal o fibra de carbono, unos 10,2 cm (4 pulgadas) de diámetro pueden ser cortadas para la apertura, el transpondedor montada a al ras con la abertura, y la abertura cubierta con un material transparente a la señal.

d. Protección - Montar el transpondedor donde sea protegido de los obstáculos. 10

1.2.2 Vehículos con motores de combustión interna (Parte IC).

1.2.2.1 Motores de combustión interna (Artículo1)

1.2.2.1.1 Limitaciones del motor (IC1.1)

El motor empleado para impulsar el vehículo debe ser de pistón con ciclo de 4 tiempos, con una cilindrada no superior a los 610 cm³ (IC1.1.1).

El motor se puede modificar dentro de las restricciones de las reglas (IC1.1.2). 11

1.2.2.1.2 Inspección del motor (IC1.2)

El organizador medirá o derribará un número sustancial de motores para corroborar la conformidad a las reglas. La medición inicial se hará externamente con una exactitud de medición del 1 por ciento. Cuando se instala coaxialmente con el agujero de la bujía, la herramienta de medición tiene unas dimensiones de 381 mm (15 pulgadas) de largo y 30 mm (1.2 pulgadas) de diámetro. Los equipos pueden optar por diseñar un espacio para el acceso a esta herramienta por encima de cada orificio de la bujía para reducir el tiempo de inspección del vehículo.¹²

7

Reglamento Formula SAE 2014; Parte T; Artículo 12; T12.3
 Ídem Parte IC; Artículo 1; IC1.1; IC1.1.1; IC1.1.2

¹² Ídem IC1.2

1.2.2.1.3 Arranque (IC1.3)

Cada vehículo debe estar equipado con un motor de arranque a bordo, que durante la competencia, se debe utilizar para arrancar el coche en todo momento. Arranques de empuje o el uso de un sistema de arranque remoto, están prohibidos.¹³

1.2.2.1.4 Sistema de aire de admisión (IC1.4)

Localización de los sistemas de entrada de aire (IC1.4.1):

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

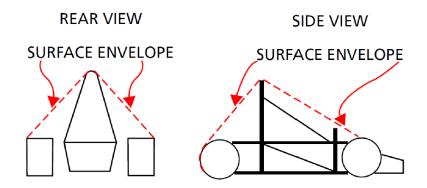


Figura 1.5 Limitaciones del Sistema de Admisión de Aire **Fuente:** Reglamento Formula SAE 2014

Cualquier parte del sistema de admisión de aire que se encuentra a menos de 350 mm (13.8 pulgadas) por encima del suelo debe ser protegido contra las colisiones laterales o traseras de impacto por la estructura construida (IC1.4.2).

Colector de admisión - El colector de admisión debe estar firmemente sujeto al bloque del motor o la culata con los soportes y los sujetadores mecánicos. Esto excluye el uso de abrazaderas de las mangueras, los lazos de plástico o cables de seguridad. El uso de bujes de goma o de manguera es aceptable para crear y sellar pasos de aire, pero no es considerado un accesorio estructural (IC1.4.3).

-

¹³ Reglamento Formula Student 2014; Parte IC; Artículo 1; IC1.3

Los sistemas de entrada con masa significativa o el voladizo de la culata deben ser apoyados para prevenir el pandeo del sistema de entrada. Los apoyos al motor deben ser rígidos. Los apoyos al marco o bastidores deben incorporar algún aislamiento para permitir el movimiento del motor y la flexión del chasis (IC1.4.4).¹⁴

1.2.2.1.5 Acelerador y accionamiento del acelerador (IC1.5)

Mariposa de accionamiento - El acelerador debe ser accionado mecánicamente, es decir, a través de un cable o un sistema de barras. El uso de control electrónico del acelerador (ETC) está prohibido (IC1.5.2).

El cable del acelerador o varilla debe tener un funcionamiento suave, y no deben tener la posibilidad de unirse o que se peguen (IC1.5.3).

El sistema de accionamiento del acelerador debe utilizar por lo menos dos (2) muelles de retorno situado en el cuerpo del acelerador, de modo que en el fallo de cualquier componente del sistema de aceleración, no se impidiera que el acelerador regrese a la posición cerrada (IC1.5.4).

Nota: Los Sensores de posición del acelerador (TPS) no son aceptables como muelles recuperadores.

Los cables del acelerador deben estar al menos a 50.8 mm (2 pulgadas) de cualquier componente del sistema de escape y fuera de la corriente de gases de combustión (IC1.5.5).

Una parada de pedal positiva debe ser incorporada sobre el pedal de aceleración para impedir una sobre acentuación del cable de aceleración o el sistema de actuación (IC1.5.6).

El cable del acelerador debe estar protegido de ser doblado por el pie del conductor, cuando está accionado por el conductor o cuando el conductor entra o sale del vehículo (IC1.5.7).

9

¹⁴ Reglamento Formula SAE 2014; Parte IC; Artículo 1; IC1.4; IC1.4.1; IC1.4.2; IC1.4.3; IC1.4.4

Si el sistema del acelerador contiene cualquier mecanismo que podría quedar atascado, por ejemplo un mecanismo de engranaje, entonces este debe ser cubierto para evitar la entrada de cualquier residuo (IC1.5.8).¹⁵

1.2.2.1.6 Sistema de Admisión – Restricción (IC1.6)

A fin de limitar la capacidad de potencia del motor, un reductor circular solo debe ser colocado en el sistema de admisión entre el acelerador y el motor y todo el flujo de aire del motor debe pasar a través de la restricción (IC1.6.1).

Cualquier dispositivo que tiene la capacidad de estrangular el motor por debajo de la restricción es prohibido (IC1.6.2).

El máximo diámetro de la restricción que deben ser respetados en cualquier momento durante la competición son (IC1.6.3):

- a) Vehículos abastecidos de gasolina 20 mm (0.7874 in)
- b) Vehículos abastecidos de E85 (Etanol 85%) 19 mm (0.7480 in)

La restricción debe estar localizada para facilitar la medida durante el proceso de inspección (IC1.6.4).

La sección transversal circular de la restricción, no puede ser móvil o flexible de ninguna forma, por ejemplo el restricción no puede ser parte de la porción móvil del barril del cuerpo de aceleración (IC1.6.5).¹⁶

1.2.2.1.7 Líneas de combustible (IC1.8)

Las líneas de combustible de plástico entre el tanque de combustible y el motor (impulsión y retorno) están prohibidas (IC1.8.1).

Si las líneas de combustible de goma o las mangueras son usadas, los componentes sobre los cuales la manguera es sujetada con abrazaderas, deben tener un bulbo anular o

¹⁵ Reglamento Formula SAE 2014;Parte IC; Artículo 1; IC1.5; IC1.5.2; IC1.5.3; IC1.5.4; IC1.5.5; IC1.5.6; IC1.5.7: IC1.5.8

¹⁶Idem IC1.6; IC1.6.1; IC1.6.2, IC1.6.3, IC1.6.4, IC1.6.5

accesorio de púas para conservar la manguera. También deben ser usadas, las abrazaderas expresamente diseñadas para canalizaciones. Estas abrazaderas tienen tres (3) rasgos importantes, (i) una envoltura de (360 °), (ii) una tuerca y un sistema de pernos para apretar, y (iii) bordes redondeados para prevenir la abrazadera corte dentro de la manguera. Las abrazaderas del tipo engranaje - gusano no están permitidas para su uso en todas las líneas de combustible (IC1.8.2).

La líneas de combustible deben estar bien sujetos al vehículo y / o el motor.

Todas las líneas de combustible deben estar protegidas frente a posibles fallas en los equipos rotativos o de daños por colisión (IC1.8.4).¹⁷

1.2.2.1.8 Requerimientos de los sistemas de inyección de combustible (IC1.9)

Las exigencias siguientes se aplican a sistemas de invección de combustible.

1.2.2.1.8.1 Baja presión de combustible (IC1.9.1)

Sistemas de inyección de combustible de baja presión son los que funcionan a una presión por debajo de 10 bares (145 psi). La mayoría de los sistemas de inyección indirecta son de baja presión.

(A) Líneas de combustible – En los sistemas de inyección de combustible de baja presión, cualquier línea de combustible flexible debe ser ya sea (i) manguera trenzada de metal, ya sea con accesorios de sobre – rizado o reutilizables, conexiones roscadas, o manguera de goma reforzada con algún tipo de protección resistente a la abrasión con las abrazaderas de la línea de combustible.

Nota: Las abrazaderas de metal sobre la manguera trenzada no serán aceptadas.

(B) Riel de combustible – La línea de combustible debe estar firmemente sujeta al bloque de cilindros, culata, o colector de admisión con los soportes y los sujetadores

¹⁷ Reglamento Formula SAE 2014; Parte IC; Artículo 1; IC1.8; IC1.8.1; IC1.8.2; IC1.8.3; IC1.8.4

mecánicos. Esto excluye el uso de abrazaderas de las mangueras, correas de plástico, o alambre de seguridad.

(C) Múltiple de admisión – En los motores con inyección de combustible indirecta, el colector de admisión debe estar firmemente sujeto al bloque del motor o la culata. 18

1.2.2.1.9 Cárter / Ventilación de la lubricación del motor (IC1.10)

Cualquier cárter o líneas de ventilación de la lubricación del motor encaminadas al sistema de entrada deben estar unidas por encima del sistema de entrada de la restricción (IC1.10.1).

Se prohíbe respiraderos del cárter que pasan por el tanque de aceite, hacia los sistemas de escape, o dispositivos de vacío que se conectan directamente con el sistema de escape (IC1.10.2).¹⁹

1.2.2.2 Combustible y sistema de combustible (Artículo 2)

1.2.2.2.1 Combustible (IC2.1)

El combustible básico disponible en las competiciones en la serie de la Fórmula SAE es gasolina sin plomo. Para las competiciones de América del Norte FSAE esto debería tener un octanaje de 91 (R + M) / 2 (aproximadamente de 95 RON) mínimo y de otras competiciones, la gasolina sin plomo, que estará disponible, será publicado por el comité pertinente la organización. Sin embargo, el combustible base puede ser cambiado de acuerdo a la medida de la entidad organizadora. Otros combustibles pueden estar disponibles a discreción de la entidad organizadora.

A menos que se anuncie lo contrario por la entidad organizadora, el combustible en las competiciones de la serie Formula SAE será proporcionado por el organizador (IC2.1.1).

Nada puede ser añadido a los combustibles proporcionados. Esta prohibición incluye óxido nitroso o cualquier otro agente oxidante (IC2.1.2).

11

¹⁸ Reglamento Formula SAE 2014; Parte IC; Artículo 1; IC1.9;IC1.9.1

¹⁹ Idem IC1.10; IC1.10.1; IC1.10.2

Nota: Se aconseja a los equipos que el combustible suministrado en los Estados Unidos está sujeta a varias regulaciones federales y estatales, y puede contener hasta un diez por ciento (10%) de etanol. La composición y características físico químicas exactas del combustible disponible pueden no ser conocidas antes de la competición.²⁰

1.2.2.2.2 Aditivos de combustible – Prohibiciones (IC2.2)

No se puede introducir ningún tipo de agente u otros que el combustible (gasolina o E85), y el aire en la cámara de combustión. El no cumplimiento a esta regla será la razón de la descalificación (IC2.2.1).

Los funcionarios tienen el derecho de inspeccionar el aceite (IC2.2.2).²¹

1.2.2.2.3 Cambios en la temperatura de combustible – Prohibidas (IC2.3)

La temperatura del combustible introducido en el sistema de combustible no se puede cambiar con la intención de mejorar la eficiencia calculada.²²

1.2.2.2.4 Tanques de combustible (IC2.4)

El depósito de combustible se define como la parte del dispositivo de contención de combustible que está en contacto con el combustible. Puede estar hecho de un material rígido o de un material flexible (IC2.4.1).

Los depósitos de combustible hechos de un material rígido no se pueden utilizar para soportar cargas estructurales, por ejemplo, arcos antivuelco, suspensión, motor o caja de cambios de soportes, y debe estar firmemente sujeto a la estructura del vehículo con soportes que permiten cierta flexibilidad, de tal manera que al flexionar el chasis no puedan generar cargas al depósito de combustible (IC2.4.2).

Cualquier depósito de combustible que está hecho de un material flexible, por ejemplo un depósito de combustible de vejiga o un tanque de bolsa, debe ser encerrado dentro de un recipiente de depósito de combustible rígido que debe estar fijada firmemente a la

 $^{^{20}}$ Reglamento Formula SAE 2014; Parte IC; Artículo 2; IC2.1; IC2.1.1; IC2.1.2 21 Idem IC2.2; IC2.2.1; IC2.2.2

²² Idem IC2.3

estructura del vehículo. Contenedores de combustible (que contiene un depósito de combustible de vejiga o tanque de bolsa) pueden llevar una carga (IC2.4.3).

Cualquier tamaño de depósito de combustible puede ser utilizado (IC2.4.4).

El sistema de combustible debe tener una disposición para el vaciado del combustible, si es necesario (IC2.4.5).²³

1.2.2.2.5 Sistema de combustible Requisitos de ubicación (IC2.5)

Todas las partes del almacenamiento de combustible y sistema de suministro deben estar dentro de la superficie definida por la parte superior del arco principal "Main Hoop" y el borde exterior de los cuatro neumáticos (IC2.5.1).

Todos los tanques de combustible deben estar protegidos lateralmente o de impactos de vehículos traseros. Cualquier depósito de combustible que se encuentra fuera de la estructura de impacto lateral debe ser protegido por la estructura construida (IC2.5.2).

Un protector "firewall" debe ser incorporado para separar el depósito de combustible del conductor (IC2.5.3).²⁴

1.2.2.2.6 Cuello de llenado del tanque de combustible – visor de nivel (IC2.6)

Todos los tanques de combustible deben tener una boca de llenado (IC2.6.1):

- (a) Diámetro de al menos 38 mm (1,5 pulgadas),
- (b) Al menos 125 mm (4,9 pulgadas) de altura vertical
- (c) Un ángulo de no más de cuarenta y cinco grados (45 °) de la vertical.

Los 125 mm de altura vertical debe estar por encima del nivel superior del tanque, y debe ser acompañado de un tubo de observación de combustible clara para la lectura del nivel de combustible (IC2.6.2).

²⁴ Idem IC2.5; IC2.5.1; IC2.5.2; IC2.5.3

²³ Reglamento Formula SAE 2014; Parte IC; Artículo 2; IC2.4; IC2.4.1; IC2.4.2; IC2.4.3; IC2.4.4; IC2.4.5

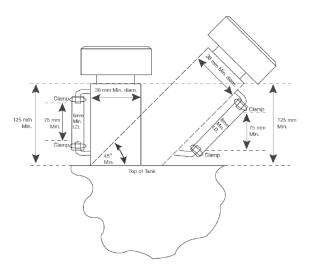


Figura 1.6 Especificaciones de la boca de llenado en el tanque de combustible **Fuente:** Reglamento Formula SAE 2014

El tubo de observación debe tener por lo menos 75 mm "3 pulgadas" de altura vertical y un diámetro interior mínimo de 6 mm (0,25 pulgadas" (IC2.6.3).

El tubo de observación no debe funcionar por debajo de la superficie superior del tanque de combustible (IC2.6.4).

Un tubo de llenado transparente puede ser utilizado como un tubo de observación, sujeto a la aprobación por el comité de reglas o inspectores técnicos en el evento (IC2.6.5).

Línea del nivel de combustible - Una línea de nivel de combustible permanente, no móvil debe encontrarse entre 12,7 mm y 25,4 mm (0,5 pulgadas y 1 pulgada) por debajo de la parte superior del tubo de observación. Esta línea se utilizará como la línea de llenado para la prueba de inclinación, y antes y después de la prueba de resistencia para medir la cantidad de combustible utilizado durante la prueba de resistencia (IC2.6.6).

El tubo de observación y la línea de nivel de combustible deben ser claramente visibles, para una persona que llena el tanque (IC2.6.7).²⁵

-

²⁵ Reglamento Formula SAE 2014; Parte IC; Artículo 2; IC2.6; IC2.6.1; IC2.6.2; IC2.6.3; IC2.6.4; IC2.6.5; IC2.6.6; IC2.6.7

1.2.2.2.7 Requerimiento de llenado del tanque (IC2.7)

El depósito de combustible debe ser capaz de ser llenado a la capacidad sin necesidad de manipular el tanque o el vehículo de cualquier manera. Durante la carga o recarga de combustible del vehículo sólo puede ser tocado por el equipo de combustible y funcionarios. El depósito se llena hasta la línea de llenado, o si se utiliza un sistema de llenado diferente, hasta el punto de parada automática. Si, por cualquier razón, los cambios de nivel de combustible después de que el equipo se ha trasladado con el vehículo, entonces se no se añadirá ningún combustible adicional (IC2.7.1).

El sistema de combustible se debe diseñar de tal manera que el derrame durante el reabastecimiento de combustible no se pueda poner en contacto con la posición del conductor, sistema de escape, partes calientes del motor, o el sistema de encendido (IC2.7.2).

Cacerolas de vientre deben ser ventiladas para evitar la acumulación de combustible. Al menos 2 orificios, cada uno de un mínimo de diámetro de 25 mm, se debe proporcionar en la parte más baja de la estructura de tal manera para evitar la acumulación de líquidos volátiles y / o vapores (IC2.7.3).²⁶

1.2.2.2.8 Sistemas de ventilación (IC2.8)

Todas las líneas de ventilación de combustible deben estar equipadas con una válvula de retención para evitar la fuga de combustible cuando el depósito se invierta. Todos los conductos de ventilación de combustible deben salir fuera de la carrocería (IC2.8.1).²⁷

1.2.2.3 Sistema eléctrico y sistema de parada (Artículo 4)

1.2.2.3.1 Interruptores maestros (IC4.1)

El vehículo debe estar equipado con dos (2) interruptores maestros que forman parte del sistema de parada. Accionado el interruptor debe apagar el motor (IC4.1.1).

²⁶ Reglamento Formula SAE 2014; Parte IC; Artículo 2; IC2.7; IC2.7.1; IC2.7.2; IC2.7.3

²⁷Ídem IC2.8; IC2.8.1

El símbolo eléctrico internacional que consiste en un rayo rojo en un triángulo blanco de filo azul debe colocarse en las proximidades de cada interruptor (IC4.1.2).

Nota: Los equipos deben recordar que cualquier cable de campo del alternador debe ser desactivado por cada interruptor principal para evitar cualquier posible realimentación a través del circuito de la bobina de campo.²⁸

1.2.2.3.2 Interruptor maestro primario (IC4.2)

El interruptor maestro primario debe (IC4.2.1):

- a) Estar ubicado en el lado (lado del conductor) derecho del vehículo, en las proximidades del aro principal, a la altura del hombro y ser fácilmente accionado desde el exterior del coche.
- b) Desactivar la alimentación de todos los circuitos eléctricos, incluyendo la batería, alternador, luces, bomba de combustible, encendido y los controles eléctricos.
- c) Toda corriente de la batería debe fluir a través de este interruptor.
- d) Ser de tipo rotativo y debe ser de acción directa, es decir, que no puede actuar a través de un relé.



Figura 1.7 Interruptor Primario Fuente: Reglamento Formula SAE 2014

²⁸Reglamento Formula SAE 2014; Parte IC; Artículo 4; IC4.1; IC4.1.1; IC4.1.2

La posición "OFF" del interruptor maestro primario debe estar claramente marcada (IC4.2.2).²⁹

1.2.2.3.3 Interruptor maestro montado en la cabina "Cockpit" (IC4.3)

El interruptor maestro montado en la cabina (IC4.3.1):

- a) Estar ubicado para facilitar el accionamiento por parte del conductor en caso de emergencia o pánico.
- b) Debe estar ubicado a poca distancia del conductor con cinturón, junto con el volante, y sin obstáculos por el volante o cualquier otra parte del coche. Se sugiere que se puede colocar en el mismo lado de la rueda de dirección como el mecanismo de palanca de cambios.
- c) Debe ser del tipo empujar halar "push pull" interruptor de emergencia. El interruptor debe instalarse de manera que:
- Desde la posición de encendido, presionando el interruptor de alimentación desactiva el encendido y la bomba de combustible.
- Desde la posición de apagado, tirando del interruptor permitirá energizar a la bomba de combustible y el encendido.
- d) Puede actuar a través de un relé.





Figura 1.8 Interruptor en la cabina del piloto **Fuente:** Reglamento Formula SAE 2014³⁰

³⁰Ídem IC4.3; IC4.3.1

²⁹ Reglamento Formula SAE 2014; Parte IC; Artículo 4; IC4.2; IC4.2.1; IC4.2.2

1.2.2.3.4 Baterías (IC4.4)

Todas las baterías, es decir, las fuentes de alimentación a bordo, deben fijarse firmemente a la estructura (IC4.4.1).

Cualquier batería de celda húmeda ubicada en el compartimiento del conductor debe estar encerrado en un contenedor de tipo marino no conductor o equivalente (IC4.4.2).

El terminal caliente (sin conexión a tierra) debe estar aislado (IC4.4.3).

Los paquetes de baterías basadas en la química de litio que no sea de litio fosfato de hierro "LiFePO4" (IC4.4.4):

- a) Deberán ser aparatos de fábricas comerciales.
- b) Deben tener sobre voltaje, bajo voltaje, cortocircuito y sobre protección de celdas de temperatura.
- c) Deben ser separadas del conductor, mediante un elemento de seguridad.

Todas las baterías que utilizan químicos que no sean de plomo deben ser presentadas en la inspección técnica con marcas de identificación por comparación con una hoja de datos o cualquier otra documentación que acredite el paquete y la electrónica de apoyo que cumplan todos los requisitos de las normas (IC4.4.5).³¹

1.2.2.3.5 Interruptor de freno de sobre – carrera (IC4.5)

El interruptor de freno de sobre – carrera forma parte del sistema de parada y debe apagar el motor y la bomba de combustible.³²

1.2.3 REGULACIONES DE LOS EVENTOS DINÁMICOS (PARTE D)

1.2.3.1 Resistencia y eficiencia (Artículo 8)

³¹ Reglamento Formula SAE 2014; Parte IC; Artículo 4; IC4.4; IC4.4.1; IC4.4.2; IC4.4.3; IC4.4.4; IC4.4.5 ³²Ídem IC4.5

1.2.3.1.1 Eficiencia (**D8.21**)

La eficiencia se basa en una métrica de la cantidad de combustible consumida o la energía utilizada y el tiempo de vuelta en el curso de resistencia, promediado a lo largo del evento.

Se aconseja a los equipos que la puntuación de eficiencia se basa sólo, en los vehículos que en una distancia ejecutan la prueba de resistencia. Aunque la línea de salida y la zona de cambio de pilotos aumentan la distancia real de un vehículo que deben conducir durante el evento, las distancias no son un factor en los cálculos de combustible. Además no se realizan ajustes de consumo de combustible para el motor en marcha en las líneas de entrada / salida, durante el cambio de piloto, en el área penalización. 33

1.2.3.1.2 Puntuación de la eficiencia de combustible (D8.22)

La masa de CO2 liberado a la atmósfera se evaluará mediante el uso de los factores de conversión por debajo de la cantidad de combustible utilizado para el CO2 liberado. Los factores son queridos para representar el suministro medio de la materia apropiada y los organizadores no tomarán en cuenta el combustible real usado (D8.22.1).

- Gasolina sin plomo / gasolina 2.31 kg de CO2 por litro
- E85 1.65 kg de CO2 por litro

La eficiencia se obtuvo usando las siguientes fórmulas (D8.22.3):

$$EFF.SCORE = 100x \left(\frac{\left(\frac{FuelEfficiencyFactor_{MIN}}{FuelEfficiencyFactor_{YOUR}} \right) - 1}{\left(\frac{FuelEfficiencyFactor_{MIN}}{FuelEfficiencyFactor_{MAX}} \right) - 1} \right)$$

-

³³ Reglamento Formula SAE 2014; Parte IC; Artículo 8 Parte D; D8.21

EFF. FACTOR

$$=100x \left(\frac{\left(\frac{T_{MIN}}{Laptotal_{TMIN}}\right)}{\left(\frac{T_{YOURS}}{Lapyours}\right)} \right) x \left(\frac{\left(\frac{CO2_{MIN}}{Laptotal_{CO2MIN}}\right)}{\left(\frac{CO2_{YOURS}}{Lapyours}\right)} \right)$$

Dónde:

- **CO2min** es la masa más pequeña de CO2 utilizada por cualquier competidor, cuya corrección de Resistencia de Tiempo "Tyour" <1,45 x el tiempo de vuelta promedio corregida del equipo más rápido que completa la prueba de resistencia.
- **CO2your** es la masa de CO2 que utilizo el equipo y se anotó.
- Tmin será la corrección de tiempo de resistencia más bajo del equipo más rápido del evento, cuyo volumen de combustible no sobrepase 26 litros/100km o equivalente a la energía de 60,06 kgCO2/100 km.
- **Tyour** se combinarán los tiempos corregidos de los conductores.
- **Lapyours** será el número de vueltas impulsadas por el equipo que se anotó.
- Laptotaltmin y LatptotalCO2min será el número de vueltas completadas por los equipos que establecen Tmin y CO2min, respectivamente.
- FuelEfficiencyFactormin se calculará utilizando CO2YOUR equivalente a 60,06 kg CO2/100km y TYOURS establece en 1,45 veces el tiempo de vuelta promedio corregida del equipo más rápido que completa la prueba de resistencia.³⁴

21

³⁴ Reglamento Formula SAE 2014, Parte D; Artículo 8; D8.22; D8.22.1; D8.22.3

1.3 Sistema de Alimentación de Combustible

El sistema de alimentación suministra combustible en volumen necesario para las más diferentes condiciones de carga y revolución del motor.

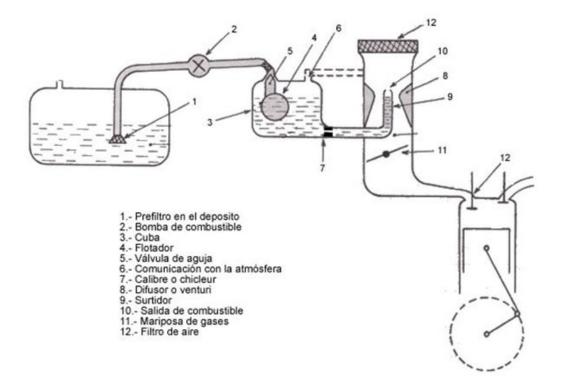


Figura 1.9 Esquema del circuito de alimentación de combustible por carburador **Fuente:** http://www.aficionadosalamecanica.net/carburador.htm

Para el sistema de alimentación electrónico, la bomba aspira el combustible del tanque y lo envía a través del filtro hasta las válvulas de inyección o hacia el carburador según sea el caso.

El regulador de presión controla (regula) la presión necesaria para la perfecta pulverización del combustible en las válvulas de inyección.

A través de un diafragma y un resorte calibrado, el regulador controla la presión producida por la bomba que es de 1 hasta 5 bares, dependiendo del sistema de inyección.

La bomba tiene la posibilidad de producir más caudal del que utiliza el motor. Lo excedente retorna al tanque sin desperdicio, ayudando a enfriar la bomba y el combustible, evitando la producción de vapores contaminantes.

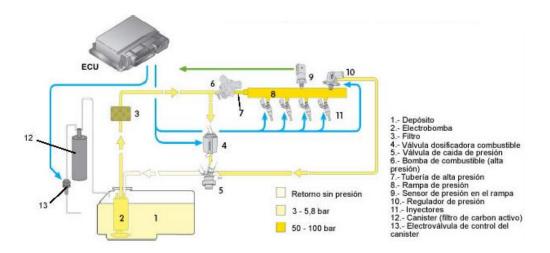


Figura 1.10 Esquema del circuito de alimentación de combustible electrónico **Fuente:** http://www.aficionadosalamecanica.net/inyeccion_directa1.htm

1.3.1 Sistema de alimentación en vehículos de competencia

La FIA (Federación Internacional de Automovilismo) regula todos los aspectos de seguridad dentro del mundo automovilístico, uno de los más importantes es el sistema de alimentación de combustible, considerándose como un riesgo potencial. Las exigencias obligan a que cada competencia cumpla con un mínimo de requerimientos en función de las velocidades alcanzadas dentro de la misma y otros factores propios del certamen.



Figura 1.11 Sistema de alimentación de vehículo de rally
Fuente: http://www.garage7.com.au/home/index.php?option=com_content&view=article&id=75:fuel-systems&catid=41:services&Itemid=78

Los sistemas son más complejos cada año, perfeccionando la aportación de combustible al motor sin descuidar los aspectos en materia de seguridad.



Figura 1.12 Sistema de alimentación de vehículo de rally **Fuente:** http://www.cliosport.net/forum/showthread.php?309373-The-JDM-Appreciation-Thread/page506



Figura 1.13 Sistema de alimentación para motos Harley **Fuente:** http://fcdesign.free.fr/products/fi/fi_system.html

1.3.2 Principales partes del sistema de alimentación

1.3.2.1 Bombas de combustible



Figura 1.14 Bomba de alto caudal **Fuente:** http://www.streetracing.cl/upload/showthread.php?t=75632

Actualmente se usan dos tipos de bombas de gasolina para los autos y camiones livianos. Los motores con carburador de años atrás usaban bombas mecánicas y otros empleaban las eléctricas.

Actualmente todos los motores con sistemas de inyección utilizan las eléctricas, ambas tienen la función de succionar gasolina del tanque y enviarla a presión al carburador o regulador de presión de los inyectores.

A diferencia de las bombas convencionales, las bombas utilizadas en competición poseen mayor caudal de combustible con un mínimo consumo de corriente, además de su reducido peso.

1.3.3.2 Tanque de combustible

El depósito de combustible se diseña de forma específica para cada vehículo una vez que el diseño es determinado, dado que han de optimizar el espacio libre disponible.

De hecho, a menudo se crean diferentes arquitecturas para el sistema del depósito de combustible dependiendo del tipo de vehículo, el tipo de combustible (gasolina o diésel), el tipo de dispensador de gasolina y la región donde se vende el vehículo.

Hay dos tecnologías para los depósitos de combustible en automóviles:

- Depósitos de plástico, concretamente polietileno de alta densidad producidos por medio de moldeo por soplado.
- Depósitos de metal (acero o aluminio) a partir de la soldadura de láminas estampadas.

Una célula de combustible para competición es un contenedor de combustible que se diferencia del depósito ordinario en los siguientes aspectos:

- Tiene una compuesto interior flexible para minimizar el riesgo de orificios en caso de colisión.
- Esta relleno con un núcleo de espuma de célula abierta (foambaffling) para evitar la explosión del vapor en la parte vacía del depósito y para minimizar el sloshing del

combustible durante la competición que pudiera desequilibrar el vehículo o provocar una alimentación de combustible inadecuada del motor.



Figura 1.15 Tanques de combustible de alto nivel de seguridad **Fuente:** http://www.fuelsafe.com/Page%208.html

En la élite de competencias automovilísticas, es el caso de la Formula 1, el depósito de combustible es construido de Kevlar y goma, irrompible, que protege debidamente el combustible en el caso de accidente, impidiendo su salida. Estos depósitos suelen tener capacidad para unos 200 litros de combustible (un monoplaza supera ampliamente el consumo de los 63 litros a los 100 Km), los suficientes para una carrera, y suelen estar fabricados con las mismas medidas de la carrocería por su mejor y más perfecta adaptación y mayor aprovechamiento del espacio disponible.



Figura 1.16 Espuma de seguridad "foambaffling" **Fuente:**http://www.silvan.com.au/index.php?action=module&module=products&division=1&category=&type=desc&prod_code=BF200

1.3.2.2 Filtro de combustible



Figura 1.17 Filtro de combustible normal y de competición **Fuente:** http://es.aliexpress.com/store/group/fuel-filter/622486_251024248.html

Instalado después de la bomba, su función es retener las impurezas contenidas en el combustible. Como los orificios de las válvulas de inyección son minúsculos (alrededor de 0,14 mm) se necesita combustible completamente bien filtrado, por eso se recomienda cambiarlo a cada 20.000 km, o de acuerdo a la indicación del fabricante del vehículo.

En competición existe una amplia gama de filtros que poseen características mejoradas para obtener el máximo rendimiento del motor. La resistencia al paso de combustible se reduce considerablemente, incluida el prefecto tamizaje del combustible, sin poner en riesgo el alto precio de motores de alto performance.

1.3.2.3 Regulador de presión



Figura 1.18 Regulador de combustible convencional y de competencia **Fuente:** http://www.tuning.online.pt/forum/vendo-regulador-gasolina-aem-honda-civic-t97353.html

Instalado en el tubo donde están montadas las válvulas de inyección, o dentro del tanque, su función es regular la presión producida por la bomba, garantizando la perfecta

pulverización del combustible. Como está en constante contacto con el combustible, se puede deteriorar. Por lo tanto se recomienda probarlo regularmente y reemplazarlo cuando sea necesario.

La ventaja de los reguladores de competición es que permite variar la presión máxima de funcionamiento, además de permitir una perfecta hermeticidad.

1.3.2.4 Válvula de inyección o inyectores



Figura 1.19 Inyector convencional y de alto caudal **Fuente:** http://www.marketcar.com.ar/52-repuestos-para-autos-inyectores

Componente de extremada precisión, la válvula es el componente responsable por pulverizar el combustible para la combustión. Por ser un componente sensible, necesita recibir combustible bien filtrado. Se recomienda revisarla regularmente y en casos de falla cambiarla.

Clasificación según su impedancia:

La impedancia del inyector describe la resistencia eléctrica de la bobina del mismo. Estos se agrupan generalmente en dos categorías.

- Baja impedancia (convencionales): de 1.7 a 3 ohmios
- Alta impedancia (de competición): de 10 a 16 ohmios

1.3.3 Restricción de aire en vehículos de competencia

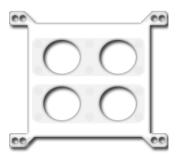


Figura 1.20 Representación de una placa de restricción NASCAR **Fuente:** http://en.wikipedia.org/wiki/Restrictor_plate

Con el transcurrir de los años cada competición ha ido evolucionando y por ende perfeccionando sus motores hasta lograr potencias que no pueden ser controladas a plenitud por sus pilotos.

La mayoría de competencias utilizan placas o diámetros máximos para la admisión de aire precautelando la seguridad de las pistas, tanto para los pilotos como los espectadores, tal es el caso de la competencia Formula SAE. Además de proteger la integridad de vidas humanas, se trata de retar a los ingenieros a diseñar y construir sistemas que solucionen el problema de pérdida de potencia al emplear la restricción en el motor.



Figura 1.21 Accidente automovilístico **Fuente:**http://www.foxdeportes.com/motor/story/gran-accidente-en-nascar

Una placa de restricción de aire es un dispositivo instalado en la admisión de un motor para limitar su poder. Este tipo de sistema se utiliza de vez en cuando en los vehículos de carretera (por ejemplo, motocicletas) a efectos del seguridad, pero sobre todo en las carreras de automóviles, para limitar la velocidad máxima y así aumentar la seguridad, para facilitar la igualdad de nivel de competencia, y para reducir los costos. A continuación se va a analizar las diferentes restricciones según el tipo de competencia a nivel mundial.

1.3.3.1 Restricciones en Racing Series

Algunas clases de la talla de la Fórmula Uno sólo limitan el desplazamiento y dimensión de la boca de admisión de aire. Sin embargo, en 2006 limitadores de aire (así como limitadores de revoluciones) fueron utilizados por la Scuderia Toro Rosso para facilitar la transición a un nuevo motor de Fórmula Uno.

Muchas otras series de carreras utilizan limitaciones adicionales:

- Fórmula 3: Cilindrada de motor a 2000 cc y potencia de 215 cv, diámetro de la entrada de aire de 26 mm.
- Deutsche Tourenwagen Masters: Cilindrada de motor 4000cc y potencia de 470 hp.
- FIA GT Championship y otras series con las regulaciones FIA GT.
- Le Mans Prototipos han basado restrictores pre calculados en función del tipo y el tamaño del motor y el combustible

1.3.3.2 Restricciones en Rallyes

Después del Grupo B los coches estaban fuera de la ley de los rallyes, ya que eran demasiado poderosos (se rumoraba que llegaban a 600 hp), demasiado rápidos y demasiado peligrosos, la FISA decidió que los coches de rally no deben tener más de 300 caballos de fuerza (220 kW). Durante un tiempo no se necesitaban restricciones especiales para eso; pero con el desarrollo en la década de 1990, los autos del Grupo A se rumorea que han llegado a 405 CV o más. Así que la FIA optó hacer obligatorio utilizar restricciones para motores sobrealimentados y turboalimentados en todas las categorías (World Rally Car, Grupo A y Grupo N).

1.3.3.3 Restricciones en NASCAR

NASCAR's Copa Sprint y Nationwide han utilizado placas limitadoras en el Daytona International Speedway y Talladega Superspeedway desde 1988. Todavía están en uso con la introducción de la unidad de control electrónica del motor McLaren que proporciona la gestión electrónica del motor para todas las carreras de NASCAR y coches en la temporada 2012 con el fin de eliminar los carburadores.

El dispositivo limita la potencia de salida del motor, por lo tanto, se obtiene una disminución de la aceleración y la velocidad máxima. NASCAR declaró que la placa de restricción reduce la potencia del motor de aproximadamente 750 caballos de fuerza a 430 caballos de fuerza.

Para la temporada 2012, las placas se atornillan limitando la corriente de aire por debajo del cuerpo de mariposa que se encuentra en el mismo lugar que los antiguos carburadores. ³⁵

1.3.3.4 Restricciones en Formula SAE

La competencia limita el cilindraje máximo del motor en 610 centímetros cúbicos además de una restricción de 20 mm en la boca de llenado a la entrada del motor. Todo ello ayudando a incrementar la seguridad dentro de la competencia, además de incentivar al desarrollo. ³⁶

1.3.4 Tipos de motores empleados en la competencia Formula SAE

Según las condiciones expuestas en el reglamento de la competencia, se debe tener un propulsor de cuatro tiempos que no exceda los 610 cc de desplazamiento, debido a ello existen varios tipos de motores que son comúnmente utilizados debido a sus características propias y a sus ventajas frente a sus rivales.

Los motores más idóneos son los que utilizan las motocicletas (las compañías que se destacan en la fabricación de estos motores son: Honda, Suzuki, Kawasaki, Yamaha), ya que son motores de alto performance y poseen altos regímenes de giro, no ocupan

³⁵ http://en.wikipedia.org/wiki/Restrictor_plate

³⁶ Reglamento Formula SAE 2014

demasiado espacio y su peso es relativamente bajo. Estos motores comúnmente son supercuadrados (diámetro pistón > carrera pistón) brindando la ventaja de tener menos perdidas por fricción, además de un bajo centro de gravedad. La alta relación de compresión también es un punto a favor de estos motores, permitiendo lograr mayor presión de combustión y expansión del volumen, lo que se traduce en un aumento de potencia en comparación con un motor de baja relación de compresión.

La mayoría de universidades buscan sobre todo la *fiabilidad* del motor. Al escoger un motor se debe tener presente cual es la filosofía del equipo: potencia o peso.

A continuación se exponen algunos de ellos:

1.3.4.1 Motores tetracilíndricos



Figura 1.22 Monoplaza Fsae con motor Honda CBR de 4 cilindros **Fuente:** http://www.racecar-engineering.com/wp-content/uploads/2012/11/FormulaStudentDIGI-opti.pdf

En la competencia del 2012 el 72% de los equipos poseían motores tetracilíndricos, la tendencia para los próximos años son los motores más pequeños o motores eléctricos.

Motores utilizados principalmente en motocicletas "super sport" de calle. Se caracterizan por su mayor fiabilidad con respecto a los demás; su mecánica que es muy amigable a los automotrices que no poseen mucha experiencia en motocicletas. Se caracterizan por tener mayor entrega tanto de potencia como torque (mayor número de cilindros mayor número de explosiones por revoluciones del cigüeñal).

Su gran tamaño compromete el diseño final del bastidor o chasis.

Las más representativas son:

- Honda CBR600 RR
- Suzuki GSX-R600
- Kawasaki ZX-6R
- Yamaha YZF-R600



Figura 1.23 Yamaha YZF-R6 2004 junto a su motor **Fuente:** http://www.sobreruedas.org/galerias/motos/yamaha/yzf-r6-2003-2005

Todos los motores tienen un rendimiento y diseño similares, a continuación las características de cada una:

Fabricante	Suzuki	Honda	Kawasaki	Yamaha
Modelo	GSX-R600	CBR600RR	ZX-6R	YZF-R6
Tipo	4 tiempos	4 tiempos	4 tiempos	4 tiempos
Cilindrada	600	599	636	600
Relación de	12,8:1	12:1	12,9:1	12,4:1
compresión	12,8:1	12.1	12,9.1	12,4.1
Sistema de	Liquido	Liquido	Liquido	Liquido
enfriamiento	Liquido	Liquido	Liquido	Liquido
Nro. cilindros	4	4	4	4
Nro. válvulas	16	16	16	16
Distribución	DOHC	DOHC	DOHC	DOHC

Tabla 1.1 Características mecánicas de diversos motores de motocicleta **Fuente:** Los autores

Modelo	Potencia máx.	Torque máx.	
Suzuki GSX-R600	88 KW @ 13,500 rpm	67.7 Nm @ 11,500 rpm	
Honda CBR-600RR	86 KW @ 13000 rpm	66 Nm @ 11000 rpm	
Kawasaki ZX-6R	84.9 kW @ 14,000rpm	65.2 Nm @ 11,500 rpm	
Yamaha YZF-R6	88.2kW @ 13,000rpm	66.4 Nm @ 12,000rpm	

Tabla 1.2 Rendimiento de diversos motores de motocicleta **Fuente:** Los autores

Ventajas	Desventajas
Potencia	Peso
Torque	Tamaño
Fiabilidad	Consumo de combustible
Mecánica	Complejidad

Tabla 1.3 Ventajas y desventajas de los motores tetracilíndricos **Fuente:** Los autores

1.3.4.2 Motores bicilíndrico



Figura 1.24 Swansea University, motor Yamaha Genesis de 2 cilindros **Fuente:** http://www.racecar-engineering.com/wp-content/uploads/2012/11/FormulaStudentDIGI-opti.pdf

En competencias del 2011 a 2012, el 70% de los equipos que utilizaron motores bicilíndrico montaron la marca Aprilla. Este motor es uno de los mejores para la competencia Formula SAE ya que tiene el mismo peso y volumen que un motor monocilíndricos pero con 20 caballos de fuerza más. Estos motores ofrecen una potencia de aproximadamente 56 KW, muy aceptables para su reducido peso. Una de las principales ventajas es su complejo mantenimiento y puesta a punto, se requiere de cierta experiencia en el manejo de este tipo de motores.

Otro motor bicilíndrico es el Yamaha Genesis que posee una ventaja única ante sus más cercanos rivales: posee transmisión continua variable (CVT, por sus siglas en inglés), que no necesita del cambio de marchas, lo cual resulta muy provechoso a la hora de conducir.

Modelo	Cilindraje	Potencia máx.	Torque máx.	Transmisión
Aprilia SXV	540 00	70 hp @ 13000	69.5 Nm @	Secuencial de 5
550	549 cc	rpm	10900rpm	marchas
Yamaha	400 00	80 hp @ 11000	ND	CVT
Genesis 80fi	499 cc	rpm	ND	CVI

Tabla 1.4 Rendimiento de diversos motores de motocicleta **Fuente:** Los autores

Ventajas	Desventajas
Potencia	Torque
Peso	Complejidad
Tamaño	Costo
Cambios de marcha	Disponibilidad
Consumo de combustible	Puesta a punto

Tabla 1.5 Ventajas y desventajas de los motores bicilíndricos **Fuente:** Los autores

1.3.4.3 Motores monocilíndricos



Figura 1.25 Equipo Modena, motor Husqvarna monocilíndrico **Fuente:** http://www.racecar-engineering.com/wp-content/uploads/2012/11/FormulaStudentDIGI-opti.pdf

Cada vez se va incrementando la utilización de estos motores, en el 2012 se duplicó con respecto al 2011. El motor monocilíndrico de preferencia es el KTM, con una enorme ventaja por su reducido peso, pero varios puntos en contra como costo, baja potencia y poca fiabilidad. El mantenimiento en estos motores es mucho más barato y fácil que el de 4 cilindros³⁷.

Estos motores comúnmente se utilizan en motos de enduro como por ejemplo la Honda CRF 450R.

Modelo	Cilindraje	Potencia máx.	Torque máx.	Transmisión
KTM 525 EXC	510.4 cc	44 hp @ 7250	35 lb-ft @	Secuencial de 6
K1M 525 EXC 510.4 cc		rpm	10900rpm	marchas
Honda CRF	440.7	51 Cv @ 8.500	47,7 Nm @	Secuencial de 5
450r	449,7 cc	rpm	6.500 rpm	marchas

Tabla 1.6 Rendimiento de diversos motores de motocicleta **Fuente:** Los autores

 $^{37} http://www.racecar-engineering.com/wp-content/uploads/2012/11/FormulaStudentDIGI-opti.pdf\\$

Ventajas	Desventajas
Peso	Potencia
Tamaño	Torque
Consumo de combustible	Costo
Fácil mantenimiento	fiabilidad

Tabla 1.7 Ventajas y desventajas de los motores monocilíndricos **Fuente:** Los autores

1.4 Elección del motor:

Se ha visto conveniente la utilización de un motor de cuatro cilindros de una motocicleta Yamaha FZR600 del año 1992 por las ventajas expuestas de los motores tetra cilíndricos, más que todo debido a la disponibilidad y bajo precio dentro del mercado ecuatoriano.

1.4.1 Características Técnicas del Motor Yamaha FZR 600

Marca:	Yamaha
Modelo:	FZR 600
Estilo:	Sport
Año:	1992
Tipo de Motor:	599 cc, Refrigerado por Liquido, 4 - Cilindros en
	línea, 4 Tiempos
Cilindro/Separación:	59 mm x 54.8 mm
Relación de Compresión	12:1
Válvulas:	DOHC, 4 Válvulas por cilindro
Sistema de Combustible:	Mikuni BDST32 x4
Encendido:	Transistor controlled (digital)
Potencia:	76 hp @ 10000 rpm
Torque:	45 Nm @ 8250 rpm

Tabla 1.8 Características Técnicas Motor Yamaha FZR 600 **Fuente:** http://heath.agdog.com/fzr/specifications/

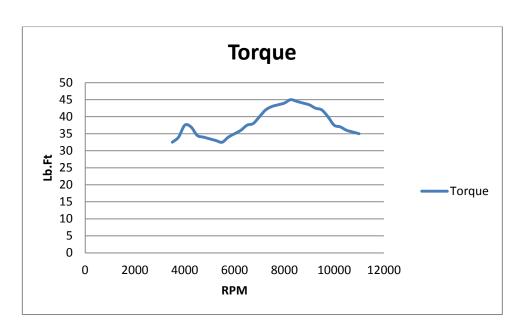


Figura 1.26 Características Técnicas del Motor Yamaha FZR 600 **Fuente:** http://heath.agdog.com/fzr/specifications/

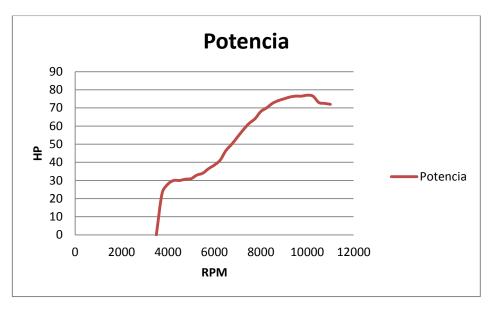


Figura 1. 27 Características Técnicas del Motor Yamaha FZR 600 Fuente: http://heath.agdog.com/fzr/specifications/

1.5 Estudio del sistema de reprogramación y control de parámetros de motor

1.5.1 Principio de trabajo del sistema de reprogramación

La reprogramación electrónica radica en modificar parámetros de funcionamiento del motor como son; tiempo de inyección, avance al encendido, control de ralentí, etc. Con

la finalidad de adaptar el motor a las necesidades del vehículo, la competencia, el objetivo del equipo técnico.

Las modificación en los parámetros de funcionamiento del motor su pueden cuantificar en tiempo real con el uso de un banco dinamométrico, donde en base a los resultados obtenidos se variara los valores de las tablas de programación (figura 1.27). Hasta conseguir la afinación correcta del motor.

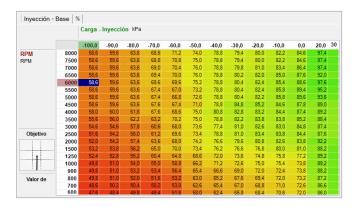


Figura 1.28 Tabla de programación Fuente: Software Haltech

La reprogramación de los parámetros de funcionamiento de un motor se justifica; cuando se ha realizado una modificación en la constitución del motor o alguno de los subsistemas, con el fin de adaptar este, a los nuevos requerimientos.

1.5.2 Elección del sistema reprogramable

Una vez analizado las diferentes marcas de computadoras reprogramables en el mercado se ha optado por la elección del sistema reprogramable Haltech Platinum sport 1000 (Figura 1.28) por razones tales como:



Figura 1.29 ECU HaltechPlatinium Sport 1000 **Fuente:** http://www.haltech.com/product/platinum-sport-series/the-platinum-sport-1000/

1.5.2.1 Fiabilidad

Por estar fabricada con componentes de alto rendimiento. Haltech es una marca de sistemas reprogramables con buen prestigio a nivel mundial y local utilizada frecuentemente en vehículos de rally pero con un amplio campo de aplicación lo que nos garantiza un correcto funcionamiento del sistema como controlador del motor hasta las 16000 rpm.

1.5.2.2 Disponibilidad y Garantía

La marca Haltech cuanta con un representante comercial y técnico para Ecuador, por lo que al adquirir cualquier producto de esta marca contamos con asesoría técnica, una garantía de 1 año y disponibilidad inmediata de cualquier componente. Tales beneficios no se pueden conseguir con otros sistemas de reprogramación.

1.5.2.3 Facilidad de programación

El sistema reprogramable de la computadora Haltech Platinium Sport 1000 es sencillo de utilizar ya que combina una programación numérica con una interfaz gráfica donde se modifica los valores con los que vamos a controlar el motor. Su software está en español (figura 1.30) comunicamos la computadora a las PC mediante un puerto USB.



Figura 1.30 Software Haltech ECU Manager
Fuente: Software Haltech

1.5.3 Características del sistema reprogramable Haltech Sport 1000

Una vez que se analizó todas las características de la ECU elegida se procede a citar las características más importantes y de mayor relevancia para nuestra aplicación:

1.5.3.1 Características generales

Características Del Sistema Reprogramable Haltech Sport 1000			
Características generales	Tipo de señal de disparo	Configuración de encendido	
• Apto para controlar	Sensor de efecto Hall		
motores de pistón: 1, 2, 3,	Sensor óptico	Distribuidor Individual	
4,5 6 y 8 cilindros	Reluctor magnético	Distribuidor doble	
• Max RPM de	inductivo	Secuencial	
funcionamiento: 16.000		Semi-secuencial	
• Puntos del mapa con			
rango de RPM variable.			
• Fuente de alimentación:			
8,6 a 16,5 voltios CC.			
• Comunicación USB ECU-Ordenador			

Modo de disparo inyector	Entradas ECU	Salidas ECU
Secuencial	• Sensor de posición del	• Controladores para 4
Multipunto	cigüeñal	inyectores
• Por etapas	• Sensor de posición de la	• Controladores para 4
	leva	bobinas de encendido
	• Sensor MAP (1, 2, 3, 4, 5	• Control del relé de la
	Bar)	bomba de combustible
	• Posición del acelerador	• Salidas de pulsos
	(tipo potenciómetro)	digitales (x4)
	• Temperatura del	• El control del ralentí
	refrigerante	(IAC)
	• Temperatura del Aire	
	• Presión barométrica	
	• Sensor de oxígeno	
	• Velocidad de carretera	
	• Entradas de tensión	
	analógicas (x4)	
	• Entrada de pulsos	
	digitales (x3)	

Tabla 1. 9 Características Técnicas Motor Yamaha FZR 600 **Fuente:** Software Haltech

1.5.3.2 Sistema de monitoreo Haltech IQ3 DisplayDash

La pantalla de visualización digital Haltech IQ3 reemplaza todos los indicadores analógicos de manera sencilla. Toma toda su información directamente de la ECU atreves de una conexión CAN y se alimenta de la misma.

La pantalla IQ3 es totalmente configurable por el usuario en sus propiedades de pantalla y la luz de aviso de iluminación lo que es una necesidad para adecuarse a las necesidades del piloto y garantizar que la vista este concentrada en la pista³⁸.



Figura 1.31 Pantalla de visualización digital Haltech IQ3 **Fuente:** Display Dash with Haltech Interface Installation Manual

1.5.3.3 Características:

- 28 elementos programables en 4 páginas
- Luces de cambio secuenciales programables

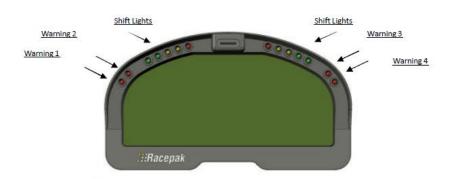


Figura 1.32Descripción-pantalla de visualización digital Haltech IQ3 **Fuente:** Display Dash with Haltech Interface Installation Manual

- 4 luces de aviso programables con advertencia de texto en pantalla
- 5 caracteres programables alpha / numérico y texto por canal de visualización

-

³⁸http://www.haltech.com/product/dashes-and-data/

- Dos entradas programables de pulsador
- Pantalla blindada antideslumbrante revestido para la visión de la luz solar
- Luz de fondo azul
- Indicador de marchas
- Conexión CAN con la ECU y USB con el ordenador

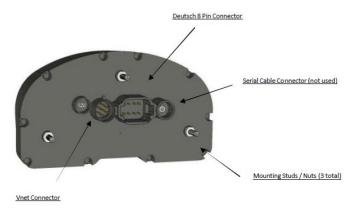


Figura 1.33 Descripción-pantalla de visualización digital Haltech IQ3 **Fuente:** Display Dash with Haltech Interface Installation Manual

Medidas externas:

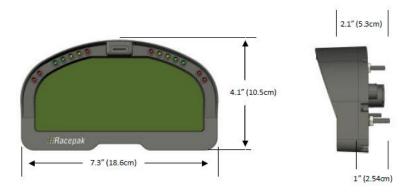


Figura 1.34 Medidas externas-pantalla de visualización digital Haltech IQ3 **Fuente:** Display Dash with Haltech Interface Installation Manual

CAPÍTULO II. DISEÑO, CONTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL COLECTOR DE ADMISIÓN, ACORDE AL REGLAMAETO DE LA COMPETENCIA.

2.1 Reconocimiento de la necesidad

El desarrollo de la investigación parte de la necesidad de contar con un diseño debidamente evaluado que se adapte a las normas y necesidades establecidas por el reglamento de la F-SAE ante la restricción de entrada de aire impuesta hacia el motor.

2.2 Definición del problema

La admisión de aire debe ingresar solamente a través de una única restricción circular situada después del acelerador y antes del motor, tomando en cuenta que el diámetro de la restricción debe ser de 20 mm para los vehículos impulsados por gasolina debe tener las siguientes características que optimicen su diseño y construcción:

- a) El flujo hacia los cilindros deberá ser lo más directo posible.
- b) Las cantidades de flujo entregadas a cada cilindro deberán ser iguales.
- c) Se debe procurar proveer de una carga uniforme a cada cilindro, con una mezcla homogénea entre cada uno.
- d) Los intervalos de aspiración deberán ser idénticos para cada ramificación del colector de entrada.
- e) Reducir la fricción en las paredes del conducto de admisión.
- f) Disponer de un orificio para medir la presión de carga a los cilindros.
- g) Disponer de un orificio para medir la temperatura de entrada de aire en los cilindros.
- h) En el diseño del colector se debe considerar criterios como:
 - Tipo de colector o forma geométrica
 - Volumen del colector
 - Diámetro y longitud de los ductos
 - Ubicación de los inyectores
 - Material a emplear
 - Limitaciones del espacio en el chasis
 - Peso

- Costo de elaboración
- Facilidad de construcción

2.3 Síntesis

2.3.1 Introducción

No existen expresiones matemáticas verdaderamente precisas para determinar el volumen de distribución de aire, la mayoría de los vehículos de carretera utilizan un 60-80 por ciento del volumen del motor, vehículos de carreras puede ser tan bajo como 50 por ciento. Considerando que volúmenes pequeños reducirán el número de revoluciones del par máximo y grandes volúmenes aumentan el par máximo.

Para obtener datos reales del motor se ve preciso sacar información del mismo, para el caso se va a considerar la velocidad de ingreso de aire en cada cilindro y sacar un promedio de las mediciones de los 4 cilindros, teniendo en cuenta que cada dato que se toma es realizado a diferentes regímenes de rpm del motor.

Con ayuda de sensores MAP instalados en el interior de la cámara de combustión se va a determinar la presión real del motor en la fase de admisión, dichas señales serán transmitidas al software Matlab-Simulink utilizando como interfaz una tarjeta de comunicación Arduino donde las señales de voltaje obtenidas serán interpretadas como salidas de presión.

Con la recolección de los diferentes datos obtenidos en las mediciones, se va a considerar las distintas variables que van a actuar en el proceso de inducción de aire del motor como resistencia neumática, capacitancia, presiones del cilindro y restricción de 20 mm, con el fin de obtener un volumen adecuado del colector de admisión para un funcionamiento óptimo del motor en bajas y altas revoluciones.

Una vez obtenido el volumen del colector se va a diseñar la forma geométrica de distintos modelos, en el cual el fluido se comporte de mejor manera, para el caso se empleara software de dinámica de fluidos, con el fin de ver el comportamiento del aire en el interior del colector y poder seleccionar el modelo más adecuado para llevarlo a su construcción.

2.3.2 Adquisición de datos

Una vez alcanzada la temperatura de funcionamiento del motor se realizaron varias mediciones para verificar las condiciones y prestaciones que se requieren el nuevo colector de admisión como es medir la velocidad de entrada de aire hacia el motor en cada uno de los cilindros con la utilización del anemómetro.



Figura 2.1 Velocidad de entrada de aire hacia el motor **Fuente:** Los Autores

Velocidad (m/s)							
RPM Cilindro 1 Cilindro 2 Cilindro 3 Cilindro							
2000	2,279394	2,90511	2,68164	3,35205			
3000	2,502864	2,949804	2,90511	3,35205			
4000	3,620214	3,79899	3,933072	4,335318			
5000	5,184504	5,542056	4,782258	5,318586			

Tabla 2.1 Velocidad de entrada de aire hacia el motor **Fuente:** Los Autores

Posteriormente con el uso del vacuómetro se realizó una medición del vacío en uno de los cilindros del motor a distintos regímenes de revolución.

RPM	Vacío(in Hg)
2000	10
3000	8
4000	7
5000	6,5

Tabla 2.2 Vacío del motor **Fuente:** Los Autores

Finalmente con los resultados obtenidos se puede encontrar la necesidad de flujo másico que el motor requiere.

Datos:

Densidad del Aire: 0,9537 kg/m^{3 39}

Diámetro: 32mm.

Flujo másico Kg/s							
rpm	Cilindro 1	Cilindro 2	Cilindro 3	Cilindro 4			
2000	0,00174832	0,00222825	0,00205685	0,00257106			
3000	0,00191972	0,00226253	0,00222825	0,00257106			
4000	0,00277674	0,00291386	0,00301671	0,00332523			
5000	0,00397657	0,00425081	0,00366804	0,00407941			

Tabla 2.3 Flujo másico del motor calculado **Fuente:** Los Autores

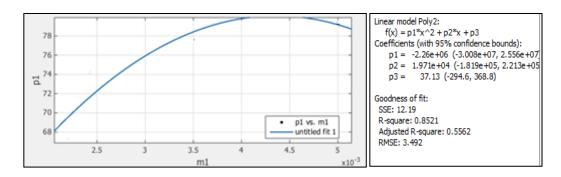


Figura 2.2 Flujo másico – Presión (Kg/s/ KPa) **Fuente:** Los Autores

Y la presión generada por el motor en el cilindro 1 del motor

RPM	Kpa	Atm-Kpa	PSI	
2000	33,86375	67,46125	9,7844271	
3000	27,091	74,234	10,7667314	
4000	23,704625	77,620375	11,2578836	
5000	22,0114375	79,3135625	11,5034597	

Tabla 2.4 Presión en el interior del cilindro **Fuente:** Los Autores

 $^{39}\ http://www.inti.gob.ar/cirsoc/pdf/102/comentarios/tablasC102.pdf$

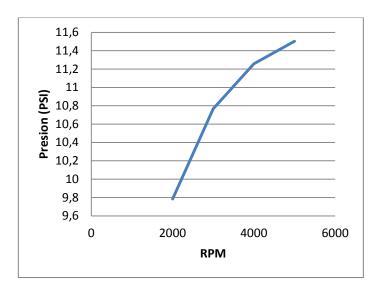


Figura 2.3 Presión en el interior del cilindro **Fuente:** Los Autores

Para realizar un análisis del comportamiento del fluido en el motor se procedió a medir la presión absoluta generada por el mismo, con la utilización de dos sensores MAP el uno ubicado para detectar la presión absoluta generada por el pistón en el interior de la cámara de combustión y el otro en la capacitancia del carburador, para luego los datos ser enviados por la tarjeta Arduino al Software Matlab – Simulink donde son procesados y pueden ser visualizados en la pantalla de un ordenador.



Figura 2.4 Tarjeta de adquisición de Datos Arduino **Fuente:** Los Autores



Figura 2.5 Ubicación del Sensor MAP para captar el vacío de la cámara de combustión **Fuente:** Los Autores

2.3.2.1 Curvas Características del Sensor MAP

La aproximación fue realizada a partir de los resultados obtenidos en un sensor MAP de un vehículo Chevrolet Corsa 1300 cm³.

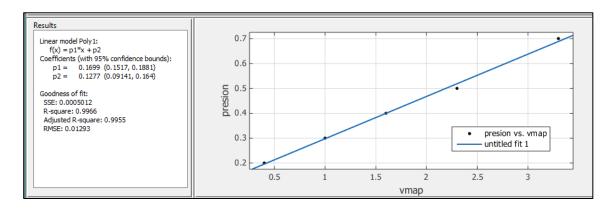


Figura 2.6 Curva Característica del Sensor MAP Fuente: Los Autores

2.3.2.2 Mediciones Obtenidas

Aquí se representa la variación de presión en el interior del cilindro durante la fase de arranque del motor.

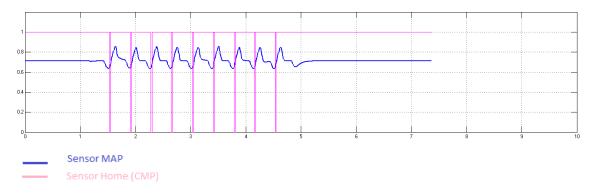


Figura 2.7 Presión en el Interior del Cilindro (KPa-tiempo) **Fuente:** Los Autores

En la presente se puede visualizar la variación de presión que se da en las proximidades de la cámara de combustión, producto del salto de presiones a través de la válvula de admisión en las mismas condiciones de funcionamiento del motor.

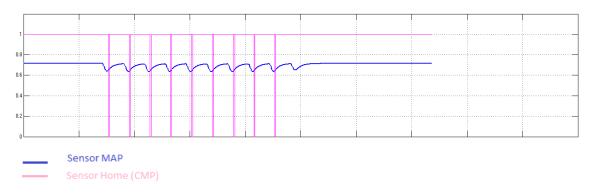


Figura 2.8 Presión en la Capacitancia del Carburador (KPa-tiempo) **Fuente:** Los Autores

Como es normal, al aumentar el régimen de giro del motor las fluctuaciones no estacionarias que dependen esencialmente del salto de presiones a través de la válvula se van haciendo menores⁴⁰ y se obtienen los siguientes resultados.

_

⁴⁰ PAYRY, F: *Motores de Combustión Interna Alternativos*, Editorial Reverte, 2011

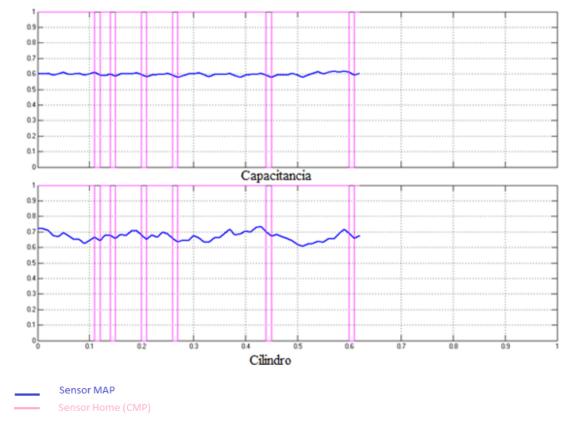


Figura 2.9 Presión en el Interior del Cilindro (KPa-tiempo) **Fuente:** Los Autores

A continuación tratamos de hacer funcionar el motor bajo los distintos regímenes de velocidades del motor, obteniendo los siguientes resultados.

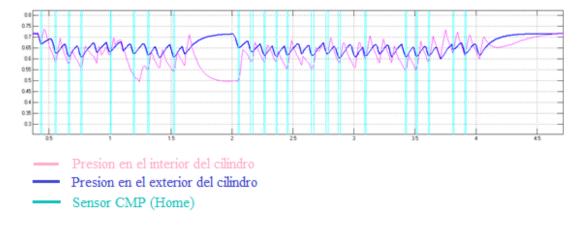


Figura 2.10 Presión en el interior y exterior del cilindro del motor a diferentes regímenes del motor **Fuente:** Los Autores

Con la diferencia de presiones se puede encontrar la restricción que provoca la válvula de admisión al paso de aire desde el ambiente hacia el interior del motor y se la calculara más adelante.

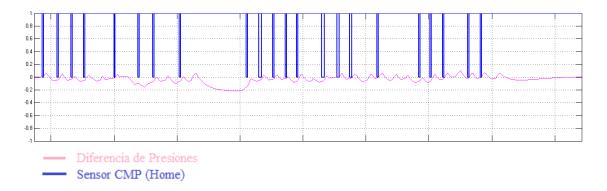


Figura 2.11 Diferencia de presión en el interior y exterior del motor a diferentes regímenes de funcionamiento

Fuente: Los Autores

2.3.3 Modelado

Una vez obtenidos los datos necesarios en el inciso anterior se procede a realizar un modelado matemático basándose en un análisis de sistemas neumáticos. El objetivo del modelado matemático es realizar una predicción del funcionamiento de un sistema antes de que se diseñe o se construya, tal proceso se basa en una descripción matemática de las características dinámicas del sistema; la mayoría de los modelos matemáticos que resultan útiles se describen en términos de ecuaciones diferenciales.

2.3.3.1 Desarrollo del Modelado

El primer paso a desarrollar es realizar una descripción gráfica del modelo físico al que está sometido nuestro análisis en el cual interceden dos resistencias neumáticas; R_1 que representa la resistencia neumática provocada por la restricción de entrada de aire al motor y R_2 que representa la resistencia neumática de la válvula de admisión.

La capacitancia C_1 determina el volumen del colector de admisión y C_2 describe una capacitancia producida por el movimiento del pistón, que va desde el punto muerto superior hasta el punto muerto inferior.

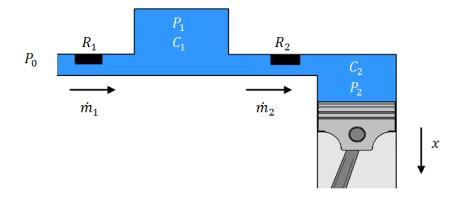


Figura 2.12 Diagrama esquemático del Sistema. Fuente: Los Autores

El flujo másico a la entrada del sistema es representado por m_1 y el gasto másico a la entrada de la cámara de combustión es representado por m_2 , asimismo P_2 representa una presión variable en el interior de la cámara de combustión.

2.3.3.2 Ecuaciones Fundamentales para modelado en sistemas neumáticos.

El modelo está basado en las siguientes ecuaciones fundamentales descritas a continuación.

Elementos	Representación Gráfica	Ecuación Fundamental		
Tanques	$ \frac{\dot{m}_e}{\longrightarrow} $ C_n P \dot{m}_s \longrightarrow	$\sum \dot{m} = C_n \frac{dP}{dt}; \ \dot{m}_e - \dot{m}_s = C_n DP$		
Ductos	$P_{n} \xrightarrow{m} P_{n}$ R_{n}	$\dot{m} = \frac{\Delta P}{R_n}; \ \dot{m} = \frac{P_e - P_s}{R_n}$		

Tabla 2.5 Ecuaciones Sistemas Neumáticos

Fuente: http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/djean/index_archivos/Documentos/Teoria_Control.pdf

$$\dot{\Sigma m} C_n \frac{dP}{dt} = \dot{m}_1 - \dot{m}_2$$

1)
$$\dot{m}_1 - \dot{m}_2 = C_1 \cdot \dot{P}_1$$

2)
$$\dot{m}_1 = \frac{P_0 - P_1}{R_1}$$
 -----> $P_0 = 0$ (Presion Manométrica)

3)
$$\dot{m}_1 = -\frac{P_1}{R_1}$$

4)
$$\dot{m}_2 = \frac{P_1 - P_2}{R_2}$$

5) $\dot{m}_2 = C_2 \cdot \dot{P}_2$

$$5) \ \dot{m}_2 = C_2 \cdot \dot{P}_2$$

$$-\dot{m}_2 = C_1 \cdot \dot{P}_1 - \dot{m}_1$$

$$-\dot{m}_2 = C_1 \cdot \dot{P}_1 - (-\frac{P_1}{R_2})$$
 Introduciendo la ecuación 2 en 1

$$-\dot{m}_2 = C_1 \cdot \dot{P}_1 + \frac{P_1}{R_1}$$

$$-m_{2(s)} \cdot s = C_1 \cdot P_{1(s)} \cdot s + \frac{1}{R_1} P_{1(s)}$$

$$-m_{2(s)} \cdot s = P_{1(s)}(C_1 \cdot s + \frac{1}{R_1})$$

$$P_{1(s)} = -\frac{s}{\left(C_{1(s)} \cdot s + \frac{1}{R_1}\right)} \cdot m_{2(s)}$$

$$P_1 - P_2 = \dot{m}_2 \cdot R_2 \tag{Ecuación 4}$$

$$P_1 = P_2 + \dot{m}_2 \cdot R_2$$

$$P_{1(s)} = m_{2(s)} \cdot s \cdot R_2 + P_{2(s)}$$

$$m_{2(s)} \cdot s \cdot R_2 + P_{2(s)} = -\left(\frac{s}{C_{1(s)} \cdot s - \frac{1}{R_1}}\right) \cdot m_{2(s)}$$

$$P_{2(s)} = -\left(\frac{s}{C_{1(s)} \cdot s + \frac{1}{R_1}}\right) \cdot m_{2(s)} - R_2 \cdot m_{2(s)} \cdot s$$

$$P_{2(s)} = \left[-\left(\frac{R_1 \cdot s}{R_1 \cdot C_{1(s)} + 1} \right) - R_2 \cdot s \right] \cdot m_{2(s)}$$

$$P_{2(s)} = (-\frac{R_1 \cdot s + (R_1 \cdot C_{1(s)} + 1) \cdot R_2 \cdot s}{R_1 \cdot C_{1(s)} + 1}) \cdot m_{2(s)}$$

$$m_{2(s)} = \left(\frac{R_1 \cdot C_{1(s)} + 1}{R_1 \cdot s + R_1 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot s^2 + R_2 \cdot s}\right) P_{2(s)}$$

$$m_{2(s)} = -\frac{R_1 \cdot C_{1(s)} + 1}{R_1 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot s^2 + (R_1 + R_2) \cdot s} \cdot P_{2(s)}$$

Extrayendo el Factor Común

$$m_{2(s)} = -\left(\frac{R_1 \cdot C_{1(s)} + 1}{R_1 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot s + (R_1 + R_2)}\right) \cdot \left(\frac{1}{s}\right) \cdot P_{2(s)}$$

$$\begin{array}{c|c}
\hline
P_2 \\
\hline
R_1 \cdot C_{1(s)} + 1 \\
\hline
R_1 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot s + (R_1 + R_2) \\
\hline
\end{array}
\cdot P_{2(s)}$$

$$\begin{array}{c|c}
\dot{m}_2 \\
\hline
\end{array}
\left(\frac{1}{s}\right)$$

$$\frac{R_1 \cdot C_{1(s)} + 1}{R_1 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot s + (R_1 + R_2)} \cdot P_{2(s)}$$

Dividiendo todo para R₁+R₂

$$m_{2(s)} = -\left(\frac{\frac{R_1 \cdot C_1 s + 1}{(R_1 + R_2)}}{\frac{R_1 \cdot R_2 \cdot C_1}{(R_1 + R_2)} \cdot s + 1}\right) \cdot \left(\frac{1}{s}\right) \cdot P_{2(s)}$$

En donde la constante de tiempo es:

$$\tau = \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot C_1}{(R_1 + R_2)}$$

Y el factor de amplificación estacionaria es:

$$k = \frac{1}{(R_1 + R_2)}$$

2.3.3.3 Obtención de coeficientes

La razon de flujo de masa q es proporcional a la raiz cuadrada de la diferencia de presion 41 $\Delta P=p_i-p_0$

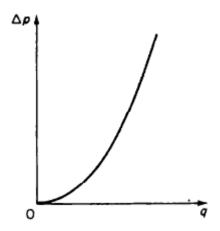


Figura 2.13 Curva de diferencia de presión, contra la razón de flujo de masa **Fuente:** KATSUHIKO, Ogata: Dinámica de Sistemas, Editorial Prentice- Hall, México, 1987

2.3.3.4 Calculo de la resistencia neumática provocada por la restricción.

La resistencia neumática puede definirse como, el cambio en la presión diferencial necesaria para hacer un cambio unitario en la razón de flujo de masa (kg/s).

Resistencia
$$R = \frac{cambio\ en\ la\ presion\ diferencial}{cambio\ en\ la\ razon\ de\ flujo\ de\ masa}\,\frac{N/m^2}{kg/s}$$

Por lo tanto la resistencia R puede expresarse como

$$R = \frac{d(\Delta p)}{dq}$$

Donde $d(\Delta p)$ es un cambio en la presion diferencial y dq es un cambio en la razon de flujo de masa.

⁴¹ KATSUHIKO, Ogata: *Dinámica de Sistemas*, Editorial Prentice- Hall, México, 1987

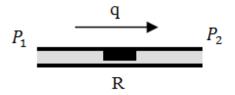


Figura 2.14 Resistencia Neumática Fuente: Los Autores

2.3.3.4.1 Obtención de la Resistencia Neumática 1

Con las mediciones obtenidas se procede a obtener la siguiente gráfica.

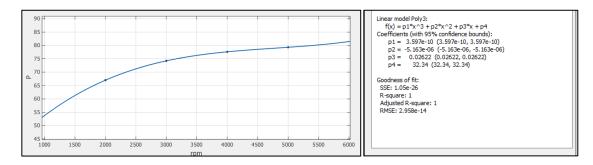


Figura 2.15 Presión en función de RPM Fuente: Los Autores

La grafica descrita anteriormente nos permite encontrar la relación entre gasto másico y revoluciones por minuto.

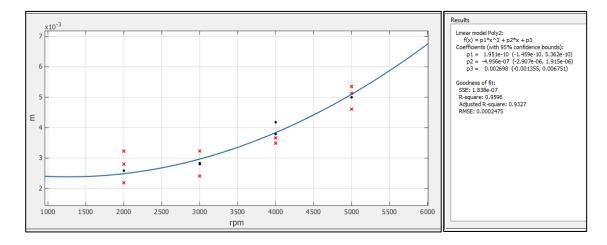


Figura 2.16 Flujo másico – RPM Fuente: Los Autores

Posteriormente se encuentra la relación existente entre la presión y el flujo másico.

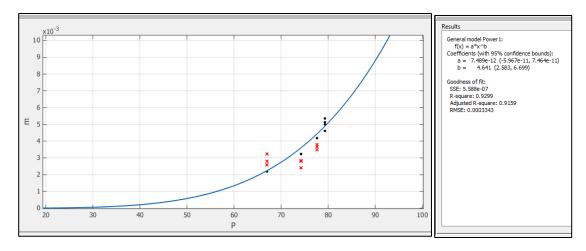


Figura 2.17 Presión - Flujo másico Fuente: Los Autores

En la siguiente se muestra una representación tridimensional del comportamiento tridimensional del flujo másico con respecto a la diferencia de presión en el colector de admisión y el cilindro del motor, a diferentes revoluciones por minuto.

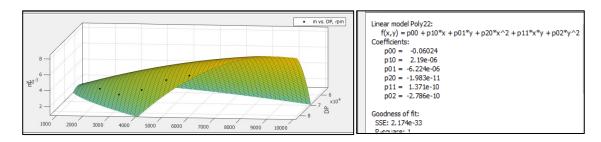


Figura 2.18 Mapa Tridimensional (Presión -Flujo másico – RPM) **Fuente:** Los Autores

Por consiguiente se encuentra la resistencia neumática en función de las rpm, se debe considerar que la resistencia neumática desciende al aumentar el número de revoluciones.

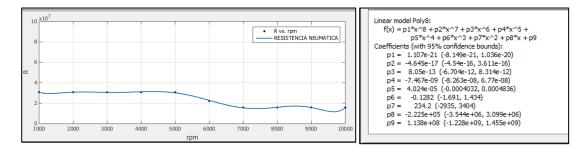


Figura 2.19 Resistencia Neumática en función de RPM **Fuente:** Los Autores

M	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000
RPM									
<u>5</u>	3.0806	3.0805	3.0804	3.0803	2.2241	1.5862	1.5861	1.5861	1.5860
R ₁ (1.0e+0									

Tabla 2.6 Resistencia 1 en función de las rpm **Fuente:** Los Autores

2.3.3.4.2 Obtención de la Resistencia Neumática 2

En este punto se puede obtener la resistencia neumática 2 provocada por la válvula de admisión.

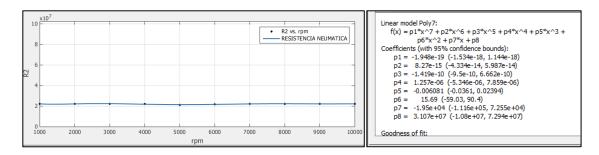


Figura 2.20 Resistencia Neumática 2 en función de RPM Fuente: Los Autores

RPM	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000
$R_2 $ (1.0e+07)	2.2285	2.2280	2.2274	2.2200	2.1283	2.1829	2.2284	2.2283	2.2283

Tabla 2.7 Resistencia 1 en función de las rpm **Fuente:** Los Autores

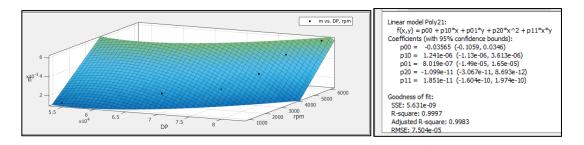


Figura 2.21 Mapa Tridimensional (Presión -Flujo másico – RPM) **Fuente:** Los Autores

2.3.3.5 Calculo de la capacitancia 1 (C₁)

La capacitancia neumática puede definirse como el cambio en la masa de aire en el recipiente, requerido para hacer un cambio unitario en la presión.

$$Capacitancia = \frac{cambio\ en\ la\ masa\ de\ aire}{cambio\ en\ la\ presion} = \frac{kg}{N/m^2}$$

La cual puede expresarse como:

$$C = \frac{dm}{dp} = V \frac{d\rho}{dp}$$

Donde,

m = masa de aire en el recipiente

p = presión absoluta del aire

V = Volumen del recipiente

 ρ = densidad de la masa de aire

Tal capacitancia puede calcularse, mediante el uso de la ley de gas perfecto.

$$p \cdot v = \frac{p}{\rho} = \frac{\overline{R}}{M} = R_{aire} T$$

 \overline{R} = constante del gas universal (N-m / kg-mol K)

 R_{aire} = constante de gas del aire (N-m / kg- K)

T = Temperatura absoluta del aire (K)

Si el cambio de estado del aire es entre isotérmico y adiabático, entonces el proceso de expansión puede expresarse como politrópico y puede darse mediante.

$$\frac{p}{\rho^n} = constante$$

Donde

n = exponente politrópico

$$\frac{d\rho}{dp} = \frac{\rho}{np}$$

$$\frac{d\rho}{dp} = \frac{1}{nR_{aire}T}$$

$$C = \frac{V}{nR_{aire}T}$$

$$C = \frac{V}{nRT}$$

A continuación se presentan los datos

 $V_{cilindro} = 0.000599 \text{ m}^3$

 $R=287\ Nm/kg\ K$

T = 290 K

N = 1.02 Proceso politrópico

$$C = \frac{0.000599}{1.02 * 287 * 290}$$

C = 7.05E-9

 $R_1 = 3.0803E7$

 $R_2 = 2.2200E7$

$$\begin{split} m_{2(s)} &= - \left(\frac{\frac{R_1 \cdot C_1 s + 1}{(R_1 + R_2)}}{\frac{R_1 \cdot R_2 \cdot C_1}{(R_1 + R_2)} \cdot s + 1} \right) \cdot \left(\frac{1}{s} \right) \cdot P_{2(s)} \\ m_{2(s)} &= - \left(\frac{0.00000000041s + 0.00000000189}{0.091s + 1} \right) \cdot \left(\frac{1}{s} \right) \cdot P_{2(s)} \end{split}$$

En donde la constante de tiempo es:

$$\tau = 0.091$$

Y el factor de amplificación estacionaria es:

$$k = 0.000000189$$

2.3.4 Comportamiento del sistema modelado

Tres características principales gobiernan el sistema de control: la estabilidad, la exactitud y la velocidad de respuesta. Se debe obtener una capacitancia que permita obtener una respuesta con un equilibrio entre las tres diferentes características mencionadas anteriormente.

Una vez obtenido el modelo final, se puede formular el análisis de tal manera que los parámetros del sistema en el modelo se variarán para producir diferentes soluciones.

Con la función de transferencia que define el sistema se podrá obtener un comportamiento físico lo más parecido a la realidad con la ayuda del software especializado Simulink.

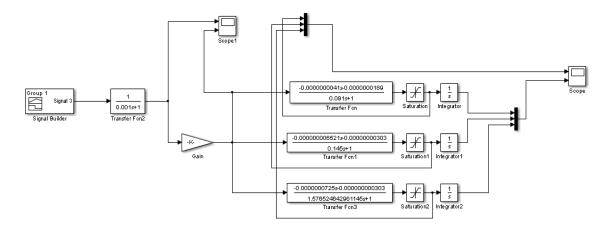


Figura 2. 22 Diagrama de bloques en Simulink Fuente: Los Autores

El diagrama posee tres funciones de transferencia: la primera representa el sistema original del motor, el segundo la capacitancia ideal con restricción y por último el tercero una capacitancia arbitraria con restricción. Con este sistema se podrá verificar el comportamiento de cada función, para luego realizar una comparativa y determinar la mejor opción.

Empezamos ingresando entradas al sistema con diferentes capacitancias para determinar su comportamiento; para luego escoger la capacitancia que brinde el mayor rendimiento: alta velocidad de respuesta y estabilización en un corto periodo de tiempo.

Según mediciones anteriores se determina una depresión promedio en el cilindro, la cual nos sirve de entrada al sistema.

El siguiente gráfico comparamos la respuesta que brinda el colector de admisión con y sin restricción, apreciando claramente la disminución del gasto másico que ingresa al interior del cilindro producido por la restricción.

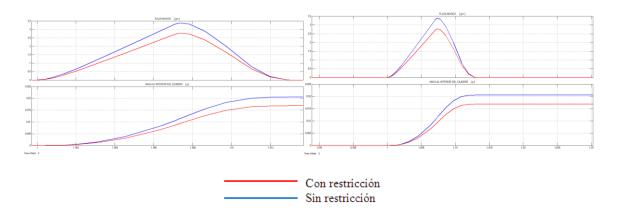


Figura 2.23 Respuesta a un impulso de -60 KPa Fuente: Los Autores

Se puede hacer una comparativa con respecto a las respuestas brindadas con diferentes capacitancias, dándonos una perspectiva visual del comportamiento del flujo másico a la entrada del cilindro. A continuación tenemos varias respuestas a las diferentes capacitancias.

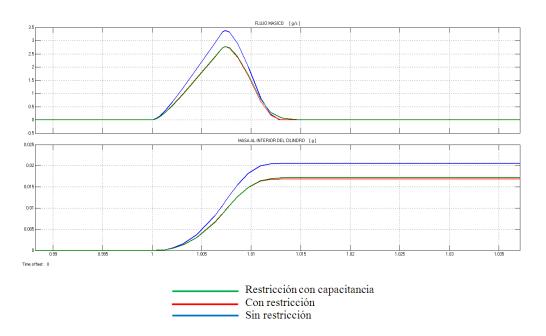


Figura 2.24 Respuesta a diferentes capacitancias Fuente: Los Autores

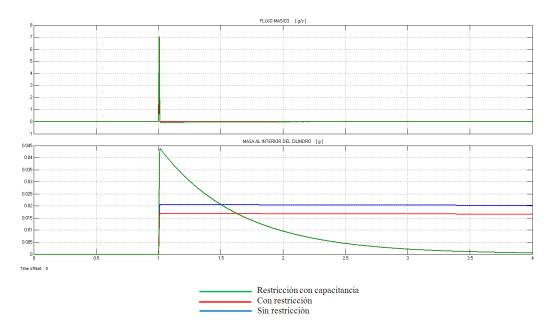


Figura 2. 25 Respuesta una capacitancia alta Fuente: Los Autores

La respuesta brindada por un colector con restricción y capacitancia alta (línea verde) se aprecia en la gráfica anterior. La cantidad de flujo másico que ingresa en el cilindro es alto pero inmediatamente sufre una caída abrupta que tiende a cero. La respuesta brindada no cumple con las expectativas, se necesita que el flujo másico sea alto pero transitoriamente estable.

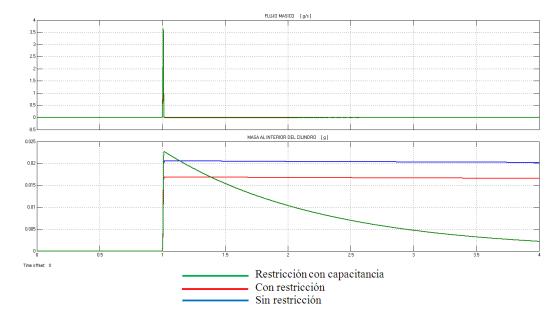


Figura 2. 26 Respuesta a respuesta medianamente alta Fuente: Los Autores

La capacitancia en este caso tambien es alta, obteniendo una respuesta que no se estabiliza con el transcurrir del tiempo.

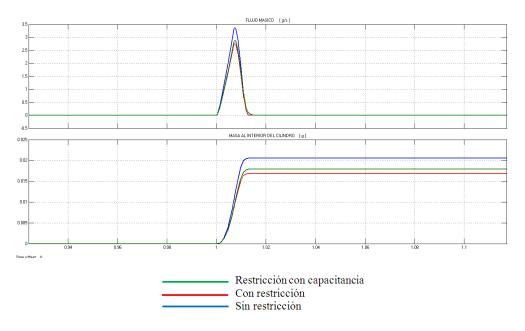


Figura 2. 27 Respuesta en el cilindro con capacitancia moderada **Fuente:** Los Autores

Se aprecia una capacitancia cerca de la ideal, pero le falta mayor cantidad de flujo en la fase de estabilizacion.

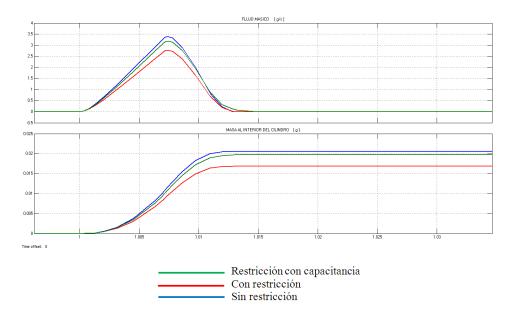


Figura 2. 28 Respuesta con la mejor capacitancia Fuente: Los Autores

El volumen óptimo según las exigencias requeridas es de 6.10 litros, del cual se puede obtener un alto flujo másico dentro del interior del cilindro junto con una rápida y estable respuesta. A continuación se procederá a diseñar el colector con el volumen indicado anteriormente, con este se podrá obtener mayor masa de aire que con una adecuada dosificación se traduce en alto torque.

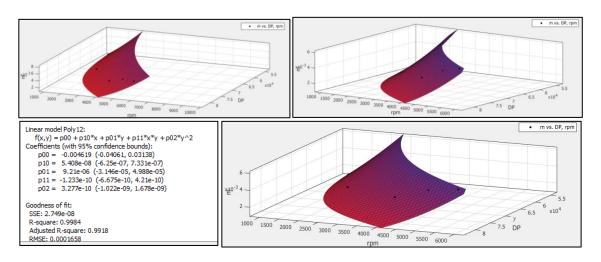


Figura 2. 29 Masa de aire vs rpm vs diferencia de presión Fuente: Los Autores

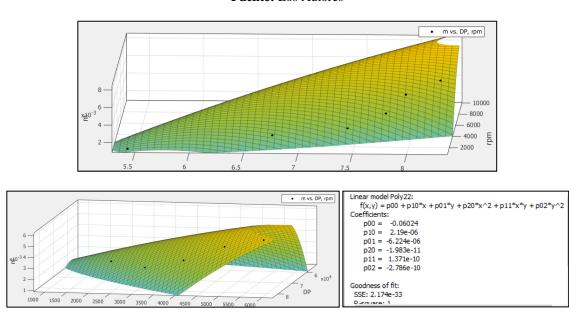


Figura 2. 30 Masa de aire vs rpm vs diferencia de presión Fuente: Los Autores

Una visualización más ampliada de la respuesta del colector a diferentes regímenes del motor, nos permite determinar la cantidad de gasto másico que ingresa al interior al

cilindro dado por la depresión mostrada. A mayor depresión, mayor flujo de masa de aire, brindando una distribución proporcional creciente.

2.3.5 Cálculo de la longitud de la trompeta

Datos:

• AAA: 21° antes del PMS

• RCA:47° después del PMI

• AAE: 48° antes del PMI

• RCA:20° después del PMS

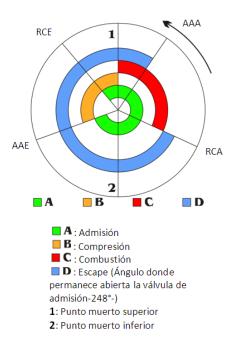


Figura 2. 31 Angulo de apertura y cierre de las válvulas **Fuente:** Los Autores

Desarrollo:

EL torque máximo en la Yamaha FZR 600 se da a 8250 rpm, valor donde debemos partir con el análisis de la longitud de la trompeta de alimentación.

$$8250 \frac{rev}{min} \cdot \frac{1}{60} \frac{min}{s} = \frac{275}{2} \frac{rev}{s}$$

• Tiempo que demora en dar una vuelta el motor:

$$\frac{1}{\frac{275}{2}} = 0,0072727s$$

• Angulo que permanece cerrada la válvula de admisión en un ciclo:

$$720^{\circ} - 248^{\circ} = 472^{\circ}$$

• Numero de vueltas donde la válvula de admisión está cerrada en un ciclo:

$$\frac{1vuelta}{360^{\circ}} \cdot \frac{472^{\circ}}{1} = 1{,}31111 \ vueltas$$

• Tiempo en el que toma la válvula en cerrarse y luego abrirse:

$$0,0072727 \, s \cdot 1,31111 = 0,0095353 \, s$$

• Durante ese tiempo la onda de aire se mueve a la velocidad del sonido (343 m/s) y recorre la longitud:

$$0,0095353s \cdot 343 \frac{m}{s} = 3,27 m$$

La onda de aire recorre 3,27 m antes de que la válvula se fuera a abrir.

Para lograr el efecto de sobrealimentación y que la onda vaya y regrese al cilindro, la trompeta de admisión debe tener la mitad de la longitud calculada.

$$\frac{3,27 \ m}{2} = 1,635 \ m$$

Debido a la complejidad de adaptar un trompeta de alimentación tan larga, es necesario recortarlas, disminuyendo el efecto de sobrealimentación por la fricción del material. Para ello utilizamos la cuarta parte de la longitud óptima.

$$\frac{1,635 m}{4} = \mathbf{0,408} m$$

2.3.4 Simulación

2.3.4.1 Tipo de simulación

A fin de reducir costos y entender mejor el comportamiento de los fluidos se emplean simulaciones basadas en Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) siendo un software que permite predecir con confianza, el comportamiento de los flujos de fluidos en la elaboración de un producto, todo el diseño y la fabricación, así como durante su uso final. El análisis de fluidos se puede utilizar para diseñar y optimizar un nuevo producto sin la necesidad de llevarlo a la construcción para analizar su rendimiento⁴².

A más de permitir buenas condiciones de circulación de los flujos, se somete al diseño a un análisis para verificar las condiciones mecánicas de funcionamiento con respecto a la depresión sometida por el motor.

2.3.4.2 Software

El empleo de un software ANSYS CFX permite realizar análisis de fluidos incompresible – compresible y transferencia de calor en geometrías complejas, permite importar la geometría y mallas, especificar los materiales, condiciones de contorno y los parámetros de la solución, resolver los cálculos, ver los resultados y crear informes con las herramientas integradas.

ANSYS – STATIC STRUCTURAL empleado en el análisis estructural, en el colector de admisión y verificar las deformaciones a las que son sometidas por la depresión del motor.

2.3.4.3 Parámetros a emplear como entrada de datos en la simulación CFX

2.3.4.3.1 Configuraciones Básicas Análisis Estático

Tipo de Análisis "Analysis Type": Se parte de un análisis estático "Steady State", con el fin de obtener condiciones iniciales que el resultado de las mismas serán las nuevas condiciones de entrada del análisis transitorio.

⁴² http://www.ansys.com/Products/Simulation+Technology/Fluid+Dynamics

El enmallado debe cumplir con un porcentaje no mínimo al 70 %, para poder verificar que las ecuaciones diferenciales convergen, teniendo en cuenta los nodos y la cantidad de elementos que se generan al tener un refinamiento del enmallado.

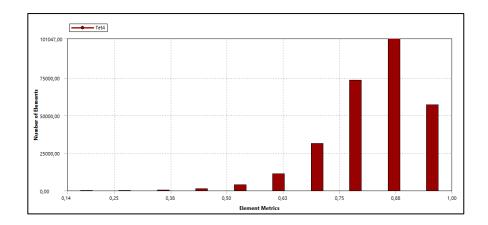


Figura 2.32 Distribución del porcentaje de enmallado Fuente: Los Autores

En las configuraciones básicas los datos a manejar para la simulación es el valor de la presión referencial que se establece a 0 PA, teniendo que las variaciones de presiones dinámicas en el fluido son mínimas, la temperatura del fluído se considera a un valor promedio de 25 °C de temperatura ambiente.

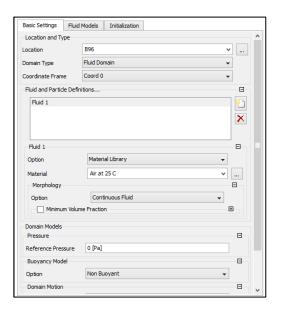


Figura 2.33 Dominio Predeterminado – Configuraciones básicas Fuente: Autor

La opción a elegir para el tipo de turbulencia del fluido es "Shear Stress Transport" empleado para simulaciones de flujo de aire con capa límite donde las presencia de un sólido perturba el movimiento del aire.

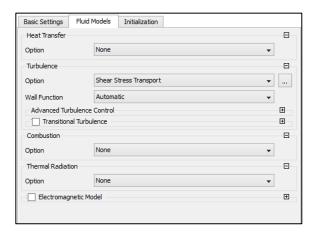


Figura 2.34 Dominio Predeterminado – Modelos de Fluidos **Fuente:** Autor

Componentes Cartesianos de velocidad: Los componentes de velocidad de contorno se especifican, con una resultante distinta de cero en el dominio, para el caso se emplea valores de cero en las direcciones que no hay una circulación de aire para la coordenada en que se encuentra ubicada la entrada de aire se especifica la velocidad con la que ingresa el fluido.

Se establece las condiciones iniciales para el análisis estático, para lo cual se considera la velocidad de entrada del fluido en un promedio de - 5.2m/s @ 5000 rpm medida con el uso de anemómetro e indicando la dirección en la que el orificio de entrada se encuentra con respecto a los ejes coordenados y el valor de la presión relativa medida antes de la mariposa de aceleración con el empleo de un sensor MAP dando un valor de 72954 Pa, considerando que este valor es el resultado de la presión absoluta dada por la siguiente ecuación.

Pabsoluta = Patmosf'erica + Prelativa

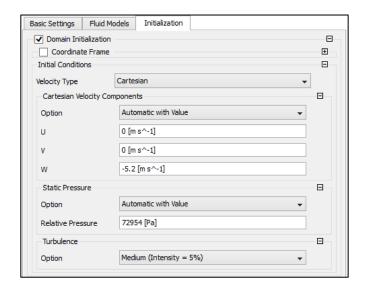


Figura 2.35 Dominio Predeterminado – Inicio Fuente: Los Autores

Se especifica los contornos por donde se da la entrada y salidas del fluído mediante el empleo de vectores que indican la dirección del flujo.

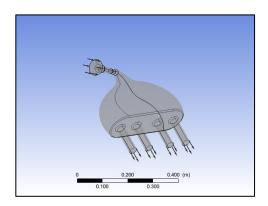


Figura 2.36 Colector de Admisión Fuente: Los Autores

El número de iteraciones para el análisis es establecido en un valor de 200, un número suficiente para verificar que las ecuaciones diferenciales convergen.

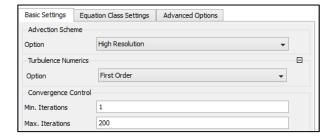


Figura 2.37 Número de Iteraciones **Fuente:** Los Autores

Las condiciones de dominio que se establecen para la entrada y las salidas son en base a la presión medida.

Para el caso de la entrada del flujo de aire se realiza el análisis desde una presión total considerando la presión estática y la presión dinámica dada por la siguiente ecuación que actúa en la entrada del sistema.

$$Ptotal = Pestática + \frac{1}{2} \rho. v^2$$

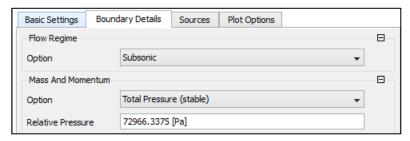


Figura 2.38 Presión Absoluta Fuente: Los Autores

Para las salidas del fluido se establece un valor promedio de presiones para cada cilindro en función de lo medido.

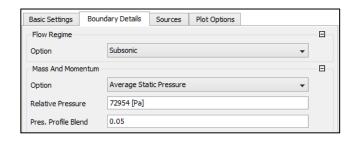


Figura 2.39 Presión Estática Fuente: Los Autores

En el análisis estático se evaluara como convergen las ecuaciones diferenciales a través de un una media cuadrática, siendo una medida que se obtiene de todos los residuos del dominio, una solución razonable requiere un nivel máximo de residuos no superior a 5 E -4.

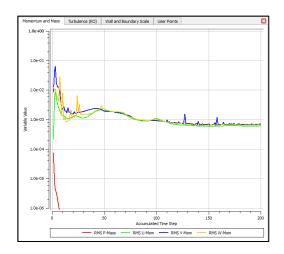


Figura 2.40 Análisis Estático Fuente: Los Autores

Los resultados se evalúan en cuanto a la cantidad de flujo másico que entregue el diseño, el comportamiento del fluido en el interior del recinto y las variaciones de presión que se dan en el proceso de admisión de aire del motor en un ciclo de trabajo.

Las cantidades de gasto másico tanto en la entrada como en la salida se visualizan en una tabla donde se especifica la localización de la salida de aire.



Figura 2.41 Flujo másicos obtenidos Fuente: Los Autores

El comportamiento del aire en el interior del recinto es visualizado por la forma en que las líneas se dirigen desde la entrada a la salida, considerando al mismo tiempo donde se dan los cambios de velocidades al variar la sección por donde circula el fluido.

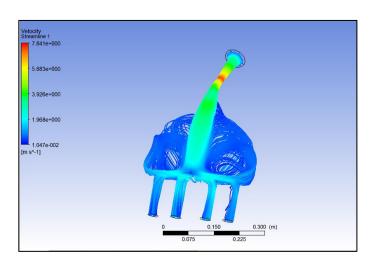


Figura 2.42 Comportamiento del Fluido en el interior del colector Fuente: Los Autores

La variación de presión que se indique en el colector, dará a interpretar cuanto es el valor de la diferencia de presión entre la atmosférica y la depresión producida por los cilindros a mayor diferencia en relación a la atmosférica la depresión generada es mayor.

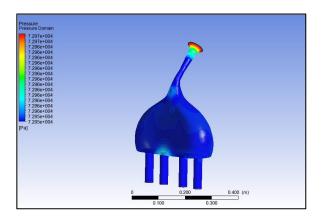


Figura 2.43 Variación de presión en el interior del colector Fuente: Los Autores

2.3.4.3.2 Configuraciones Básicas Análisis Transitorio

Los resultados obtenidos en el análisis estático serán ahora las condiciones iniciales del análisis transitorio para el cual se modifican las configuraciones y se insertan funciones en donde se expresa por medio de valores tabulados en unidades de tiempo (s) y presión (Pa) el ciclo de funcionamiento de motor.

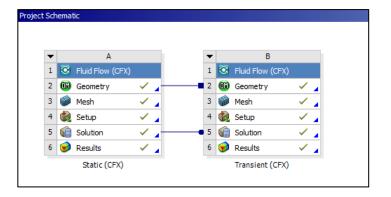


Figura 2.44 Configuraciones CFX
Fuente: Los Autores

Análisis Transitorio: Se considera un análisis transitorio debido que el flujo de aire tiende a variar con el tiempo ante las variaciones de presión generadas en el interior de un cuerpo.

Tiempo Total "Total Time": Periodo para el cual se dan todas las fluctuaciones de flujo que son de interés de análisis, siendo el tiempo que pone fin al análisis transitorio, para

el caso se tomó una muestra de 200 puntos en el cual se da la variación de presión durante un ciclo de trabajo del motor en un promedio de régimen 2000 – 5000rpm, para obtener una gráfica de variación de presión en función del tiempo de 2 segundos.

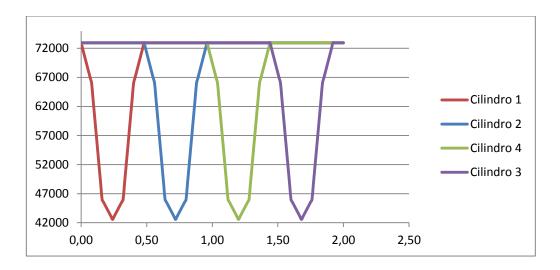


Figura 2.45 Times Steps Fuente: Los Autores

Pasos de tiempo "Time steps" (Δt): Empleado para el análisis de un flujo inestable, donde sus propiedades varían con el tiempo, siendo los cambios incrementales en el tiempo para el que se resuelven las ecuaciones que gobiernan el sistema. Es recomendable seleccionar un número pequeño de pasos de tiempo para capturar todas las fluctuaciones del aire.

Para el caso de análisis transitorio se realizó un número de 200 iteraciones en el que se considera los valores de presión al cual el motor funciona en un régimen de 5000 rpm, en un tiempo de 2 segundos, obteniendo un valor de pasos de tiempo de 0.01 segundos.

Tiempo Inicial "Inicial time": El Tiempo inicial para una simulación transitoria corresponde al tiempo antes de comenzar el primer paso de tiempo en la simulación actual. Las siguientes opciones se pueden establecer para controlar el tiempo inicial:

 a) Automático "Automatic": Lee automáticamente el tiempo inicial de un archivo de valores iniciales si se encuentran disponibles, de lo contrario se utiliza un valor predeterminado de cero. b) Automático con valor "Automatic with value": Lee automáticamente el tiempo inicial de un archivo de valores iniciales si se encuentran disponibles, de lo contrario se utiliza el valor especificado.

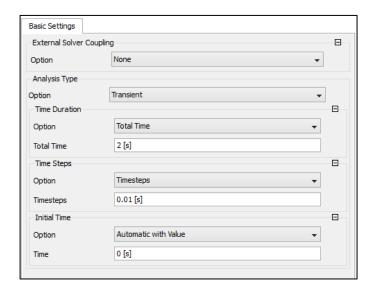


Figura 2.46 Entrada de datos - Tipo de Análisis Fuente: Los Autores

Tipos de dominio "Domain Type"

a) Dominio de Fluido: Dominios de fluidos se usan para modelar un fluido o una combinación de fluidos, con una amplia gama de opciones de modelado. Es posible deformar la malla para simular el movimiento de los límites del dominio.

Fluido y Definiciones particulares: Permite elegir el tipo de fluido a analizar, para el caso de análisis de un colector de admisión se selecciona aire a 25 °C a una temperatura ambiente.

Se mantienen los parámetros de una simulación estática en cuanto a temperatura y presión.

Turbulencia "Turbulence": Empleado en fluidos en el cuál la circulación de aire no mantiene una trayectoria lineal, más bien con pequeños remolinos que se están formando continuamente y disipándose. Se emplea un fluido "Shear Stress Transport" en el que se considera la capa limite en el la circulación de aire.

Para las condiciones de contorno en la entrada del fluido se considera la cantidad de gasto másico obtenido desde el análisis estático.

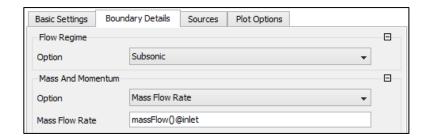


Figura 2.47 Condiciones de Contorno Fuente: Los Autores

Para las salidas del fluído en los diferentes cilindros se establece unos valores tabulados de presiones con límites entre 72954 Pa como máximo y 42986 Pa como mínimo los cuales serán representados a por medio de una función del software Ansys.

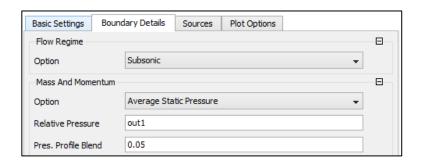


Figura 2. 48 Función para visualizar el promedio de la presión estática **Fuente:** Los Autores

Los valores de cada presión con los datos tabulados se ingresan como funciones a fin de obtener una gráfica del comportamiento del fluido a la salida de cada cilindro para un periodo de tiempo de 2 segundos.

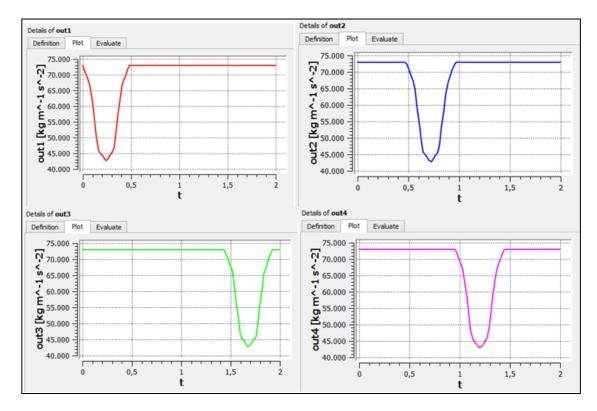


Figura 2. 49 Funciones de presión en función del tiempo Fuente: Los Autores

La solución de un análisis transitorio se evalúa en base parámetro conocido como Número de Courant que es empleado en casos donde el flujo presenta corrientes transitorias y está definido por $Courant = u \frac{\Delta t}{\Delta x}$, donde u es la velocidad del fluido, Δt son los pasos de tiempo y Δx es el tamaño de la malla. Cuando este valor sea inferior a 100 podremos decir que las ecuaciones diferenciales convergen y se obtendran resultados acordes a los reales, para la convergencia es necesario optimizar el nivel de enmallado del elemento y generar pasos de tiempo extremadamente pequeños del tiempo total de análisis.

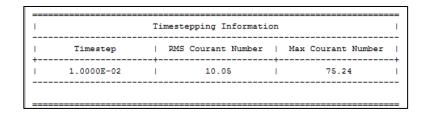


Figura 2.50 Numero de Courant Fuente: Los Autores

A través de una media cuadrática RMS "Root Mean Square" se podrá visualizar cuán grande son los residuos del dominio indicando la convergencia de las ecuaciones, para tal caso se compara el análisis estático y se continua con el análisis transitorio y se evalúa estos análisis con el fin de verificar que las ecuaciones convergen.

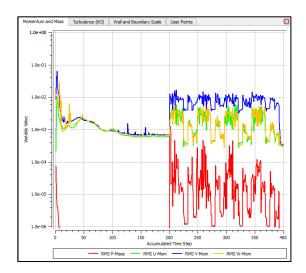


Figura 2.51 Residuos del Dominio Fuente: Los Autores

Los resultados de la simulación transitoria indicaran el comportamiento de valores de presión y los flujos de aire en el interior del recinto con el fin de optimizar el diseño y evaluar cuál es la mejor alternativa al momento de plasmarlo en la construcción.

2.3.4.4 Análisis CFX

2.3.4.4.1 Desarrollo de Modelos de Colectores de Admisión

Se parte de una forma geométrica diseñada acorde a un volumen obtenido en el modelado matemático con un valor de 6.10 litros y en el cual se considere la restricción al paso de aire al interior de los cilindros de 20 mm.

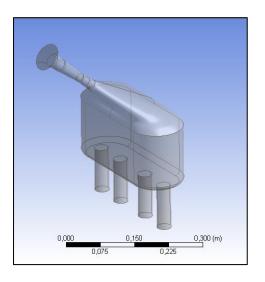
2.3.4.5 Evaluación del diseño

Se evaluara el diseño en cuánto a parámetros de forma geométrica, Número de Courant que presente dicho colector, Velocidad de ingreso y de salida del flujo, Gasto másico entregado a los cilindros y la mayor diferencia de presión entre la entrada y la salida del colector.

Por complejidad se debe seleccionar un colector que sea fácil de llevarlo a la construcción, debido a que los materiales en el medio disponibles y generalmente empleados para estos tipos de diseño son de aluminio, fibra de carbono, fibra de vidrio y polímeros, se ve necesario guiarse por una forma geométrica fácil de moldear y bajo costo que brinde la mejor eficiencia. Se desarrollaron diversas formas geométricas para evaluar su funcionamiento a la hora de las simulaciones.

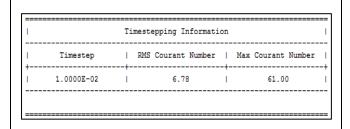
Colector 1

Geometría



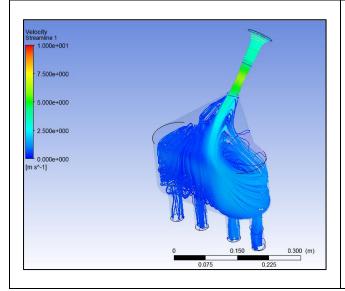
- El diseño tiene una capacitancia de 0.00621207 [m^3].
- Restricción en la entrada de 20 mm.
- Diámetro de los ductos de 32 mm.

Número de Courant

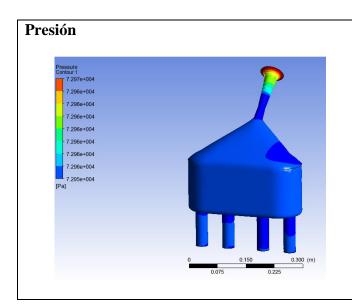


- Número de Courant de 6.78, el valor promedio entre el máximo y mínimo.
- Existe una convergencia en las ecuaciones diferenciales.

Velocidad y gasto másico



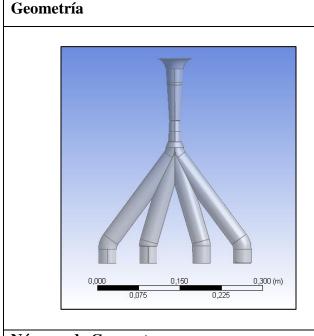
- La máxima velocidad se llega alcanzar en la zona de estrangulación con un valor de 6.2 [m s^-1].
- El gasto másico en la entrada es de 0.00238581 [kg s^-1].
- Gasto másico para los diferentes cilindros es de 0.0004310 [kg s^-1].
- En el interior del recinto al ver la circulación del fluido en este se encuentran espacios vacíos.



- Valores de presión en la entrada 72966.4 [Pa].
- Valores de presión en la salida de 72954 [Pa].

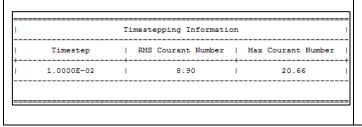
Tabla 2.8 Colector 1 **Fuente:** Los Autores

Colector 2



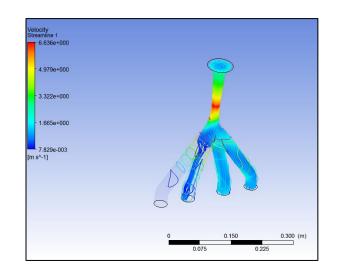
- El diseño tiene una capacitancia de 0.000736337 [m^3].
- Restricción en la entrada de 20 mm.
- Diámetro de los ductos de 32 mm.

Número de Courant



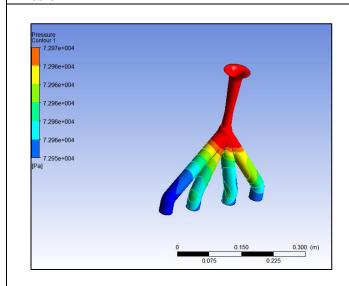
- Número de Courant de 8.90, el valor promedio entre el máximo y mínimo.
- Existe una convergencia en las ecuaciones diferenciales.

Velocidad y gasto másico



- La máxima velocidad se llega alcanzar en la zona de estrangulación con un valor de 6.63 [m s^-1].
- El gasto másico en la entrada es de 0.00241232 [kg s^-1].
- Gasto másico para los cilindros 2-3 es de 0.00120072 [kg s^-1] y 1-4 -0.000130164 [kg s^-1].
- La distribución del flujo no es homogénea, mayor reparto de aire a los cilindros 2-3.

Presión

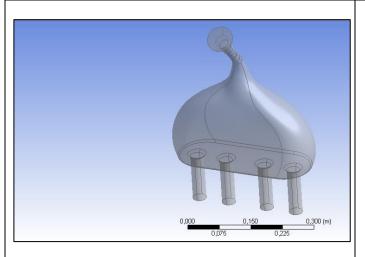


- Valores de presión en la entrada 72966.4 [Pa].
- Valores de presión en la salida de 72954 [Pa].
- Al no tener ductos con las mismas longitudes las caídas de presión variaran de un cilindro a otro, teniendo como consecuencia mayor depresión de los cilindros intermedios.

Tabla 2.9 Colector 2 **Fuente:** Los Autores

Colector 3

Geometría



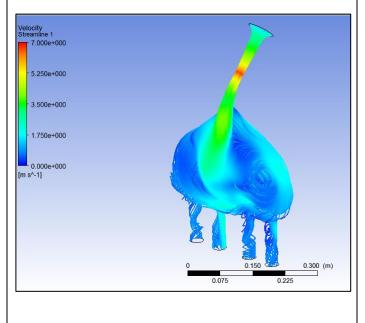
- Se diseñó el colector a un valor cercano al modelado con una capacitancia de 0.00664449 [m^3].
- Restricción en la entrada de 20 mm.
- Diámetro de los ductos de 32 mm.

Número de Courant

Timestep	RMS Courant Number	Max Courant Number
 1.0000E-02	10.02	75.23

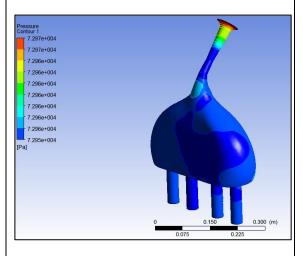
- Número de Courant de 10.02, el valor promedio entre el máximo y mínimo.
- Existe una convergencia en las ecuaciones diferenciales.

Velocidad y gasto másico



- La máxima velocidad se llega alcanzar en la zona de estrangulación con un valor de 7 [m s^-1].
- El gasto másico en la entrada es de 0.00361232 [kg s^-1].
- Gasto másico para los diferentes cilindros es de -0.000844052 [kg s^-1].
- El flujo de aire entre cada cilindro es homogéneo y no existen zonas donde se generen vacíos.

Presión

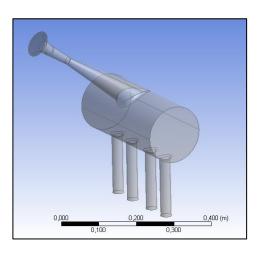


- Valores de presión en la entrada 72966.4 [Pa].
- Valores de presión en la salida de 72954 [Pa].
- Valores de presión homogéneos en los cilindros.

Tabla 2.10 Colector 3 **Fuente:** Los Autores

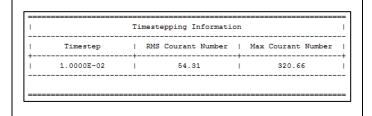
Colector 4

Geometría



- Se consideró una capacitancia de 0.00738337 [m³].
- Restricción en la entrada de 20 mm.
- Diámetro de los ductos de 32 mm.

Número de Courant



- Número de Courant de 54.31, el valor promedio entre el máximo y mínimo.
- Existe una convergencia en las ecuaciones diferenciales.

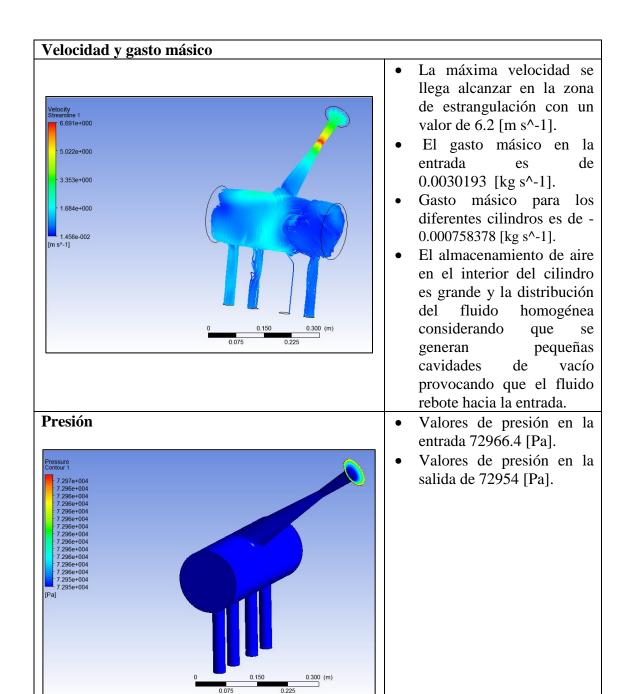
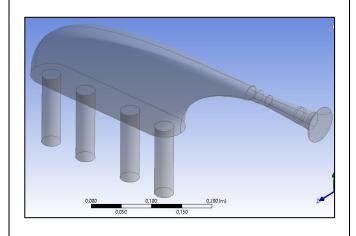


Tabla 2. 11 Colector 4 **Fuente:** Los Autores

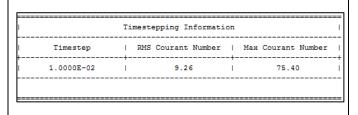
Colector 5

Geometría



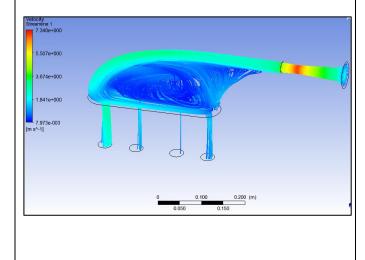
- Se consideró una capacitancia de 0.0030335 [m^3].
- Restricción en la entrada de 20 mm.
- Diámetro de los ductos de 32 mm.
- Geometría compleja

Número de Courant

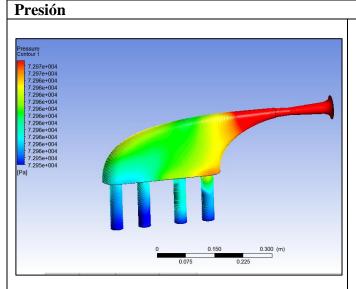


- Número de Courant de 9.26, el valor promedio entre el máximo y mínimo.
- Existe una convergencia en las ecuaciones diferenciales.

Velocidad y gasto másico



- La máxima velocidad se llega alcanzar en la zona de estrangulación con un valor de 6.5 [m s^-1].
- entrada es de 0.00266069 [kg s^-1].
- Gasto másico para los diferentes cilindros es de -0.000589491 [kg s^-1].
- La mayor cantidad de flujo se ve dirigida hacia el ducto más alejado de la entrada, debido a la forma geométrica que presenta la aceleración del fluido se ve inclinado en esa zona.



- Valores de presión en la entrada 72966.4 [Pa].
- Valores de presión en la salida de 72954 [Pa].
- El promedio de presiones entre los cilindros es aparentemente homogénea, considerando que la mayor diferencia de presión se genera con el ducto más cercano a la entrada.

Tabla 2. 12 Colector 5 **Fuente:** Los Autores

2.3.4.6 Análisis de Resultados

Número de Colectores	Volumen (litros)	Flujo másico de entrada (gr/s)	Flujo másico de salida (gr/s)		Velocidad de descarga (m/s)		Presión (Pa)	
			Cil. 1	0.554	Cil. 1	1.69	Entrada	72966.3
1	6.21	2.38	Cil. 2	0.623	Cil. 2	1.71		
			Cil. 3	0.612	Cil. 3	1.72	Salida	72959.0
			Cil. 4	0.531	Cil. 4	1.70		
			Cil. 1	0.06	Cil. 1	0.73	Entrada Salida	72966.3
2	0.73	2.47	Cil. 2	1.20	Cil. 2	1.89		
			Cil. 3	1.15	Cil. 3	1.86		72966.0
			Cil. 4	0.06	Cil. 4	0.82		
			Cil. 1	0.812	Cil. 1	1.72	Entrada	72966.3
3	6.64	3.36	Cil. 2	0.844	Cil. 2	1.81		
			Cil. 3	0.852	Cil. 3	1.79	Salida	72954.0
			Cil. 4	0.823	Cil. 4	1.75		
		3.01	Cil. 1	0.71	Cil. 1	1.60	Entrada	72966.3
4	7.38		Cil. 2	0.75	Cil. 2	1.68		
			Cil. 3	0.78	Cil. 3	1.66	Salida	72954.0
			Cil. 4	0.73	Cil. 4	1.62		
		2.66	Cil. 1	0.58	Cil. 1	2.35	Entrada	72966.3
5	3.03		Cil. 2	0.67	Cil. 2	1.95		
			Cil. 3	0.69	Cil. 3	1.82	Salida	72954.0
			Cil. 4	0.59	Cil. 4	1.79		

Tabla 2.13 Resultados obtenidos en análisis transitorio **Fuente:** Los Autores

Analizando los resultados que se obtuvieron en las simulaciones en estado transitorio de cada colector se puede considerar cual es la mejor alternativa de diseño en conjunto con el modelado para llevar a la construcción dicho diseño.

Considerando la forma geométrica y la disponibilidad de materiales a utilizar para la elaboración del producto final, es necesario inclinarse por una forma no muy compleja, considerando que la misma se comporte acorde a la entrada del fluido y no ocasione espacios vacíos que provoque que el fluido tienda a retornar a la entrada generando una oposición del mismo.

La convergencia de un número de Courant bajo nos establece que el tamaño de la malla seleccionado para los modelos de colector es el adecuado y que el número de 200 iteraciones empleado nos llevan a una convergencia de las ecuaciones diferenciales.

La velocidad que alcanza el fluido en los ductos de los cilindros es de vital importancia y de qué manera el mismo se traslada en forma turbulenta o laminar.

La diferencia de presión entre la entrada y la salida dará a entender que a mayor depresión la cantidad de aire aspirado será mayor y por ende la cantidad de gasto másico ingresado en los cilindros será favorable en la fase de admisión del cilindro.

Considerando todos los parámetros mencionados se llegó a determinar que no todos cumple con las características, pero teniendo en cuenta un modelo sea aproxima bastante a los parámetros que establecen que el diseño es óptimo para la construcción.

Se logró concluir que el colector 3, brinda mejores prestaciones en cuanto a la entrada de gasto másico y salida del mismo a los diferentes cilindros con una mayor entrega de aire.

Los valores de velocidad y la distribución del fluido es de manera homogénea, las variaciones de presión entre la entra y las salidas tienen una mayor diferencia por en la depresión para la aspiración de aire será mayor.

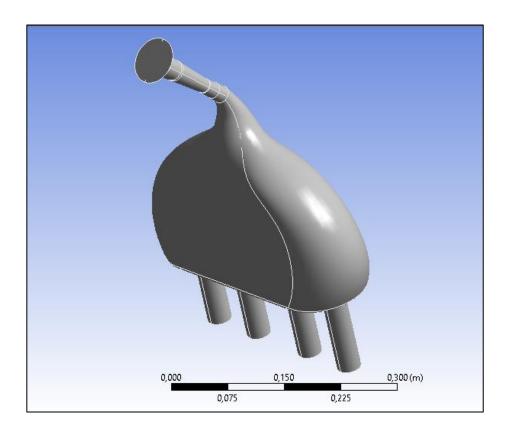


Figura 2.52 Diseño Seleccionado Fuente: Los Autores

2.3.4.4 Análisis Estructural.

Considerando que se trabajará con materiales compuestos, se vio necesario simular las presiones a las que el colector está sometido y verificar si dicho material soporta las presiones.

Para el análisis se considerará el colector que fue seleccionado en el análisis transitorio.

		E-glass -Epoxy	S-Glass -Epoxy	E-glass -Polyester	Kevlar 49 TM –Epoxy	E-glass -LY556 [25]	E-glass -MY750 [25]	E-glass -Epoxy [32]
Density [g/cc]	ρ	2.076	1.993	1.85	1.380	- 11000 [20]	- 111100 [20]	- Dpoxy [52]
Longitudinal Modulus [GPa]	$\stackrel{r}{E}_1$	45	55	37.9	75.8	53.48	45.6	44.7
Transverse Modulus [GPa]	E_2	12	16	11.3	5.5	17.70	16.2	12.7
In-plane Shear Modulus [GPa]	G_{12}	5.5	7.6	3.3	2.07	5.83	5.83	5.8
In-plane Poisson's ratio	ν_{12}	0.19	0.28	0.3	0.34	0.278	0.278	0.297
Transverse Poisson's ratio	ν_{12}	0.31	_	_	_	0.4	0.398	0.410
Longitudinal Tensile Strength [MPa]	F_{1t}	1020	1620	903	1380	1140	1280	-
Transverse Tensile Strength [MPa]	F_{2t}	40	40	40	34.5	35	40	43.4
Longit. Compressive Strength [MPa]	F_{1c}	620	690	357	586.0	570	800	-
Transv. Compressive Strength [MPa]	F_{2c}	140	140	68	138.0	138	145	-
In-plane Shear Strength [MPa]	F_6	60	60	40	44.1	61	73	135.8
Interlaminar Shear Strength [MPa]	F_4	-	-	-	150	-	-	-
Ult. Longit. Tensile Strain [%]	ϵ_{1t}	1.29	1.68	1.64	1.45	2.132	2.807	-
Ult. Transv. Tensile Strain [%]	ϵ_{2t}			-	-	.197	.246	-
Ult. Longit. Comp. Strain [%]	€10	-	-	-	-	1.065	1.754	-
Ult. Transv. Comp. Strain [%]	ϵ_{2c}	-	-	-	-	.644	1.2	-
Ultimate Shear Strain [%]	76 _M	-	-	-	-	3.8	4.0	-
Fracture Toughness Mode I [J/m ²]	G_{Ic}	-	-	334	-	165	165	360
Fracture Toughness Mode II [J/m ²]	G_{IIc}	-	-	456	-	-	-	1400
Longitudinal CTE [10 ⁻⁶ /° C]	α_1	3.7	3.5	6.5	-2.0	8.6	8.6	-
Transverse CTE [10 ⁻⁶ /° C]	α_2	30	32	22	60	26.4	26.4	-
Stress-free Temperature [° C]	SFT	126	126	25	126	120	120	-
Longitudinal Moisture Expansion	β_1	0	0	0	0.01	-	-	-
Transverse Moisture Expansion	β_2	0.2	0.2	0.2	0.2	-	-	-
Fiber Volume Fraction	V_f	0.6	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6	-
Void Content	V_v	-	-	0.02	-	-	-	-
Fiber Misalignment [deg]	α_{σ}	2.97	2.98	3.53	1.34	-	-	-
Ply Thickness [mm]	t_k	0.144	0.144	0.144	0.144	0.6	0.6	0.144

Figura 2.53 Propiedades Típicas de la Fibra de vidrio utilizada **Fuente:** BARBERO, Ever, *Introduction to composite materials design*, Editorial Taylor & Francis Group, USA, 2011

Con el fin de poder extraer datos reales del material fibra de vidrio con el que se considerara para el diseño del colector, se ve necesario poner las propiedades mecánicas los cuales serán tomados de la siguiente tabla (2.52).

Los datos con los que se va a manejar serán ingresados en el software Ansys Static Structural en la opción datos de ingeniería y se manejaran con las unidades que corresponden a cada valor.

Propertie	Properties of Outline Row 4: Fibra de vidrio						
	A	В	С				
1	Property	Value	Unit				
2	🔀 Density	1,85	g cm^-3				
3	☐ Variable Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion						
4	Coefficient of Thermal Expansion	8E-06	C^-1				
5	Reference Temperature	20	C •				
6	☐ 🎦 Isotropic Elasticity						
7	Derive from	Young's Modulus an					
8	Young's Modulus	37900	MPa 💌				
9	Poisson's Ratio	0,3					
10	Bulk Modulus	3,1583E+10	Pa				
11	Shear Modulus	1,4577E+10	Pa				
12	Tensile Yield Strength	1,3097E+05	psi 🔻				
13	🔀 Compressive Yield Strength	357	MPa 💌				
14	Tensile Ultimate Strength	0	MPa 🔻				
15	Compressive Ultimate Strength	0	MPa 💌				

Figura 2. 54 Propiedades Insertadas
Fuente: Los Autores

La geometría se realiza en superficie determinando el espesor que va a tener el colector con el fin de verificar cuanto es la depresión que soporta y la deflexión que se produce en dichas paredes.

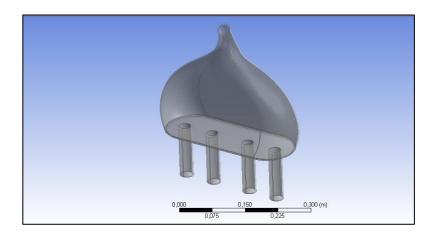


Figura 2.55 Geometría utilizada para el análisis estructural Fuente: Los Autores

Calidad de enmallado se basara en el refinamiento de la malla considerando la cantidad de elementos, nodos y el promedio de enmallado de todo el elemento. Para el caso se logró un promedio de enmallado de toda la pieza del 70 %.

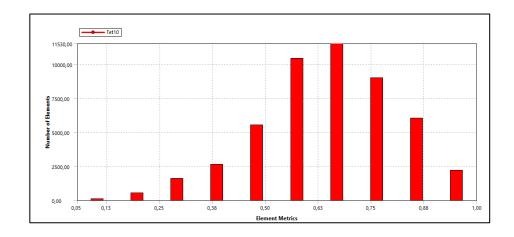


Figura 2.56 Refinamiento promedio del enmallado **Fuente:** Los Autores

Se estableció los datos a los cuales el colector de admisión se encontrara sometido, para el caso la depresión máxima generada por los cilindros es de 42000 Pa y se especificara el sentido en que la presión actúa.

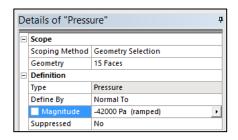


Figura 2.57 Valores de depresión insertada **Fuente:** Los Autores

Las soluciones que se presentaron son de la deformación máxima y la zona en la que se da la mayor depresión.

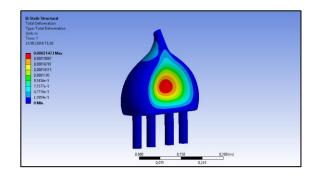


Figura 2.58 Deformación máxima Fuente: Los Autores

 La deformación máxima es de 0.214 mm en la parares de mayor área debido a que las mismas se encuentran más propensa a deformarse por no tener un elemento de apoyó.

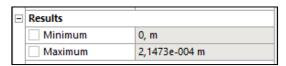


Figura 2.59 Resultados Obtenidos Fuente: Los Autores

2.4 Selección del material

2.4.1 Tipos de materiales comúnmente usados para fabricar colectores de admisión

2.4.1.1 Materiales naturales

Aluminio

El aluminio es un elemento químico, de símbolo Al y número atómico 13. Se trata de un metal no ferromagnético. Es el tercer elemento más común encontrado en la corteza terrestre. Los compuestos de aluminio forman el 8% de la corteza de la tierra y se encuentran presentes en la mayoría de las rocas, de la vegetación y de los animales.⁴³

El aluminio es un material ampliamente utilizado en la industria automotriz como por ejemplo en bloques de motor, cabezotes, tanques, carrocerías y colectores de admisión etc. Esto debido a sus propiedades mecánicas como son: Buena disipación de calor, bajo costo, alta resistencia mecánica, menor peso. Como se muestra en la siguiente tabla.

99

Tecnología automotriz. Monografías. com Jesús Guevara, Carabobo, Venezuela

Pro	piedad	Aluminio
1	Esfuerzo (N/mm²)	250
2	Elasticidad E, Módulo de Young (MPa)	70.000
3	Densidad (g/cm³)	2,7
4	Punto de fusión (°C)	660
5	Rango de temperatura de trabajo (°C)	.:2 <u>5,0</u> .a 150
6	Conductibilidad eléctrica (m/Ohm mm) ²	29
7	Conductividad térmica (VWm °C)	200
8	Coeficiente de expansión lineal x 10-6/°C	24
9	No-magnético	Sí
10	Tóxico	No
11	Resistente a la corrosión	Sí
12	Mecanizado	Fácil
13	Maleable	Sí
14	Costo	Barato

Figura 2.60 Tabla de propiedades físicas y mecánicas del aluminio **Fuente:** http://puentelara.blogspot.com/2013/02/aluminio-uso-en-el-automovil.html

El uso del aluminio como material base para la fabricación de los colectores de admisión se empleó en la gran mayoría de vehículos hasta el año 1990 aproximadamente. En la actualidad ha disminuido el uso de este material siendo sustituido por materiales sintéticos como polipropileno, fibra de vidrio y fibra de carbono este último principalmente utilizado en vehículos de competencia donde el costo se sacrifica por lograr una reducción de peso y un aumento de potencia.



Figura 2. 61 Colector de admisión de plástico y de aluminio **Fuente:** http://www.naikontuning.com/nt/multiple-de-admision/

2.4.1.2 Materiales sintéticos

• Fibra de vidrio

La fibra de vidrio es un material que consta de fibras numerosas y extremadamente finas de vidrio.



Figura 2.62 Fibra de vidrio tipo Mat **Fuente:** Los Autores

A lo largo de la historia los vidrieros ensayaron la fibra de vidrio, pero la manufactura masiva de este material sólo fue posible con la invención de máquinas herramienta más refinadas.

Las propiedades mecánicas de la fibra de vidrio se detallan en la siguiente tabla:

Tipo de Fibra	Tensión de rotura (MPa)	Esfuerzo de Compresión (MPa)	Densidad (g/cm³)	Dilatación térmica um/(m°C)	T de ablandamiento (°C)	Precio dólar/kg
Vidrio clase E	3445	1080	2.58	5.4	846	~2
Vidrio clase S-2	4890	1600	2.46	2.9	1056	~20

Tabla 2.14 Propiedades mecánicas de la fibra de vidrio **Fuente:** http://es.wikipedia.org/wiki/Fibra_de_vidrio#de_Tensi.C3.B3n

La utilización de la fibra de vidrio en los vehículos de la competencia formula SAE es bastante difundida principalmente en los equipos de primer año y de presupuesto limitado. Las principales aplicaciones dentro de los vehículos de dichos equipos son en la fabricación del colector de admisión y para la carrocería, debido a que la fibra de vidrio tiene un peso menor al aluminio, una buena resistencia mecánica, es fácil de moldear, no necesita de instalaciones especializadas para el curado como es el caso de la fibra de carbono y por ende el costo de este material sintético es menor que el de todos los materiales empleados comúnmente en esta aplicación.



Figura 2.63 Colector en fibra de vidrio Fuente: Los Autores

• Fibra de carbono

La fibra de carbono es una fibra sintética constituida por finos filamentos de $5-10 \,\mu m$ de diámetro y compuesto principalmente por carbono. Cada filamento de carbono es la unión de muchas miles de fibras de carbono. Se trata de una fibra sintética porque se fabrica a partir del poliacrilonitrilo. Tiene propiedades mecánicas similares al acero y es tan ligera como la madera o el plástico. Por su dureza tiene mayor resistencia al impacto que el acero. 44

⁴⁴ Cavette, Chris."Carbon Fiber", *How Products Are Made*. Consultado el 22 de julio de 2012.



Figura 2.64 Piezas fibra de carbono

Fuente: Daniel Burrill and Jeffrey Zurschmeiden – Fiberglass and Carbon Fiber Parts

Las propiedades físicas de la fibra de carbono son resistencia mecánica, estabilidad dimensional, amortiguación de vibraciones, resistencia a la fatiga y auto-lubricación, resistencia química. Dentro de las propiedades mecánicas podemos observar:

	ra LM módulo)	Fibra HM (alto módulo)	
Densidad (g/cm)	1,39	1,47	
Módulo de Young (GPa)	70	179	
Módulo de Young específico (Mm) 5,1	12,4	
Resistencia a la tracción (GPa)	3,0	3,5	

Figura 2.65 Valores de propiedades mecánicas para fibras de carbono de bajo y alto módulo de elasticidad

Fuente: http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/17156-Carbono-y-Aramida-del-concepto-a-la-produccion.html

La fibra de carbono revoluciono la industria de los vehículos de competencia y de alta gama. En vehículos formula 1 se utiliza ya desde hace varios años siendo el principal material en la constitución del mismo su campo de aplicación al parecer no tiene fronteras y la "Formula SAE" no es la excepción ya que los equipos experimentados que generalmente pertenecen a países de "Primer Mundo" ocupan este material sintético en sus prototipos. Siendo las principales aplicaciones: Carrocería mono coco, brazos de suspensión, colector de admisión, colector de escape, alerones, panel de instrumentos, tanque de combustible, etc.



Figura 2.66 Vehículo Formula student UK 2011 **Fuente:** http://racing.tugraz.at/medien/fotos/formula-student-uk-2011/

Las limitaciones principales para la aplicación de este material en nuestro caso particular es el costo muy elevado en la obtención del producto (fibra de carbono y resinas) así como en adecuar un laboratorio exclusivo para trabajar con este productor ya que se necesita aplicar la fibra al molde mediante vacío y para el curado necesitaremos hornos de tamaño proporcional a la pieza que se desea obtener, otro inconveniente es la falta de experiencia y personal capacitado para trabajar con fibra de carbono en nuestro medio.

2.4.1.3 Material compuesto

En los vehículos de producción en serie actuales el uso de materiales compuestos como el plástico es ampliamente utilizado para fabricar el colector de admisión, teniendo como principal ventaja la ligereza del material así como la rapidez y la automatización en la producción ya que se consigue este producto mediante un proceso SAV (sin arranque de viruta) mediante el uso de una matriz y una inyectora de plástico.

Como ya se mencionó para conseguir un colector de admisión en plástico se necesita del diseño y la construcción de una matriz así como de una maquina inyectora de plástico lo que en nuestro caso no es rentable ya que vamos a construir solo un colector y no se llevara a cabo una producción en serie.

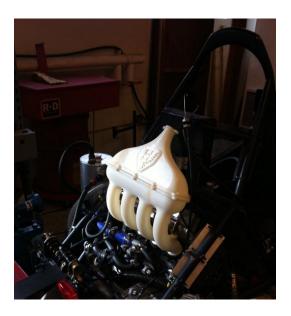


Figura 2.67 Colector de admisión-Universidad de Dalhousie **Fuente:** https://blogs.dal.ca/formulaSAE/category/sponsors/page/2/

2.4.2 Características importantes de los materiales

Para que un material pueda ser usando en la construcción del colector de admisión primero debemos analizar las características que consideramos más importantes y que después serán factor de calificación en una matriz de ponderación:

2.4.2.1 Peso

Dentro de las competencias automovilísticas en general el gran objetivo de los equipos es que su vehículo tenga el menor peso posible por ende considerando que el colector de admisión es una pieza de gran tamaño en nuestro prototipo, conseguir que este sea muy liviano es una prioridad para que podamos alcanzar la máxima potencia en menor tiempo.



Figura 2.68 Colector de admisión-Universidad de Duke **Fuente:** http://dukemotorsports.blogspot.com/2012/12/end-of-fall-semester.html

2.4.2.2 Resistencia a la oxidación y corrosión

La corrosión se define como el deterioro de un material a consecuencia de un ataque electroquímico por su entorno, en la que intervienen tres factores: la pieza manufacturada, el ambiente y el agua, o por medio de una reacción electroquímica. La corrosión es un fenómeno no va a estar protegido contra el ambiente aumenta las probabilidades de que sufra mucho más amplio que afecta a todos los materiales (metales, cerámicas, polímeros, etc.)⁴⁵

Teniendo en cuenta que el colector de admisión corrosión lo que provocara en el peor de los casos una fisura y en consecuencia una sanción por parte de los jueces de la competencia. Razón por la cual es importante escoger un material muy resistente a la corrosión y realizar un tratamiento que contrarreste este fenómeno.



Figura 2.69 Corrosión
Fuente: http://quimicaparaingieneria.blogspot.com/2012/12/tipos-de-corrosion.html

_

⁴⁵ http://es.wikipedia.org/wiki/Corrosi%C3%B3n

2.4.2.3 Resistencia mecánica

El colector de admisión tienen que resistir una depresión en su interior que es de aproximadamente 0.4 Bar sin que varié la geometría del mismo de aquí la necesidad de que el material cumpla con las propiedades mecánicas suficientes para soportar este esfuerzo de comprensión.

2.4.2.4 Maleabilidad

La resistencia de 20 mm al paso del aire que debe cumplir el colector y el espacio reducido dentro del monoplaza son 2 circunstancias que conllevan a que el colector de admisión tome formas poco comunes en su diseño (siempre con el fin de asegurar el máximo rendimiento). Motivo por el cual el material debe ser capaz de tomar la forma exacta del diseño seleccionado, garantizando que la simulación computacional se acerque en gran medida al comportamiento real.

La mayoría de los materiales toman la forma de una matriz o molde cuando se encuentran en estado líquido una vez que se ha alcanzado su punto de fundición a altas temperaturas a diferencia de algunos polímeros como la resina de fibra de vidrio y carbono que se encuentran en estado líquido a temperatura ambiente lo que facilita el trabajo con este material y se endurece cuando se mezcla con un agente acelerador o catalizador tomando la forma del molde donde se aplicó la fibra junto con la resina.



Figura 2.70 Colector de admisión fibra de carbono **Fuente:** http://grabcad.com/library/formula-sae-carbon-fiber-intake-manifold

2.4.2.5 Costo

El prototipo desarrollado tiene como una de sus prioridades ser lo menos costoso posible para poder conseguir una buena puntuación en la prueba de "informe de costos" al igual que el presupuesto con el que se trabaja dentro del proyecto es limitado.

El costo de los materiales no solo se debe limitar al precio de adquisición del mismo sino que también se debe tener en cuenta el costo que tenga el proceso de fabricación de la pieza con este material.



Figura 2.71 Colector de admisión construidos en aluminio y plástico **Fuente:** http://www.pic2fly.com/Fsae+Intake+Manifold.html

2.4.2.6 Rugosidad

La mayor o menor rugosidad de una superficie depende de su acabado superficial. Éste, permite definir la micro geometría de las superficies para hacerlas válidas para la función para la que hayan sido realizadas. Es un proceso que, en general, habrá que realizar para corregir los errores de forma y las ondulaciones que pudiesen presentar las distintas superficies durante su proceso de fabricación.

Es importante reconocer que la rugosidad varía de acuerdo al material a continuación se presenta una tabla donde se puede apreciar la rugosidad de algunos materiales comunes en el entorno y para nuestra aplicación.

Material	ε (mm)	Material	ε (mm)
Plástico (PE, PVC)	0,0015	Fundición centrifugada	0,003
Poliéster reforzado con	0,01	Fundición	0,12-0,60
fibra de vidrio			
Tubos de latón o cobre	0,0015	Hierro forjado	0,03-0,09

Tabla 2.15 Rugosidad Absoluta De Materiales **Fuente:**http://www.miliarium.com/Prontuario/MedioAmbiente/Aguas/PerdidaCarga.asp

2.4.3 Tabla de priorización

Para escoger el material que vamos a utilizar emplearemos una matriz de priorización que pretende evaluar ciertas características de los materiales comúnmente empleados en la construcción de colectores de admisión a fin de analizar todas las posibles variables, esto junto con un análisis de la viabilidad de construcción y del medio en el que trabajamos nos llevará a la toma de una decisión acertada.

Con el fin de tener un análisis cuantitativo tendremos que dar un valor numérico y de color a cada característica que se va a analizar; cabe recalcar que los valores dados serán criterio personal en base a lo analizado anteriormente y de la experiencia que se ha tenido en el medio y con personas que distribuyen y trabajan con estos materiales.

En la siguiente tabla se detalla el valor numérico respectivo de acuerdo al nivel de cada cualidad que tenga cada material siendo 5 el máximo y 0 el mínimo y de igual manera se le asignó un color representativo.

Nivel de cualidad	Valor Numérico	Color Representativo
Excelente	5	
Bueno	4	
Medio	3	
Regular	2	
Malo	1	
Inexistente	0	

Tabla 2.16 Tabla de asignación de valores **Fuente:** Los Autores

Una vez establecido los valores numérico y de color procedemos a realizar la tabla de priorización siendo lo más objetivos posibles y dando el valor justo y merecido a cada característica en cada material:

Material	Peso	Resistencia a la corrosión	Resistencia mecánica	Maleabilidad	Costo	Rugosidad	Ponderación
Aluminio	3	4	4	3	3	4	3,5
Fibra de vidrio	4	5	3	4	5	4	4,16
Fibra de carbono	5	5	5	4	1	4	4
Plástico	4	5	4	4	2	4	3,8

Tabla 2.17 Tabla de priorización **Fuente:** Los Autores

El valor de ponderación más alto es el de la fibra de vidrio con 4,16 y por ende es el material que vamos a ocupar para realizar el colector de admisión ya que a más de analizar mediante la tabla de priorización, también es un material muy utilizado en el medio por gente que nos puede asesorar y no se necesita de demasiada experiencia ni equipos especializados para esta aplicación.

2.5 Fibra de Vidrio

La fibra de vidrio es un material del tipo compuesto que se obtiene a partir de las mismas materias primas utilizadas para la fabricación del vidrio como son la sílice, alúmina, cal, etc., más la adición de un polímero (GRP)

2.5.1 Proceso de Fabricación

A los componentes anteriormente mencionados se añaden cantidades muy exactas de ciertos óxidos, dependiendo del tipo de vidrio, luego se trituran finamente y se amasan para obtener una masa homogénea, que se lleva a un horno de fusión a 1550 grados centígrados aproximadamente, para obtener un estado líquido.

2.5.1.1 Estirado

Manteniendo una temperatura de 1250 grados centígrados y mediante la gravedad, se cuela el vidrio utilizando placas con aleación de platino y rodio, perforadas en orificios de 1 o 2 mm de diámetro. El vidrio sale en forma de hilos que se estiran mecánicamente a gran velocidad, obteniendo filamentos según la aplicación.

El grosor de la fibra se puede controlar por el diámetro de los agujeros de la boquilla de la hilera, la temperatura y por la viscosidad del vidrio, siendo los radios más habituales de 8 y 15 micras.⁴⁶

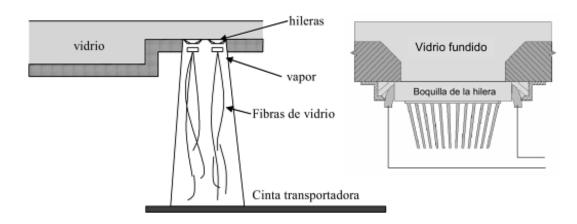


Figura 2.72 Proceso de Fabricación de la fibra de vidrio **Fuente:** Procesos industriales para materiales no metálicos, escrito por Julián Rodríguez

2.5.1.2 Ensimaje

Después del estirado, los filamentos son revestidos con una dispersión acuosa de compuestos generalmente orgánicos, asegurando la unión entre los filamentos y la protección del hilo contra la abrasión, dándole además, propiedades indispensables a transformaciones futuras.

Finalmente se procede con en el tejido de fibras a partir de las mechas obtenidas en el proceso anterior, pudiéndose obtener diferentes presentaciones. La finalidad del tejido es que las fibras estén orientadas en la misma dirección de las cargas aplicadas al material. Se fabrican en pesos por unidad de área que van desde 200-1400 g/m² y con espesores de 0,7 a 1,5 mm.

.

⁴⁶ http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/388/1/68412C965.pdf

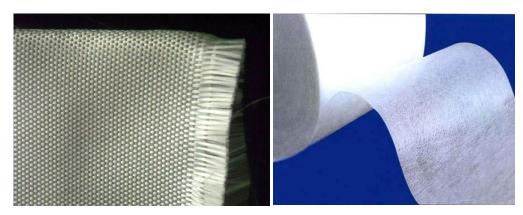


Figura 2.73 Distintos tejidos de la fibra de vidrio **Fuente:** www.spanishalibaba.com

2.5.2 Propiedades

- Buen aislante eléctrico incluso en espesores reducidos, además presentan una alta permeabilidad dieléctrica.
- Incombustibilidad, al ser un material mineral, la fibra de vidrio es ignífuga por naturaleza, no propaga las llamas ni origina con el calor humos ni toxicidad.
- Estabilidad dimensional, poco sensible a las variaciones de temperatura y humedad, además de tener un bajo coeficiente de dilatación.
- Compatibilidad con la mayoría de matrices orgánicas, la capacidad de recibir diferentes ensimajes creando un puente de unión entre el vidrio y la matriz le confiere la posibilidad de asociarse con numerosas resinas sintéticas, así como ciertas matrices minerales, tales como el yeso y el cemento.
- Alta relación peso-resistencia.
- Facilidad de fabricación y costo relativamente bajo⁴⁷.

Rugosidad	Densidad	Carga	Elongación	Esfuerzo
Promedio(um)	promedio (gr/cm3)	máxima (N)	(mm/mm)	máximo (GPa)
21.30 ± 6.12	2.55	0.58 ± 0.15	0.023 ± 0.009	3.6 ± 2.52

Figura 2.74 Propiedades Físicas y Mecánicas de la Fibra de vidrio en General **Fuente:** http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/download/4901/2743

-

⁴⁷ MIRAVERTE, Antonio: *Materiales Compuestos 1*, Editorial Reverte, 2007

2.5.3 Rugosidad

Conjunto de las irregularidades superficiales de paso relativamente pequeño, correspondiente a las huellas dejadas en la superficie real por el procedimiento de elaboración u otras influencias.

2.5.3.1 Parámetros

Longitud básica (L): es la longitud del perfil geométrico, medida sobre la superficie geométrica del perfil efectivo, elegida para evaluar la rugosidad.

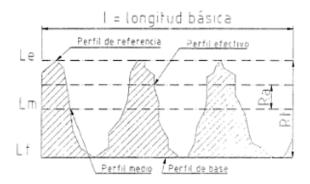


Figura 2.75 Perfil de Rugosidad Norma ISO R469

Fuente: MORO, María: Metrología, introducción, conceptos e instrumento, Universidad de Oviedo

Longitudes Básicas						
L (mm.)	0,08	0,25	0,8	2,5	8	25

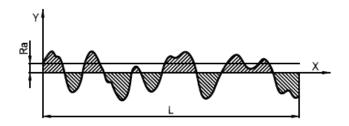
Figura 2.76 Longitudes Básicas

Fuente: http://www.liceoaer.cl/v.7/index.php/2011-11-06-20-46-49/category/62-proyectos-mecanicos?download=32:calidades-superficiales

Le: Es la línea imaginaria que pasa por los puntos más prominentes de las crestas, es paralela a Lm y corresponde al perfil de referencia

Valor de rugosidad Ra media aritmética del perfil: Media aritmética de los valores absolutos de las desviaciones del perfil, en los límites de la longitud básica l. ⁴⁸

⁴⁸ MORO, María: *Metrología, introducción, conceptos e instrumento*, Universidad de Oviedo



Ra=DESVIACION MEDIA ARITMETICA DE LA RUGOSIDAD L=LONGITUD BASICA

Figura 2.77 Desviación media de la Rugosidad

Fuente: http://www.liceoaer.cl/v.7/index.php/2011-11-06-20-46-49/category/62-proyectos-mecanicos?download=32:calidades-superficiales

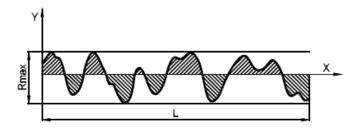
	CLASE DE RUGOSIDAD		N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12
	Ra	μ m	0,025	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	6,3	12,5	25	50
		μin	1	2	4	8	16	32	63	125	250	500	1000	2000

Tabla 2.18 Rugosidad Equivalencia Escala N-um

Fuente: http://www.liceoaer.cl/v.7/index.php/2011-11-06-20-46-49/category/62-proyectos-mecanicos?download=32:calidades-superficiales

Lm: Es la línea imaginaria trazada de tal forma que el área de las salientes sea igual al de los valles y corresponde al perfil medio

Altura máxima del perfil, Ry: Distancia entre el pico de cresta más alto y el fondo del valle más profundo dentro de la longitud básica.



Rmax=DESVIACION MAXIMA ENTRE PICO Y VALLE L=LONGITUD BASICA

Figura 2.78 Desviación máxima entre pico y valle **Fuente:** http://www.liceoaer.cl/v.7/index.php/2011-11-06-20-46-49/category/62-proyectosmecanicos?download=32:calidades-superficiales

2.5.3.2 Ensayo de Rugosidad

Primer paso es la calibración del instrumento con la utilización de un patrón conocido por el instrumento que este caso es de 9,2 um.



Figura 2.79 Patrón del instrumento **Fuente:** Los Autores





Figura 2.80 Calibración del Instrumento Fuente: Los Autores

Posteriormente se procedió a medir la rugosidad del material, utilizando una probeta que contiene las mismas propiedades físicas que el interior del colector de admisión. Las mediciones se realizaron en tres zonas aleatorias para comprobar la rugosidad del material utilizando el parámetro Ry del instrumento que realiza un promedio con la máxima medición obtenida en cada uno de los muestreo, en este caso 3, cada uno de 2,5mm.



Figura 2.81 Ensayo de rugosidad sobre la probeta **Fuente:** Los Autores

2.5.3.3 Parámetros para la medición:

3 Muestreos de 2,5 mm cada uno

Escala x = 2.5 mm/ div

Escala y = 20 um / div

Primera Prueba

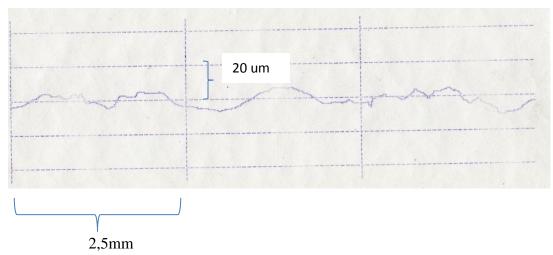


Figura 2.82 Primer ensayo de rugosidad Fuente: Los Autores

Resultado:

Ry = 16,4 um

Segunda Prueba

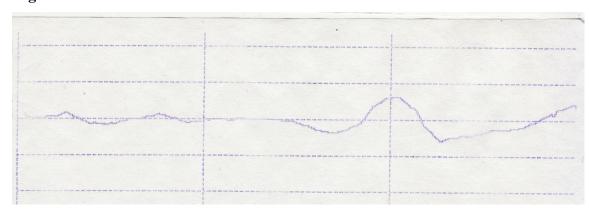


Figura 2.83 Segundo ensayo de rugosidad Fuente: Los Autores

Ry = 19,1 um

Tercera Prueba

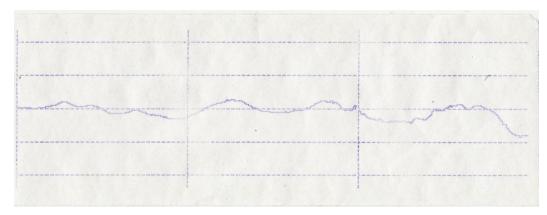


Figura 2.84 Tercer ensayo de rugosidad Fuente: Los Autores

Ry = 24,5 um

2.5.3.4 Resultados

Finalmente realizando un promedio de cada una de las mediciones se obtiene una rugosidad de 20 um en el material, que es equivalente a una rugosidad obtenida en una pieza mecanizada con un torno o una fresadora.

	Fibra de Vidrio	Acero Inoxidable (Rectificado)	Fundición de Hierro
Rugosidad	20 um	2,7 um	34,7 um

Tabla 2.19 Rugosidades de diferentes materiales medidos **Fuente:** Los Autores

2.6 Proceso de fabricación del colector de admisión

Una vez elegido el material con el que se va a realizar el colector (fibra de vidrio), procedemos a la fabricación del molde, del cual partimos con espuma de poliuretano debido a su fácil manipulación y su gran versatilidad.

2.6.1 Preparación de la espuma de poliuretano

La espuma de poliuretano (espuma PU) es un material plástico poroso formado por una agregación de burbujas. Se forma básicamente por la reacción química de dos

compuestos, un poliol y un isocianato, aunque su formulación necesita y admite colectores variantes y aditivos. Dicha reacción libera dióxido de carbono, gas que va formando las burbujas.⁴⁹



Figura 2.85 Isocianato y resina de inyección Fuente: Los Autores

Para la preparación y posterior manipulación se recomienda el uso de guantes quirúrgicos, mascarillas, vasos y fundas plásticas.

Para empezar se construyó un molde base, para obtener una forma básica y sobredimensionada del colector. Fue construido de planchas de plywood y recubierto de funda plástica como desmoldante.

Se procedió a verter el isocianato y la resina de inyección en vasos separados y en proporciones iguales, para obtener una mezcla teórica de 50/50.

Mezclamos las dos sustancias dentro de una funda plástica y procedemos a agitar hasta obtener una mezcla viscosa y un poco caliente, para inmediatamente esparcirla uniformemente sobre el molde base elaborada de plywood. A partir de ello es necesario esperar aproximadamente 10 minutos hasta que se expanda y seque la espuma; con ello quedaría lista para su manipulación y moldeo.

_

⁴⁹ http://es.wikipedia.org/wiki/Espuma_de_poliuretano



Figura 2.86 Moldeado de la espuma de poliuretano **Fuente:** Los Autores

Con la ayuda de estiletes y varios tipos de lijas a se procedió a moldear la espuma hasta obtener la forma deseada, ayudados de planos y plantillas del colector a escala real.



Figura 2.87 Moldeado de la espuma de poliuretano **Fuente**: Los Autores



Figura 2.88 Espuma moldeada con materiales para su masillado. Plenum masillado **Fuente:** Los Autores

Una vez lograda la forma deseada se necesita darle un acabado liso para el fácil desmoldeo, el acabado interior liso ayuda al ingreso del aire en el proceso de admisión una vez ya construido. Esto se logra con la utilización de masilla automotriz, varias lijas y pintura de esmalte para el acabado final.



Figura 2.89 Molde acabado Fuente: Los Autores

Para la fabricación de los tubos del colector se utilizó como molde tubos de acero de 1 1/4", igualmente con acabado liso mediante lijas y pintura.

2.6.2 Manejo de la fibra de vidrio

Materiales empleados

- 1. Resina
- 2. Secante o catalizador
- 3. Fibra de vidrio
- 4. Desmoldante
- 5. Cera para pisos
- 6. Gerco (Resina + pigmento)
- 7. Disolvente
- 8. Guantes quirúrgicos
- 9. Mascarillas
- 10. Gafas de protección
- 11. Brochas
- 12. Vasos plásticos

2.6.2.1 Procedimiento

- Primero se aplicó desmoldante al molde. Es necesario colocar unas tres capas esperando que se seque cada capa antes de colocar la próxima.
- Se colocó cera para pisos con waipe. Se pulió hasta que quede brillosa toda la superficie. Se requiere de aproximadamente de tres pasadas.
- A continuación se aplicaron tres capas de Gerco con una brocha, esperando aproximadamente 5 min entre capa y capa, además lavar la brocha después de cada pasada con disolvente. Este recubrimiento es el que da acabado a la superficie, por lo que se recomienda aplicarlo varias veces.
- Se mezcló la resina con el catalizador en medidas exactas.
- Una vez que esté casi seco el Gerco se procedió a aplicar una capa de resina más catalizador con fibra de vidrio. La aplicación de la realiza de forma constante con una brocha. Se puede colocar varias capas según lo requerido (el colector necesitó dos capas), evitando en lo posible la generación de burbujas entre capas.



Figura 2.90 Proceso de fabricación con fibra de vidrio Fuente: Los Autores

2.6.2.2 Desmoldeo

Se utilizó el dremel para cortar recubrimiento de fibra de vidrio para la extracción del molde debido a la complejidad de la pieza. Igual se lo hizo con los tubos del colector.



Figura 2.91 Desmoldeo del plenum Fuente: Los Autores

2.6.2.3 Unión de piezas del colector

Una vez desmoldadas cada una de las piezas del colector, se procedió a unirlas con la misma fibra de vidrio, procurando hermeticidad y sobre todo simetría de la pieza.

Se vio necesario fabricar una base para el cuerpo de aceleración, tapa inferior del plenum y una placa para la sujeción del colector. Cada parte igual fue unida al colector con fibra de vidrio.



Figura 2.92 Despiece del colector: trompetas, base para el restrictor y el plenum **Fuente:** Los Autores

2.6.2.4 Acabado final

Una vez unidas todas las piezas se procedió a darle un acabado exterior liso con la ayuda de lija y de masilla de aplicación automotriz.



Figura 2.93 Acabado con fibra de vidrio. Acabado con masilla y lija
Fuente: Los Autores

Con lo anterior hecho es posible realizar los taladrados correspondientes para la adaptación de los diferentes sensores que alberga el colector. El colector incluye una toma para el sensor de depresión (MAP), además de un agujero para la adaptación del sensor de temperatura del aire de entrada al motor (IAT).

Es necesario comprobar la hermeticidad del colector para asegurar que todo el aire aspirado pase por la restricción. Se procedió a sumergirlo dentro de un recipiente de agua y con la ayuda de aire comprimido se constató que no existía ninguna fuga.



Figura 2.94Comprobación de hermeticidad **Fuente:** Los Autores

Como acabado final se procedió a pintar el colector con pintura automotriz, dándole una apariencia vistosa y estética.



Figura 2.95 Colector acabado Fuente: Los Autores

CAPÍTULO III. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN Y SISTEMA DE CONTROL ELÉCTRICO, CONFORME LAS NORMATIVAS DEL REGLAMENTO.

3.1 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE

3.1.1 Sistema original de la motocicleta

Originalmente la moto posee sistema de alimentación mediante inducción, utilizando carburadores individuales marca Mikuni BDST32 (Diámetro de 32 mm). El combustible recomendado para la motocicleta es de cualquier tipo sin contenido de plomo.



Figura 3. 1 Sistema de alimentación original de la motocicleta **Fuente:** Los Autores

El sistema de encendido es dado por un sistema DIS de chispa perdida, el cual brinda un aceptable comportamiento para el funcionamiento estable del motor.

La moto originalmente contaba con un depósito de combustible con una capacidad de 18 litros, claro que limitado al espacio disponible para su adaptación, logrando una autonomía aproximada de 200 Km.

3.1.2 Requerimientos de la competencia

Según las normativas y exigencias por parte de la Formula SAE es necesario implementar ciertos elementos que son propios de competencias a nivel mundial.

El caso de las mangueras que conducen y transportan el combustible tienen que cumplir ciertas características como:

- Construidas con metal trenzado para elevar las características mecánicas y con ello evitar posibles accidentes.
- Recubrimiento interno resistente al combustible. Se recomienda el nitrilo.
- Material flexible

Para nuestro caso utilizamos los acoples respectivos para las mangueras de metal trenzado, dichos acoples son de aluminio con una sujeción de 360 grados, permitiendo una unión perfecta entre mangueras o para la implementación de otros elementos como son el filtro, bomba de combustible, etc.

Los requerimientos del tanque de combustible son:

- Se puede utilizar aluminio con soldadura TIG de preferencia.
- Es mejor la bomba fuera ya que es menos complicado para reparar en situaciones urgentes
- Colocar la bomba preferiblemente bajo el tanque, (ojo impurezas en el fondo del tanque).
- La boca de llenado debe estar dentro del side impact.
- El tanque debe tener un tapón de vaciado si así lo requieren los jueces. Debe existir consideraciones para el diseño o puede ser vaciado haciendo funcionar la bomba.

Según las exigencias anteriores se ve necesaria la adquisición de varios elementos que cumplan a cabalidad el reglamento.

3.1.2.1 Riel de combustible

Riel de combustible universal de 10 pulgadas de longitud, construido de aluminio extruido para soportar altas presiones y lograr rápida evacuación de calor.

Elemento utilizado para todo tipo de competencias debido a su adaptabilidad y opciones de configuración, permitiendo la instalación de acoples y líneas de combustible normalizadas, previamente se debe realizar el mecanizado y el roscado para su instalación.



Figura 3.2 Riel de inyectores en 3D Fuente: Los Autores

3.1.2.2 Regulador de presión de combustible

El regulador de presión está ubicado a un costado del riel de inyectores. Este elemento es necesario para el cumplimiento del reglamento, ya que se deben utilizar uniones roscadas entre los diferentes elementos del sistema de alimentación.



Figura 3.3 Regulador de presión en 3D **Fuente:** Los Autores

Posee características propias de partes de competición, como es su sistema de regulación de presión, permitiéndose adaptarse en cualquier tipo de motor. Posee su propio reloj de medición, brindándonos una lectura del funcionamiento a cualquier régimen de funcionamiento. Además incluye sus propios acoples, de medida 6AN.

3.1.2.3 Bomba de combustible

La alimentación de combustible desde el tanque hasta el riel de inyectores es impulsada mediante una bomba originaria de un vehículo marca Hyundai.

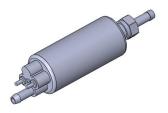


Figura 3.4 Bomba de combustible en 3D **Fuente:** Los Autores

Se optó por la bomba del modelo Getz por su costo relativamente bajo y su disponibilidad dentro de nuestro mercado.

Características de la bomba de combustible		
Tipo	Eléctrica	
Voltaje de alimentación	12 V	
Presión normal aportada	50 psi	
Refrigeración	Mediante gasolina	
Ubicación	Sumergida en el tanque	

Tabla 3.1 Características de la bomba de combustible del Hyundai Getz **Fuente:** Software: Mitchell on demand

3.1.2.4 Filtro de combustible

Se utiliza filtro en línea de alto flujo con una capacidad de tamizaje de 25 micrones. Este elemento permite la utilización de los acoples necesarios para las líneas de combustible.



Figura 3.5 Filtro de combustible en 3D **Fuente:** Los Autores

3.1.2.5 Acoples de combustible

Se utilizó acoples de aluminio de altas prestaciones, utilizados en el mundo automovilístico. Se utilizó acoples rectos y de 90 grados para mayor adaptabilidad dentro del habitáculo del motor. Además de ocupó uniones y pernos todos de medida 6AN.

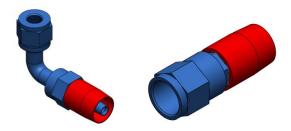


Figura 3.6 Acoples de combustible en 3D **Fuente:** Los Autores

3.1.2.6 Inyectores de combustible

Inyectores de alta impedancia con una resistencia de 13,2 ohmios, propios de vehículos de alto rendimiento. Se realizó el mecanizado de las trompetas de la admisión originales de la motocicleta para el acoplamiento de dichos inyectores.



Figura 3.7 Electroválvula o inyector de combustible en 3D Fuente: Los Autores

3.1.2.7 Mangueras de combustible

Las mangueras utilizadas de metal trenzado tienen como recubrimiento interior el nitrilo, compuesto necesario para evitar la degradación temprana debido a los compuestos del

combustible. Poseen además la capacidad de resistir altas presiones internas, junto con una resistencia externa en caso de accidentes.



Figura 3. 8 Mangueras de combustible de metal trenzado

Fuente: Los Autores

3.1.2.8 Diseño del tanque de combustible

Nos valemos del software para el modelado del tanque de combustible, diseñándolo de tal forma que se adapte de la mejor forma a la carrocería del monoplaza, posee una concavidad para sumergir por completo la bomba en combustible, así como las sujeciones para dicha, además caídas en las paredes para garantizar que la bomba siempre tenga combustible que aspirar.

Es necesaria la adaptación de un rompeolas en lugares estratégicos para evitar el chapoteo del combustible.

El tanque posee dos tapas: una para servicio, en caso de necesitar extraer la bomba de combustible y el otro para la sujeción de acoples de combustible, tanto de salida y retorno, así como la toma eléctrica.

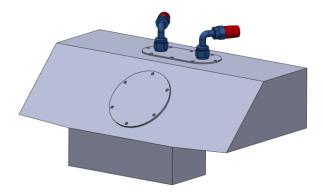


Figura 3.9 Tanque de combustible en 3D **Fuente:** Los Autores

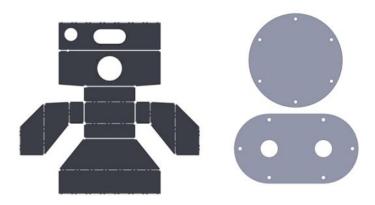


Figura 3.10 Chapa desplegada del tanque y tapas en 3D **Fuente:** Los Autores

3.1.2.9 Construcción del tanque de combustible

El material que se utilizó fue aluminio de 2 mm cortado con agua y sellado con soldadura TIG. Para la boca de llenado se utilizó tubo de aluminio de dos pulgadas. Los rompe olas y bases están construidas igual de aluminio. Para la perfecta hermeticidad de las tapas se utilizó además de pernos, silicona resistente al combustible.



Figura 3. 11 Soldado y armado del tanque de combustible Fuente: Los Autores

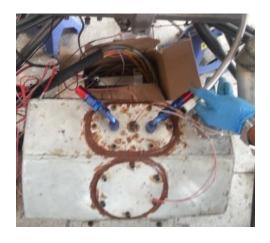


Figura 3.12 Tanque terminado Fuente: Los Autores

3.1.2.10 Instalación de los acoples a las mangueras

Se realiza la instalación meticulosa evitando malas uniones y posibles fugas de combustible. La longitud de las mangueras debe ser exacta y poseer cortes precisos para una fácil instalación de los acoples.



Figura 3.13 Instalación de acoples **Fuente:** Los Autores

3.1.2.11 Adaptación del sistema de alimentación

Se procede a la implementación de las nuevas trompetas perforadas para que den cabida a los inyectores, adaptación del riel de inyectores, regulador de combustible, instalación del tanque de combustible y conexión de mangueras.

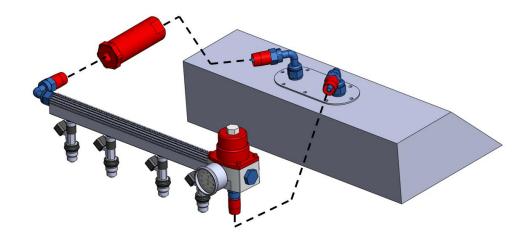


Figura 3.14 Disposición final del sistema de combustible Fuente: Los Autores

3.2 Diseño del sistema eléctrico

Basados en las normativas estipuladas en el reglamento, el circuito principal de alimentación eléctrica debe poseer características que precautelen la seguridad del piloto en caso de accidente, cortando todo suministro de energía y deteniendo de inmediato la marcha del vehículo.

El cableado general proporciona energía eléctrica a los componentes del vehículo y señales de datos que se dirigen desde los sensores a la ECU. Los esquemas son necesarios cuando se conecta el sistema eléctrico en el vehículo. También es muy útil para la localización de averías y reparación del sistema en caso de fallas.

El diseño de los esquemas en los vehículos es un proceso iterativo en el que se añade información puntual de la elaboración del diseño eléctrico. Los esquemas incluyen la especificación de componentes, conexiones de los componentes, unidad de control del motor, generador, motor de arranque, bomba de combustible, fuente de alimentación y los referentes interruptores de parada del vehículo.

Para evitar perturbaciones en los cables que transportan señales estos se encuentran separados de los cables que transportan corrientes elevadas y el uso de cables con recubrimientos son empleados en zonas altas de perturbación cerca del motor.

3.2.1 Componentes eléctricos

El circuito de parada del vehículo consta de dos interruptores maestros que son del tipo enclavamiento y accionados manualmente ubicados uno en la parte exterior del vehículo, en lado derecho del conductor controla los sistemas de alta tensión del circuito de apagado del motor el segundo interruptor ubicado en el habitáculo del conductor lo más cerca posible del mismo para la activación y controla los sistemas de baja tensión.

3.2.1.1 Interruptor maestro primario

Este interruptor cuenta con 6 pines de conexión que son de óptima aplicación para vehículos con alternadores. Los contactos principales desconecta la batería mientras los contactos auxiliares desconectan las bobinas de encendido y la tensión de salida del alternador a tierra a través de una resistencia de 3 ohmios que se conecta al interruptor. Este interruptor soporta el paso de corrientes de 100 A en un funcionamiento continuo. ⁵⁰

En caso de desconexión de la batería cuando el motor esté operando el alternador puede sufrir daños por picos de voltaje, estos picos de voltaje pueden evitarse dando la salida de tensión del alternador a través de una vía segura a tierra cuando el interruptor este apagado.

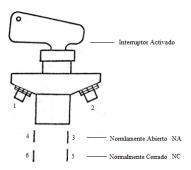


Figura 3.15 Diagrama esquemático master switch **Fuente**: https://www.pegasusautoracing.com/pdfs/4430WiringInstructions.pdf

-

⁵⁰ https://www.pegasusautoracing.com/productdetails.asp?RecID=1464

El grupo de contactos auxiliar tiene 2 posiciones NA - NC, con el interruptor encendido los contactos 4 - 3 permanecen abiertos y hacen contacto cuando el interruptor es apagado.

Cuando el alternador aún mantiene el giro permite que el motor siga en un funcionamiento aun cuando se haya desconectado la batería, el conjunto de contactos 5 – 6 interrumpe el circuito de encendido cuando el interruptor está desactivado. ⁵¹



Figura 3.16 Master switch **Fuente:** https://www.pegasusautoracing.com/bigpicture.asp?RecID=1464

El interruptor debe ir acompañado de un símbolo que indique la ubicación del mismo y que marque la posición de apagado "OFF" que al activar el interruptor toda la energía del vehículo se interrumpa.



Figura 3.17 Símbolo de identificación del interruptor master switch **Fuente:** https://www.pegasusautoracing.com/productdetails.asp?RecID=1011

 $^{^{51}\} https://www.pegasusautoracing.com/pdfs/4430 Wiring Instructions.pdf$

3.2.1.2 Interruptor maestro secundario:

El interruptor maestro instalado en el interior de la cabina responde a la necesidad de interrumpir el circuito de encendido y alimentación de la bomba de combustible, propiciando una interrupción de los circuitos de carga de la batería provocando que el motor se para en caso de emergencia.

Capacidad nominal del interruptor		
Capacidad	150 A de funcionamiento continuo	
Alternador	120 A	
Batería	2000 A de Sobretensiones	

Tabla 3.2 Capacidad nominal del interruptor **Fuente:** http://www.flamingriver.com/index.php/products/c0015/s0001/FR1013



Figura 3.18 Interruptor maestro secundario **Fuente:** http://www.dragracingonline.com/itsnew/ix_4-1.html

3.2.1.3 Batería

Por prioridad se emplean baterías de peso reducido y tamaño compacto por la disponibilidad del espacio en el vehículo.

Datos Técnicos		
Capacidad 17.5 AH		
Voltaje	12	
Terminales	Anillo número 10	
Peso	14.3 lb.	
Tamaño	7.13" Longitud * 2.99" Ancho * 6.57" Altura	

Tabla 3.3 Especificaciones técnicas de la batería **Fuente:** https://www.pegasusautoracing.com/productdetails.asp?RecID=115



Figura 3.19 Batería **Fuente:** https://www.pegasusautoracing.com/bigpicture.asp?RecID=115

3.2.1.4 Interruptor de ignición y arranque

Interruptor de ignición soporta corrientes de hasta 40 A como máximo es el encargado de permitir el paso de corriente desde la batería a la ECU, de este interruptor también se derivan otras tensiones de voltaje, para el que se alimentaran el resto de componentes electrónicos que forman parte del sistema eléctrico como bomba de gasolina, sensores, etc.

El interruptor de arranque permite la alimentación al motor eléctrico para los primeros giros del motor térmico, es de accionamiento manual y retorno por muelle, para evitar que el mismo quede activado permanente mente durante la operación de arranque del motor térmico.



Figura 3.20 Interruptor de Ignición y de arranque **Fuente:** https://www.pegasusautoracing.com/bigpicture.asp?RecID=1479

3.2.1.5 Motor de arranque

Encargado de los primeros giros del motor por medio de un piñón de engranes rectos unido directamente al volante motor con una relación de giro 4.125:1, para la puesta en marcha del motor de combustión interna. ⁵²

Especificaciones		
Diámetro del Conmutador	Mínimo 27 mm	
	Estándar 28 mm	
Longitud de las Escobillas	Mínimo 4.0 mm	
	Estándar 12.5 mm	

Tabla 3.4 Especificaciones técnicas del motor de arranque **Fuente:** AHLSTRAND, Alan y HAYNES John, *Yamaha FZR 600 & 1000 Fours*, Editorial Haynes, California-USA, 2000.

3.2.1.6 Alternador

El sistema de carga constituido por el alternador movido con el giro del eje del cigüeñal y el rectificador que es la unidad encargada de transformar la corriente alterna en corriente continua para la carga de la batería y mantener al sistema de alimentación en los valores especificados por el fabricante.

Especificaciones		
Voltaje de Salida	12V – 21A @ 5000 rpm	
Voltaje sin carga	14.3 a 15.3 V @ 3000 rpm	
Resistencia de la bobina del estator	0.31 a 0.37 Ohms	

Tabla 3.5 Especificaciones técnicas del alternador **Fuente:** AHLSTRAND, Alan y HAYNES John, *Yamaha FZR 600 & 1000 Fours*, Editorial Haynes, California-USA, 2000.

 $^{^{52}}$ AHLSTRAND, Alan y HAYNES John, Yamaha FZR 600 & 1000 Fours, Editorial Haynes, California-USA, 2000.

3.2.2 Esquema eléctrico del sistema de parada

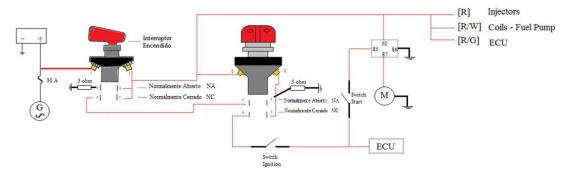


Figura 3. 21 Esquema eléctrico del circuito de parada Fuente: Los Autores

3.2.3 Instalación eléctrica

Para el conexionado eléctrico se empleó el uso de cables tipo AWG con las siguientes características.

Codigo AWG	Diametro del conductor (mm)	Ohmios por kilometro	Amperaje maximo para distancias cortas	Amperaje maximo para distancias largas
0000	11.684	0.16072	380	302
000	10.40384	0.202704	328	239
00	9.26592	0.255512	283	190
0	8.25246	0.322424	245	150
1	7.34822	0.406392	211	119
2	6.54304	0.512664	181	94
3	5.82676	0.64616	158	75
4	5.18922	0.81508	135	60
5	4.62026	1.027624	118	47
6	4.1148	1.295928	101	37
7	3.66522	1.634096	89	30
8	3.2639	2.060496	73	24
9	2.90576	2.598088	64	19
10	2.58826	3.276392	55	15
11	2.30378	4.1328	47	12
12	2.05232	5.20864	41	9.3
13	1.8288	6.56984	35	7.4
14	1.62814	8.282	32	5.9
15	1.45034	10.44352	28	4.7
16	1.29032	13.17248	22	3.7
17	1.15062	16.60992	19	2.9
18	1.02362	20.9428	16	2.3
19	0.91186	26.40728	14	1.8
20	0.8128	33.292	11	1.5

Figura 3.22 Código de cables AWG

Fuente: http://asterion.almadark.com/2010/05/31/calibre-de-conductores-y-su-amperaje-maximo/

Cortar el cable de la batería e instalar terminales de anillo 3/8 en el interruptor maestro primario, para dicha conexión se emplea un cable de calibre 6 AWG, los cables que se deben conectar en la entrada del interruptor provienen de la batería y el Alternador, evitando con este tipo de conexión que la alimentación sea realimentada a los componentes eléctricos cuando se desactive el interruptor maestro primario.

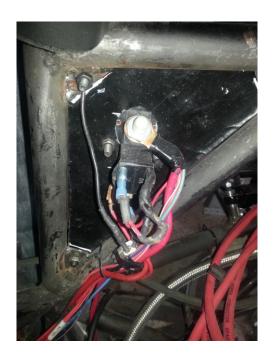




Figura 3.23 Instalación Eléctrica Fuente: Los Autores

La resistencia de 3 Ohmios que viene en conjunto con el interruptor se conecta en los conectores auxiliares normalmente abiertos, cuando se desactive el interruptor la tensión de la batería y el alternador circulen a masa y no se den picos de tensión, para dicho conexionado se emplea cables de calibre 14 AWG.

Entre los 2 conjuntos de conectores auxiliares se hace un conexionado en paralelo que distribuya la corriente que circula por la salida del terminal principal del interruptor maestro primario y a su vez de este interruptor se distribuirán las corrientes para los componente como el relé del arranque, bobina, inyectores, ECU, la alimentación del interruptor maestro instalado en el habitáculo del conductor, para dicho conexionado se

emplean cables de calibre 12 AWG, solo para la alimentación del interruptor del habitáculo de emplea calibre 10 AWG.





Figura 3.24 Instalación del interruptor secundario de emergencia **Fuente:** Los Autores

El interruptor instalado en la cabina recibe tensión del interruptor primario por su conexionado en serie, del interruptor de la cabina se derivan tensiones para el interruptor de ignición, interruptor de sobre recorrido y el interruptor del arranque, con la desactivación del interruptor de cabina se corta la alimentación de la ECU, la misma que controla bobinas y bomba de combustible, los calibres de los cables empleados son 12 AWG.

Este interruptor montado en la cabina también cuenta con una resistencia de 3 Ohmios que deriva a masa cuando el interruptor este en posición de apagado, cortando la alimentación de los componentes eléctricos.





Figura 3.25 Instalación del interruptor de arranque e ignición **Fuente:** Los Autores

Los interruptores de ignición y arranque del motor están montados en una placa, la cual informa la operación de estos interruptores con el encendido de una luz roja, del interruptor de switch se derivan las alimentaciones para la Unidad de Control Electrónica y el interruptor de arranque, que con su activación controla un relé para el giro del motor eléctrico. El conexionado para los diferentes interruptores es de calibre 12AWG.

3.3 Implementación del sistema electrónico de control del motor

3.3.1 Computadora reprogramable

La computadora reprogramable marca Haltech es de fácil instalación, y viene incorporada con un arnés de cables y una caja de fusibles que facilite su uso, el conexionado se lo realiza siguiendo el manual del usuario.



Figura 3. 26 Instalación de la computadora reprogramable Fuente: Los Autores

Posteriormente se requiere la adaptación de cada uno de los sensores, que serán descritos a continuación.

3.3.2 Sensor TPS

Es de efecto Hall sin contacto, en donde un imán y un sensor de efecto Hall son utilizados, trabaja con en el principio de efecto Hall, en el que el imán es la parte dinámica del elemento al montarse sobre el vástago de la válvula de la mariposa y el sensor de efecto Hall se monta con el cuerpo y es estacionario.

Cuando el imán es montado en el husillo que se hace girar desde cero, hay un cambio en el campo magnético para el sensor de efecto Hall. El cambio en el campo magnético es detectado por el sensor de efecto Hall y el voltaje generado se da como entrada a la ECU⁵³.



Figura 3. 27 Sensor TPS efecto hall **Fuente:** Los Autores

Características		
Vida útil habitual	Más de 9 veces la vida útil de un sensor normal	
Rango de Operación habitual de temperatura	-40 hasta 140 ° C, con excursiones a +170 ° C	
Rangos de Medida	Rango de medida 20 a 360 ° en incrementos de	
	1 °	
	12 bits de resolución (0,025%) en el rango	
	angular	
Salida de Señales	12 bits de resolución (0,025%) en el rango	
	angular	
	Analógico (0,5-4,5 o 0.1 - 4.9Vdc) o salidas	
	PWM	

Tabla 3. 6 Características del Sensor TPS

Fuente: http://www.pennyandgiles.com/Products/Rotary-Position-Sensors/Contactless-Throttle-Position-Sensor-Dual-TPS280DP.aspx

3.3.3 Sensor MAP

Este sensor permite determinar la presión absoluta, a la que se encuentra sometido el colector de admisión y debe ser instalado, buscando la equidad de distancia entre cada uno de los cilindros.

143

_

 $^{^{53}\} http://irvii.blogspot.com/2012/05/sensor-tps.html (recuperado 13/12/2013)$

3.3.3.1 Curva característica

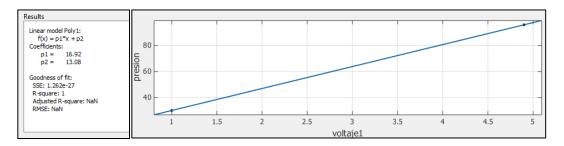


Figura 3. 28 Curva característica sensor MAP interno de la ECU (KPa/Voltios) **Fuente:** Software Haltech

3.3.4 Sensor ECT

Es un termistor de tipo NTC (Negative Tempetrature Sensor), que varía su resistencia eléctrica en función de la temperatura a la que está sometido el líquido refrigerante en el interior del motor. En este caso se encuentra ubicado en la carcasa del termostato.



Figura 3. 29 Instalación del sensor ECT Fuente: Los Autores

3.3.4.1 Curva característica

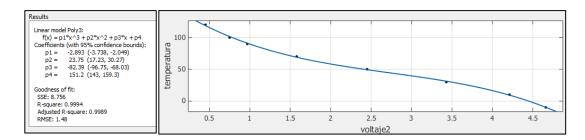


Figura 3. 30 Curva característica sensor ECT Fuente: Software Haltech

3.3.5 Sensor IAT

Al igual que el sensor ECT es un termistor que varía su resistencia eléctrica en función de la temperatura, se encuentra ubicado en el colector de admisión y permite determinar la temperatura del aire a la entrada del motor.



Figura 3. 31 Instalación del sensor IAT Fuente: Los Autores

3.3.5.1 Curva característica

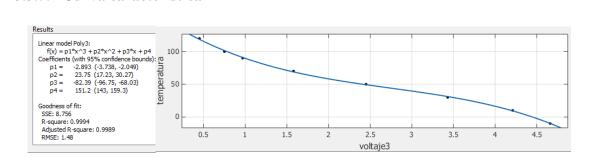


Figura 3. 32 Curva característica sensor IAT Fuente: Software Haltech

3.3.6 Sensor de oxígeno de banda ancha

Este tipo de sensor permite identificar con precisión la relación aire combustible a la salida del colector de escape con mezclas que oscilan entre 10.0:1 - 20.0:1, o factores lambda de 0.68 (rica) -1.36 (pobre).



Figura 3. 33 Modulo del sensor de banda ancha Fuente: Los Autores

3.3.6.1 Curva característica

Este sensor está regido por la siguiente curva característica.

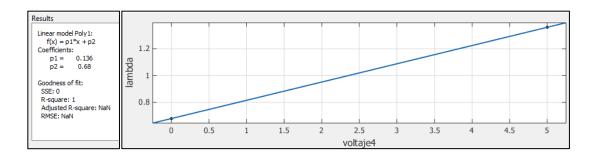


Figura 3. 34 Curva característica sensor de oxígeno de banda ancha **Fuente:** Software Haltech

3.3.6.2 Instalación del sensor de oxígeno

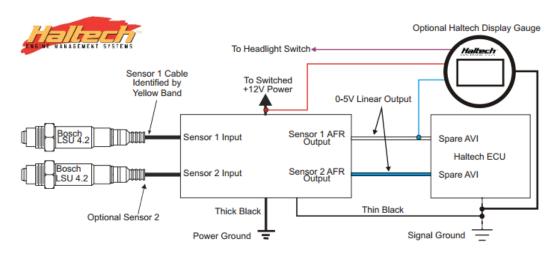


Figura 3. 35 Cableado del sensor de oxigeno Fuente: Software Haltech

3.3.6.3 Calibración del sensor

Después de haber instalado el sensor, se requiere una calibración de aire libre, para ello se tiene que girar los potenciómetros de calibración de aire libre en sentido anti horario por completo; esperar por 60 segundos para que el sistema se estabilice completamente.

Finalmente se gira lentamente cada calibración de aire libre del potenciómetro en sentido horario hasta que el LED correspondiente comience a parpadear a un ritmo rápido y tratar de ajustar cada potenciómetro en el punto en el que el LED apenas empiece a parpadear.

La calibración de aire libre se debe realizar cada 300-800 km en vehículos que usen gasolina sin plomo y cada 2-5 horas para la gasolina con plomo⁵⁴.

3.3.7 Sensor CMP y CKP efecto HALL

Por la limitación de espacio en el motor y en el monoplaza se optó por la utilización de un único sensor tipo CAS que permite tener el sensor CMP y CKP sobre la misma rueda fónica, instalada sobre el árbol de levas de admisión.

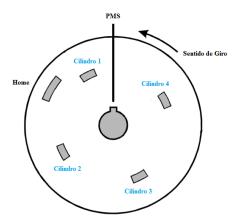


Figura 3. 36 Disposición de cada uno de los imanes sobre la rueda fónica **Fuente:** Software Haltech

Consiste en la utilización de un sensor efecto Hall, más el uso de 5 imanes, 4 con una polaridad norte que identifican la posición de cada uno de los cilindros y el último con

-

http://www.haltech.com/wp-ontent/uploads/2011/01/Haltech_Dual_Channel_Wideband_Instructions_Platinum_Specific2.pdf (recuperado 12/12/2013)

una polaridad contraria que funciona como un sensor CMP identificando el anticipo del punto muerto superior en fase de compresión.

En la figura presentada más abajo se ilustra el comportamiento de los Sensores CMP y CKP montados sobre el árbol de levas de admisión.

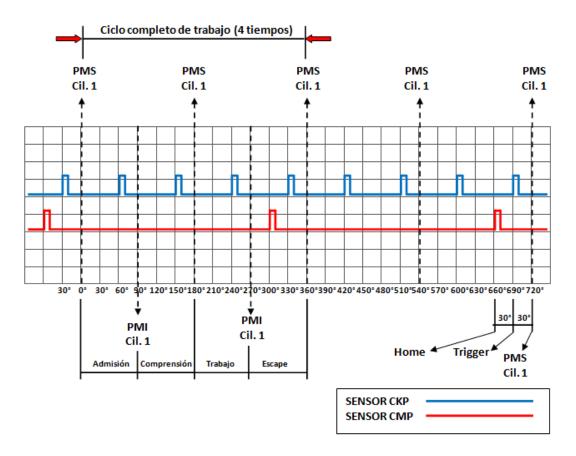


Figura 3.37 Comportamiento de los sensores CMP y CKP montados sobre el árbol de levas de admisión Fuente: Los Autores

Una vez instalado el sensor sobre el árbol de levas y con el uso de un osciloscopio se verifico la señal que entrega este, para posteriormente ser calibrado.

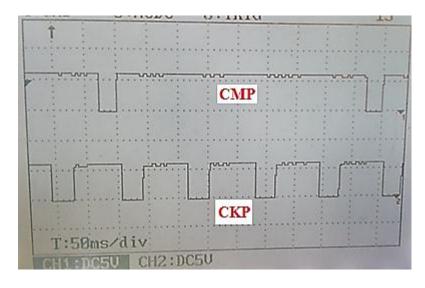


Figura 3. 38 Visualización del sensor CMP y CKP Fuente: Los Autores

3.3.7.1 Calibración

En este punto se verifica el adelanto exacto que existe entre la señal del Home y el PMS al final de la carrera de compresión, ingresando en el comando Trigger Angle, el ángulo necesario para que coincida la marca de 0° con el PMS y la utilización de la lámpara estroboscópica.

PMS fase de compresión

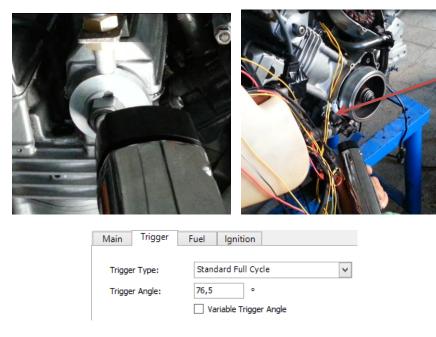


Figura 3.39 Calibración del sensor CKP y CMP Fuente: Los Autores

3.3.8 Actuadores

En este caso se trató de buscar la máxima eficiencia implementando un sistema secuencial tanto para el sistema de inyección de combustible como el de ignición.

Cada uno de los cilindros cuenta con una bobina independiente, así como de un inyector para asegurar que la combustión se realice de forma óptima.



Figura 3.40 Instalación de los bobinas **Fuente:** Los Autores

CAPÍTULO IV. AJUSTE DE PARÁMETROS DE REPOTENCIACIÓN, ACORDE A LA COMPETENCIA SAE.

4.1 Sistema de Repotenciación

4.1.1 Software Haltech Sport 1000

El software de la ECU Haltech sport 1000, comunica al programador con la ECU mediante una interfaz gráfica amigable con el usuario donde se configuran todas las variables de acuerdo con el tipo de motor y la performance que se requiera.

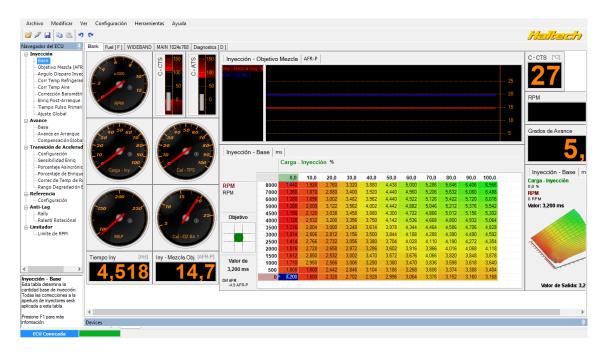


Figura 4.1 Interfaz gráfica - Software Haltech Sport 1000. **Fuente:** Los Autores

El software es compatible con Windows, Linux, Mac. Se comunica al computador vía USB y para iniciar la conexión la ECU debe estar encendida, se debe abrir la interfaz y presiona la tecla F5.

4.1.2 Ajuste de Parámetros de Repotenciación

4.1.2.1 Básico

4.1.2.1.1 Principal

Dentro de este menú ingresamos la información del motor a la ECU; empezamos escogiendo el método de programación por tiempo de inyección, de esta manera el tiempo de inyección que utiliza la ECU se obtiene directamente de la tabla de inyección base, también es importante elegir la fuente de carga de la inyección y del avance, se escogió TPS para ambos casos ya que el manual recomienda para motores con levas fuertes como las de motocicletas. Finalmente ingresamos también el tipo de motor, el número de cilindros, el orden de encendido, RPM mínimas y máximas de arranque para que la ECU sepa cuando el motor está girando con el motor de arranque como se observa en la figura.



Figura 4.2 Menú principal - Software Haltech Sport 1000.

Fuente: Los Autores

4.1.2.1.2 Sincronización

Empezamos ingresando el tipo de referencia Estandard Ciclo Completo, que consiste en una rueda de aluminio ubicada en al árbol de levas de admisión que contiene 5 imanes; 4 imanes con el norte hacia el sensor equidistantes uno por cada cilindro y 1 imán con el sur hacia el sensor que sirve de referencia para que la ECU sepa en todo momento la posición exacta del cada pistón y la fase en la que se encuentra.

Ingresamos el ángulo de referencia que es el ángulo entre el sensor de referencia y el PMS del cilindro 1, es de 76.5° según nuestro diseño.

Los datos siguientes son referentes al sensor CKP y CMP utilizado. Como se utilizó un sensor Haltech S4 entonces ingresamos el tipo de señal de efecto Hall con tipo de disparo decreciente y con la resistencia interna activada.

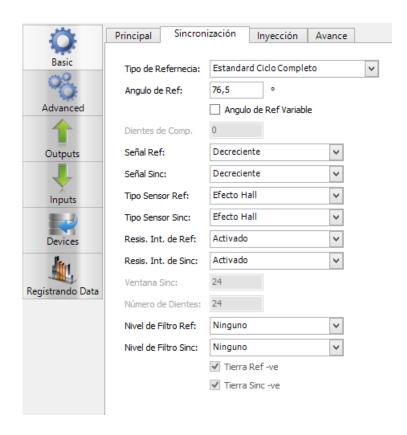


Figura 4.3 Menú de sincronización - Software Haltech Sport 1000.

Fuente: Los Autores

4.1.2.1.3 Inyección

Para el prototipo el modo de inyección es secuencial, el tiempo inicial de activación de la bomba es 3 segundos que es el tiempo recomendado en el manual, en resistencia de los inyectores; "High" debido a que los inyectores utilizados son de alta impedancia y por último en tipo de presión de combustible se escoge constante y debajo se ingresa la presión del sistema que es de 411,6 KPa.

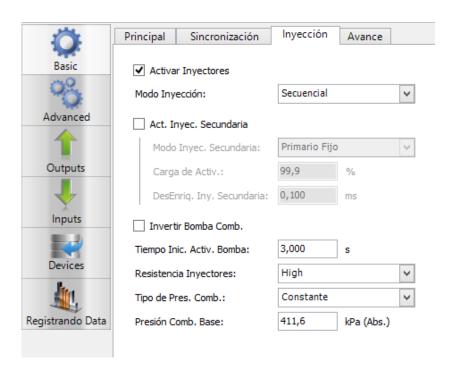


Figura 4.4 Menú de inyección - Software Haltech Sport 1000.

Fuente: Los Autores

4.1.2.1.4 Avance

Dentro del menú de avance en modo de chispa va la opción "disparo directo" es decir una bobina por cada cilindro, en modo de carga se escoge la opción constante e ingresa el tiempo de carga de las bobinas; 3,5 ms tiempo indicado en el manual.

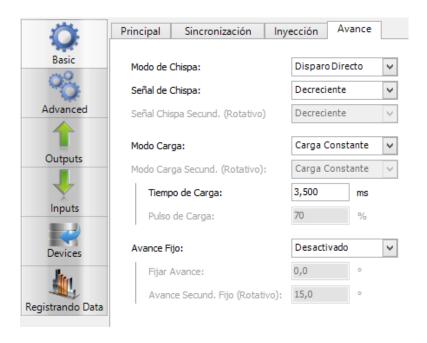


Figura 4.5 Menú de avance - Software Haltech Sport 1000. **Fuente:** Los Autores

4.1.2.2 Calibración del tiempo de encendido

Una vez que se ha configurado el menú principal se procede a calibrar el tiempo de encendido, es decir comprobar que el ángulo de referencia que ingrese en el menú de sincronización sea el mismo que está colocado en el motor y la forma de hacer esto es la siguiente:

Primero en la página de configuración de combustible se tiene que desactivar los inyectores, luego se retira las bujías para liberar de tensión al motor de arranque, y se desconecta las bobinas, en el menú de avance se activa la opción de avance fijo y se fija el avance en 0 grados que es la señal visible en el motor del prototipo, posterior a esto damos arranque y con la lámpara estroboscópica comprobamos que la señal coincida con los cero grados.

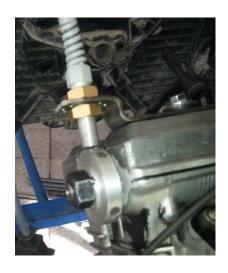


Figura 4.6 Sensor Haltech S4. **Fuente:** Los Autores

Se ajusta el valor del ángulo de referencia hasta que coincida la señal de 0 grados, para el caso del motor en estudio fue de 76.5°, entonces podemos decir que el motor esta sincronizado con la ECU.

Una vez que se ha terminado con la calibración se procede a activar los inyectores, a desactivar la opción de avance fijo y el motor está listo para encender.

4.1.2.3 Configuraciones Avanzadas

4.1.2.3.1 Limitador RPM

Como su nombre lo indica es una función de la ECU que limita las revoluciones con el fin de proteger al motor. Dentro del menú del limitador de RPM para el tipo de limite se escogió "combustible", en el tipo de corte va "suave" y dentro del lapso de corte se ingresa 500 RPM es decir; que el limite será 9500 RPM, el corte suave empezará a cortar la inyección del primer cilindro a las 9000 RPM y la inyección del último cilindro se corta a las 9500 RPM.

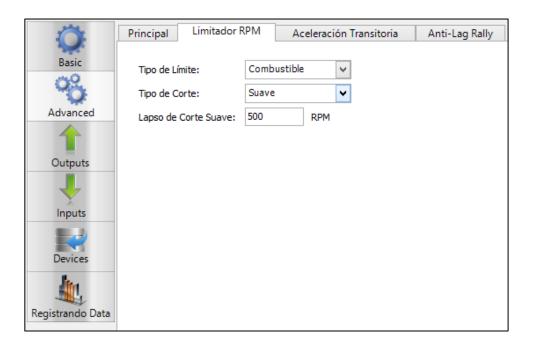


Figura 4. 7 Limitador de RPM - Software Haltech Sport 1000. **Fuente:** Los Autores

En la tabla del limitador de RPM ingresamos el valor límite de RPM para el corte en función de la temperatura del motor como se muestra en la figura:

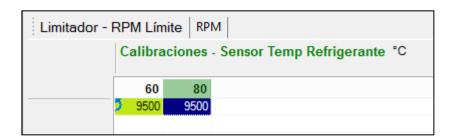


Figura 4. 8 Tabla del limitador de RPM -Software Haltech Sport 1000. **Fuente:** Los Autores

4.1.2.3.2 Mejora. Aceleración Transitoria

Ayuda a mejorar la respuesta del motor cuando hay movimientos rápidos del acelerador. Funciona mediante la adición de pulsos de inyección adicionales (enriquecimiento asincrónico) y enriqueciendo los pulsos actuales (enriquecimiento sincrónico) cuando ve cambios en la posición del acelerador.

En el menú de esta función se introdujo los siguientes valores; para el enriquecimiento asincrónico 2 pulsos, el tiempo de pausa entre ciclos asincrónicos 0,8 segundos y en el valor delta ignorado 0,5%, este último indica un porcentaje de velocidad de cambio de la posición del acelerador que activara un evento de enriquecimiento.

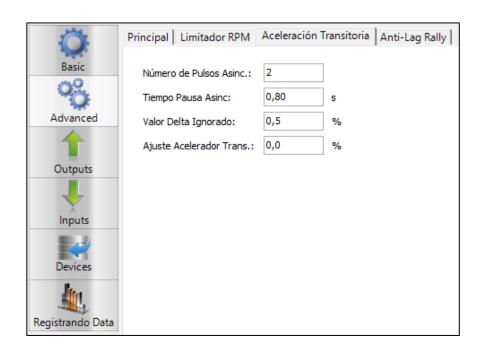


Figura 4.9 Menú aceleración transitoria - Software Haltech Sport 1000.

Fuente: Los Autores

4.1.3 Programación de la Inyección

4.1.3.1 Mapa Base

Al elegir el método de programación por tiempo de inyección el mapa base es del que la ECU toma directamente el tiempo de inyección para activar los inyectores, todas las funciones de corrección de combustible actúa sobre este mapa base.

Este mapa está configurado para carga de 0 al 100% vs revoluciones de 0 a 13000 RPM, con tiempos de inyección que varían en forma ascendente y lineal variando los mismos hasta lograr la máxima potencia.



Figura 4.10 Tabla y mapa base de inyección - Software Haltech Sport 1000. **Fuente:** Los Autores

4.1.3.2 Mapa Objetivo de la mezcla

El objetivo de la mezcla AFR (Relación aire combustible) es la ideal 14.7 cuando el motor está a bajas RPM con poca carga y tiende a desviase de la estequiometria inclinándose más hacia una mezcla rica a medida que aumenta la carga y las RPM del motor esto con el fin de ayudar a refrigerar el motor.

		Carga -	Inyecció	ón %								
		0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0
RPM	11000	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,5	14,0	13,5	12,9	12,3
RPM	10000	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,5	14,0	13,5	12,9	12,4
	9000	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,5	14,0	13,5	13,0	12,5
	8000	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,5	14,0	13,5	13,1	12,6
	7000	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,5	14,0	13,5	13,1	12,8
	6000	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,5	14,0	13,5	13,2	12,9
	5000	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,5	14,0	13,5	13,0	13,0
	4500	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,5	14,0	13,5	13,0	13,0
	4000	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,5	14,0	13,5	13,0	13,0
Objetivo	3500	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,5	14,0	13,5	13,0	13,0
	3000	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,5	14,0	13,5	13,0	13,0
	2500	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,5	14,0	13,5	13,0	13,0
	2000	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,5	14,0	13,5	13,0	13,0
	1500	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,5	14,0	13,5	13,0	13,0
	1000	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7
Valor de	500	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7
14,7 AFR-P	0	Q 4,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7

Figura 4.11 Tabla y mapa de objetivo de mezcla - Software Haltech Sport 1000. **Fuente:** Los Autores

4.1.3.3 Mapa de enriquecimiento Post Arranque

Este mapa purgara el vapor de combustible almacenado en la riel a través de los inyectores y de igual manera sirve para brindarle al motor un enriquecimiento adicional en el arranque en frio y lograr un funcionamiento estable.



Figura 4.12 Tabla y mapa de enriquecimiento post arranque - Software Haltech Sport 1000. **Fuente:** Los Autores

4.1.3.4 Mapa de corrección por temperatura de aire

Aquí se realizó las correcciones porcentuales a la tabla de inyección base en función de la temperatura de aire ya que cuando el aire está a bajas temperaturas hay una mayor cantidad de oxígeno y requiere de una mayor cantidad de combustible que cuando está a altas temperaturas.

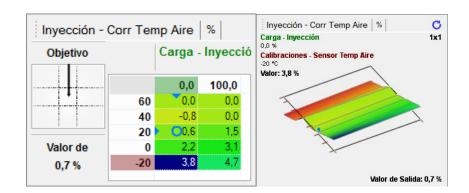


Figura 4. 13 Tabla y mapa de corrección por temperatura de aire - Software Haltech Sport 1000. **Fuente:** Los Autores

4.1.3.5 Mapa de corrección por temperatura del refrigerante

Permite aumentar un porcentaje del mapa de inyección base cuando la temperatura del refrigerante es baja ya que cuando el motor esta frío requerirá de una mayor cantidad de combustible para mantenerse estable y de una menor cantidad de combustible cuando alcanza la temperatura normal de funcionamiento.



Figura 4. 14 Tabla y mapa de corrección por temperatura De Refrigerante - Software Haltech.

Fuente: Los Autores

4.1.3.6 Mapa de corrección de inyección por presión barométrica

Al igual que la anterior con este mapa realizamos una corrección porcentual al mapa de inyección base, esta corrección es directamente proporcional a la presión barométrica en el colector de admisión como observamos en la figura 4.15.

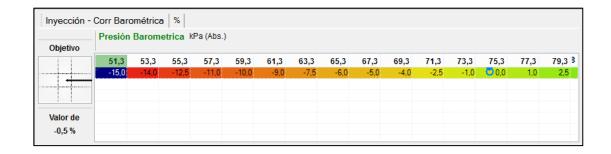


Figura 4.15 Tabla de corrección por presión barométrica - Software Haltech Sport 1000. **Fuente:** Los Autores

4.1.3.7 Mapa de inyección inicial

Aumenta el tiempo de la inyección primaria en función de la temperatura del refrigerante para empapar las paredes del colector de admisión con combustible en el arranque en frio y obviamente cuando este a temperatura de funcionamiento requerirá de menos combustible.

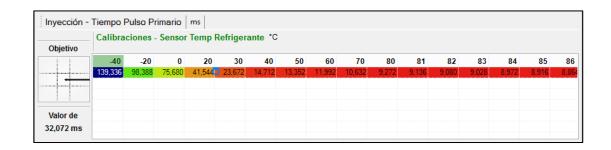


Figura 4.16 Tabla de inyección inicial - Software Haltech Sport 1000. **Fuente:** Los Autores

4.1.4 Programación del avance

4.1.4.1 Mapa Base

De este mapa la ECU toma directamente el valor del adelanto de la chispa que está en función de la carga y las RPM del motor. Al igual que el mapa de inyección, está configurado para carga de 0 al 100% vs revoluciones de 0 a 13000 RPM, con grados de avance que varían en forma ascendente y lineal.



Figura 4.17 Tabla y mapa base de avance - Software Haltech Sport 1000. **Fuente:** Los Autores

4.1.4.2 Mapa de avance en arranque

Con este mapa se configura los grados de avance que el motor tendrá en el arranque en función de la temperatura del motor, el valor colocado es de 5 grados según específica el manual del motor utilizado.

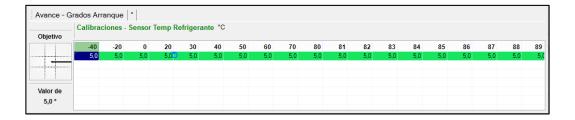


Figura 4. 18 Tabla de avance en arranque - Software Haltech Sport 1000. **Fuente:** Los Autores

4.2 SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

4.2.1 Haltech IQ3 Dash

El sistema de adquisición de datos utilizado es el Dash IQ3 de Haltech consiste en un Display que se conecta en serie a la ECU, mediante el cual el piloto puede monitorear todos los parámetros del motor que hayan sido programados para aparecer en cualquiera de las 4 pantallas que se pueden cargar al Display.



Figura 4.19 Dash Haltech IQ3
Fuente: Los Autores

Cuenta con un sistema de 14 leds el cual se divide en 4 leds de advertencia (color rojo) y 2 grupos de 5 leds que indican las RPM a las que está funcionando el motor (color

verde-amarillo-rojo), el primer grupo se programara para que cada uno pueda encenderse cuando un parámetro escogido del motor no esté dentro de los límites de funcionamiento normal. En el segundo y tercer grupo los leds se encienden de manera progresiva según las rpm que alcance el motor indicando el tiempo apropiado para realizar el cambio de marcha.



Figura 4.20 Dash Haltech IQ3-Descripcion **Fuente:** Los Autores

4.2.1.1 Características

Características Dash IQ3
28 ítems programables en 4 paginas
Luces programables para cambio secuencial
4 Luces de aviso programables con texto en la pantalla
Pantalla blindada, antirreflejo
Luz de fondo azul
Indicador de marchas
Luz externa para cambio de marcha
Compatible con ECU haltech sport 1000 (plug and play)

Tabla 4. 1 Características - Dash Haltech IQ3 **Fuente:** IQ3_Haltech_DSP_Manual_v5 .Pdf

4.2.1.2 Conexión del Dash y la interface

La conexión entre el Dash y la ECU es en serie, atreves del cable P/N: 280-CA-C2-072 que viene incluido en el paquete del Dash como podemos observar en la figura.



Figura 4. 21 Cable P/N: 280-CA-C2-072. **Fuente:** Los Autores

La conexión de los cables es la siguiente:

Color del cable	Conexión
Rojo	+15 a +18v DC power
Verde	Masa chasis
Blanco	CAN High
Black	CAN Low

Tabla 4.2 Conexionado cable de comunicación **Fuente:** IQ3_Haltech_DSP_Manual_v5 .Pdf

El proceso para comunicar el software del Dash la PC es la siguiente:

- 1. Abrimos el programa Datalink II.
- 2. Conectamos el cable que conecta el Dash con la PC.
- Dentro del programa vamos al menú Settings y escogemos la opción Scan COM Ports.
- 4. El programa detectara automáticamente el puerto de comunicación entre el Dash y la PC en nuestro caso es el puerto 8, y con esto finaliza la conexión.

4.2.1.3 Programación del Dash IQ3 usando el software Datalink

La programación del Dash se la puede de realizar de 2 maneras: la primera es mediante 2 botones externos y la segunda es mediante el software Datalink; para nuestro caso se eligió la programación por el software Datalink II ya que es un tipo de programación grafica más amigable con el usuario.

El primer paso para la programación es crear un archivo de configuración en el cual podremos realizar las modificaciones, guardar y volver a manipular este en el futuro, la manera de hacerlo es la siguiente:

En barra de herramientas desplegamos el menú **File** y se escoge la opción **Open car configuración** y aparecer el siguiente cuadro:

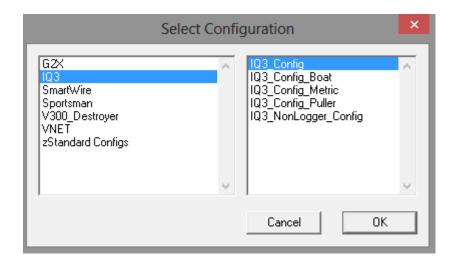


Figura 4.22 Menú de selección de dispositivo. Fuente: Los Autores

4.2.1.3.1 Páginas de visualización

Una vez que se da clic en **OK** aparece la ventana principal donde podemos programar las entradas de los sensores, unidades y con un clic derecho sobre **IQ3 Display** ingresamos al menú principal del DASH como vemos en la siguiente figura.



Figura 4.23 Entorno de configuración de entradas y pantallas del Dash. **Fuente:** Los Autores

Aquí tenemos cuatro opciones de pantalla que podemos cargar al Dash cada una con los parámetros que se desee, para variar una entrada se debe dar clic sobre cualquier botón y variar el tipo de entrada que se quiere visualizar:

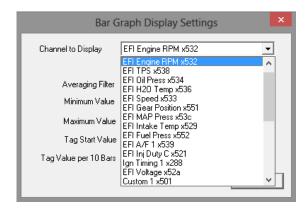


Figura 4.24 Menú de configuración de entradas del Dash.
Fuente: Los Autores

Para escoger cuál de las cuatro pantallas programadas se visualizara en el Dash se activara la opción **Default Display** sobre la pantalla que se quiere visualizar.

4.2.1.3.2 Luces de advertencia

Las luces de advertencia son una ayuda para que el piloto sepa sobre algún funcionamiento irregular en el motor y pueda detenerse sin que el daño llegue a algo peor como la fundición del motor por ejemplo.

Para ingresar a esta configuración en la barra de menú del Dash, clic sobre la opción **Warnings,** una vez que se ingresa se da clic sobre cualquier botón de los 4 disponibles (warning 1, warning 2, warning 3, warning 4) como vemos en la figura.



Figura 4.25. Luces de emergencia del Dash IQ3. **Fuente:** Software Datalink II

Dentro del menú de estos botones se ingresa la variable que se quiere controlar e ingresamos el límite máximo y mínimo del valor sobre los cuales la luz de advertencia se encenderá por ejemplo la luz de advertencia 1 en nuestro caso se encenderá cada que la temperatura del motor alcance los 100 °C para ello se configuró de la manera que muestra la imagen.

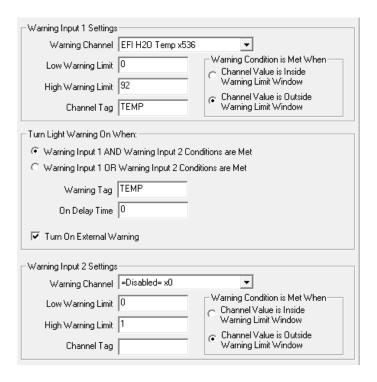


Figura 4.26 Entorno de configuración luces de emergencia.

Fuente: Los Autores

4.2.1.3.3 Luces de cambio

Para programar las luces de cambio, primero se escoge como entrada el canal de RPM, sobre este se realizara todos los cálculos, segundo se determina las RPM a las que se realiza el cambio de cada marcha y finalmente se ingresa el intervalo de RPM entre cada luz de cambio, para esto consideramos que son 5 luces de cambio, es decir que habrá 5 intervalos que el software calculara detrás del punto de cambio programado; por ejemplo las RPM para el cambio de marcha entre 3^{ra} y 4^{ta} es de 6000 RPM y se da un intervalo de 100 RPM para las luces quiere decir que la primera luz se encenderá a 5600 RPM, la segunda a 5700 RPM así sucesivamente hasta llegar a 6000 RPM que será donde las 5 luces se encienden y palpitan indicando que es el momento óptimo para realizar el cambio de marcha.

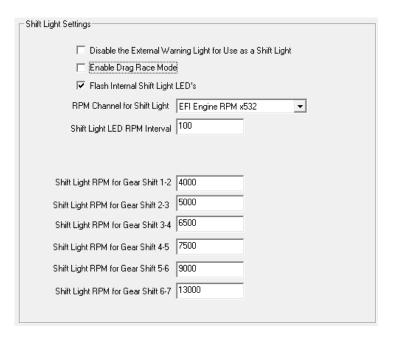


Figura 4.27 Entorno de configuración luces de cambio de Marcha.
Fuente: Los Autores

4.2.1.3.4 Cálculo de Marcha

El Dash IQ3 identifica la marcha estableciendo una relación entre las RPM del motor y la velocidad del vehículo, esta relación la calcula automáticamente después de ingresar las relaciones de transmisión para cada marcha y el desplazamiento (perímetro) del neumático.

Para el caso del prototipo los datos ingresados fueron los siguientes:

Marcha	Relación de Transmisión	Desplazamiento del neumático
1 ^{ra}	14,68	
$2^{\frac{\mathrm{da}}{}}$	10,25	
3 ^{ra}	8,12	57,852 (cm)
4 ^{ta}	6,98	
5 ^{ta}	6,25	
6 ^{ta}	5,82	

Tabla 4.3 Valores de relación de transmisión y desplazamiento del neumático.

Fuente: Los Autores

Una vez ingresados los datos presionamos el botón calcular y el software calcula automáticamente la relación RPM/Radio de velocidad por marcha.

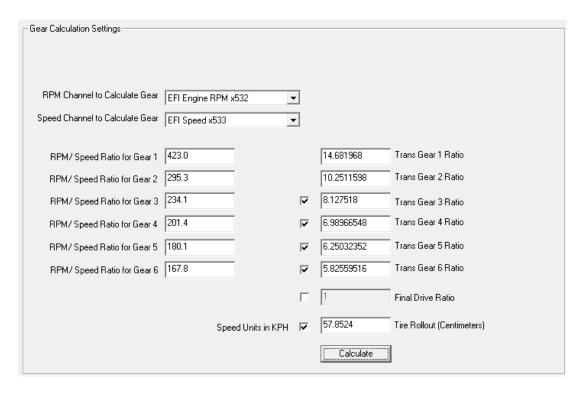


Figura 4.28 Entorno de configuración del cálculo de marcha. Fuente: Los Autores

CAPÍTULO V. ANÁLISIS DE RESULTADOS, CONFORME AL REGLAMENTO SAE

5.1 RENDIMIENTO DEL MOTOR

5.1.1 Potencia original de la motocicleta

La Yamaha FZR600 posee un motor que brinda un rendimiento redimible y aceptable. Los manuales nos brindan información fundamental para el análisis y puesta a punto para las diferentes categorías y competencias dentro de la formula SAE. Las exigencias son bastantes, por lo mismo es necesario realizar un arduo análisis en temáticas de optimización potencia - consumo, tampoco no hay que obviar la restricción que limita el comportamiento general del motor.

5.1.1.1 Potencia y torque original del motor

La motocicleta originalmente nos brinda las siguientes prestaciones

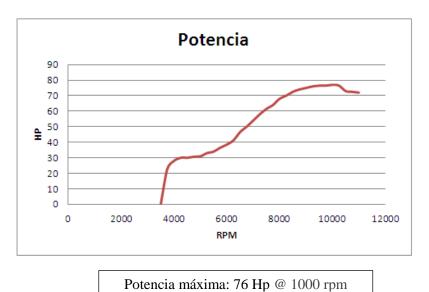
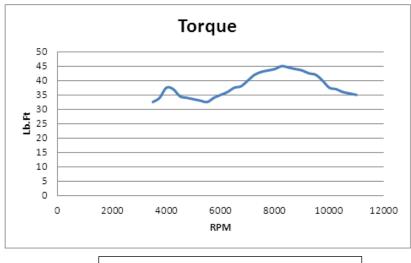


Figura 5.1 Gráfica de potencia Yamaha FZR600 1992

Fuente: Los Autores



Torque máximo: 45 ft-lbs @ 8250 rpm

Figura 5.2 Gráfica de torque Yamaha FZR600 1992 **Fuente:** Los Autores

5.1.2 Requerimientos de la competencia

Es importante tener un preámbulo de cuáles son las exigencias a las que va a ser sometido el motor, por ello se muestra una breve descripción de cada evento. A nivel mundial, cada categoría de la competencia es similar, con mínimas modificaciones según algunos organizadores por limitaciones de espacio y logística.

5.1.2.1 Eventos dentro de la competencia

5.1.2.1.1 Aceleración (Artículo 5)

En este evento se evalúa la aceleración del vehículo en línea recta sobre una carretera plana. La longitud de la pista es de 75 metros desde la salida hasta la llegada. Se tiene 2 oportunidades de correr con cada piloto, con un máximo de 2 pilotos (D5.1).

El puntaje se basa en el tiempo que recorre los 75 metros (D5.2). 55

⁵⁵ Reglamento Formula SAE 2014; Parte D; Artículo 5; D5.1; D5.2

$$Puntaje \ de \ aceleración = \frac{\left(71,5 \ x \left(\frac{T_{max}}{T_{your}}\right) - 1\right)}{\left(\left(\frac{T_{max}}{T_{min}}\right) - 1\right) + 3,5}$$

 T_{vour} = Mejor tiempo del equipo incluyendo penalidades

T_{min}= Tiempo del vehículo más rápido

 $T_{máx}$ = Es el 150% del T_{min}

5.1.2.1.2 Skid – **pad** (Artículo 6)

El objetivo del evento es medir la habilidad del vehículo para tomar una curva sobre una pista plana recorriendo un radio continuo. El recorrido y dimensiones de la pista se detallan en la siguiente figura (D6.1).⁵⁶

FSAE SKIDPAD LAYOUT

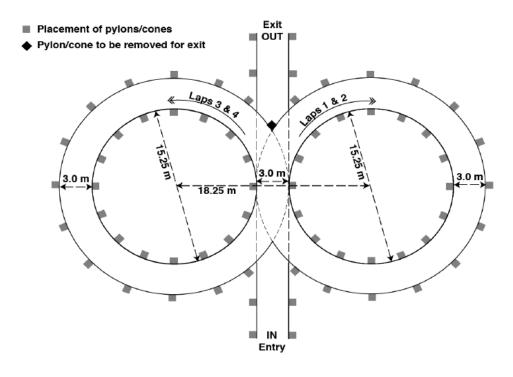


Figura 5. 3 Recorrido esquemático del skid-pad **Fuente:** http://students.sae.org/cds/formulaseries/rules/2014_fsae_rules.pdf

-

⁵⁶ Reglamento Formula SAE 2014; Parte D; Artículo 6; D6.1

Se podrá realizar seis vueltas trazando un ocho; tres hacia la izquierda y tres hacia la derecha, la primera vuelta en cada sentido no es cronometrada. Se tiene 2 oportunidades de correr con cada piloto, con un máximo de 2 pilotos (D6.2).

El puntaje se basa en el tiempo de la mejor vuelta (D6.8.2).⁵⁷

Puntaje skid pad =
$$\frac{\left(47,5 \ x \left(\frac{T_{max}}{T_{your}}\right)^{2} - 1\right)}{\left(\left(\frac{T_{max}}{T_{min}}\right)^{2} - 1\right) + 2,5}$$

T_{vour}= Tiempo promedio de vueltas hacia los dos sentidos incluido penalidades

T_{min}= Tiempo del vehículo más rápido

 $T_{m\acute{a}x}$ = Es el 125% del T_{min}

5.1.2.1.3 Autocross (Artículo 7)

El objetivo del evento es evaluar la maniobrabilidad y las cualidades de manejo del vehículo en una pista estrecha y sin el estorbo de los coches que compiten. Este evento combina aceleración, frenado y giro del monoplaza en una sola carrera (D7.1)

La longitud del recorrido es de aproximadamente 0,805 Km (1/2 milla). Se tiene 2 oportunidades de correr con cada piloto (D7.2.2).

El puntaje se basa en el tiempo que recorre cada vuelta (D7.8.1).⁵⁸

Puntaje autocross = 142,5 x
$$\frac{\left(\left(\frac{T_{max}}{T_{your}}\right) - 1\right)}{\left(\left(\frac{T_{max}}{T_{min}}\right) - 1\right)} + 7,5$$

T_{your}= Tiempo mínimo de vuelta del equipo

T_{min}= Tiempo del vehículo más rápido

 $T_{m\acute{a}x}$ = Es el 145% del T_{min}

⁵⁷ Reglamento Formula SAE 2014; Parte D; Artículo 6; D6.2; D6.8.2

⁵⁸ Reglamento Formula SAE 2014; Parte D; Artículo 7; D7.1; D7.2.2; D7.8.1

5.1.2.1.4 Endurance and efficiency (Artículo 8)

El objetivo de la competencia es evaluar el rendimiento general del vehículo, así como su durabilidad y fiabilidad (D8.4)

Se realiza una sola carrera con todos los demás competidores con una longitud aproximadamente de 22 kilómetros (D8.7.2)

El puntaje se basa en el tiempo que recorre la mejor vuelta en toda la carrera (D8.20.1)⁵⁹

$$Puntaje\ endurance = 250\ x\ \frac{\left(\frac{T_{max}}{T_{your}}\right)-1}{\left(\frac{T_{max}}{T_{min}}\right)-1} + 50$$

T_{vour}= Tiempo mínimo de vuelta del equipo

T_{min}= Tiempo del vehículo más rápido

 $T_{máx}$ = Es 1.45 veces del T_{min}

Si $T_{your} > T_{máx}$: el puntaje es cero.

La efficiencia se detalla en el capítulo 1 (pág 23).

5.2 Pruebas de eficicencia del consumo de combustible

A pesar de ser un vehiculo de competencia se busca una eficiencia en el consumo de combustible en la medida de lo posible, ya que el vehiculo siempre debe funcionar con una mezcla ligeramente rica, para mantener una temperatura estable en el motor.

Con la utilización de un medidor del caudal de combustible colocado entre la entrada del sistema de alimentacion (alta presion) y el retorno de combustible del tanque, se puede encontrar valores de la eficiencia de combustible, que posteriormente pueden ser modificados para conseguir la optimizacion de los resultados.

-

⁵⁹ Reglamento Formula SAE 2014; Parte D; Artículo 8; D8.4; D8.7.2; D8.20.1



Figura 5.4 Medidor del caudal de combustible **Fuente:** Los Autores

Una vez colocados cada uno de los acoples existentes entre el sistema de alimentación del motor y el caudalímetro, se procede a variar el régimen de revolución del motor para obtener los valores de consumo en cada uno de estos parametros.



Figura 5.5 Colocación de las conexiones de combustible entre el medidor y el motor **Fuente:** Los Autores

Con la utilización de la cartografía utilizado por el motor se obtienen los siguientes valores.

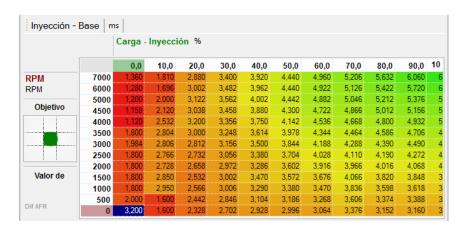


Figura 5.6 Cartografía inicial Fuente: Los Autores

	Análisis de Resultados					
RPM	Caudal de combustible					
2000	Consumo [l/h]					
3000	Consumo [l/h]					
4000	Consumo [I/h] 2,47					
5000	Consumo [I/h] 2, 17					
6000	Consumo [l/h]					

Tabla 5.1 Primera prueba de consumo de combustible **Fuente:** Los Autores

Una vez obtenidos los resultados anteriores más el sensor de oxígeno de banda ancha se puede identificar el estado de la mezcla de combustible en el motor, con lo cual se procede a realizar, varias ajustes encontrando los siguientes resultados.

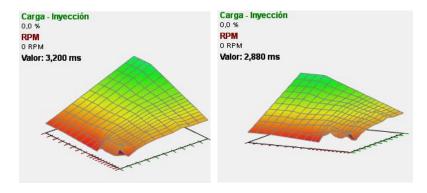


Figura 5.7 Mapa cartográfico anterior y posterior **Fuente:** Los Autores

	Parámetros Modificados					
RPM	Caudal de Combustible					
2000	Consumo [I/h] 3,72					
3000	Consumo [I/h] 3, 13					
4000	Consumo [l/h]					
5000	Consumo [l/h]					
6000	Consumo [I/h]					

Tabla 5.2 Consumo de Combustible modificado **Fuente:** Los Autores

Una vez obtenidos los resultados anteriores, se puede visualizar una significativa reducción del consumo de combustible, encontrando los siguientes resultados.

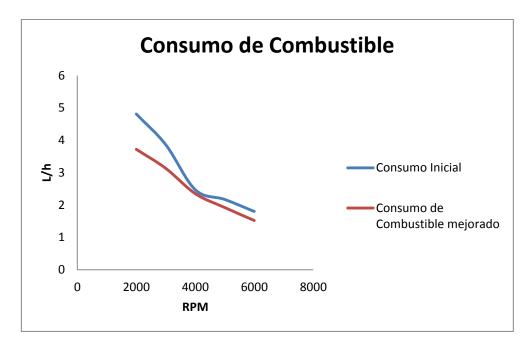


Figura 5.8 Consumo de Combustible Anterior y mejorado Fuente: Los Autores

Finalmente se muestra una curva del consumo específico de combustible (g/KWh)

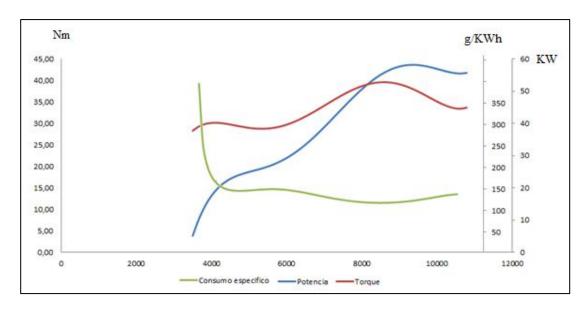


Figura 5.9 Grafica comparativa (Consumo Específico - Potencia - Torque) **Fuente:** Los Autores

CONCLUSIONES:

Una vez culminado con la elaboración de nuestro trabajo de tesis concluimos lo siguiente:

- Con la implementación del sistema de alimentación e inyección reprogramable se logró obtener un motor competitivo y flexible para cada evento dentro de la competencia Formula SAE, con ahorro de combustible en un porcentaje de 14.7%.
- Se demostró que la fibra de vidrio es la mejor opción en cuestión de materiales para la fabricación del colector de admisión, debido a su costo, disponibilidad, manejo y resistencia.
- La restricción limita en grandes proporciones las prestaciones del motor, trasladando el nivel disponible de potencia y torque hacia menores rangos de revolución. La transformación del motor de carburador a uno con sistemas electrónicos de control junto con un colector de alto rendimiento modelado para tal, enmienda en gran parte dicha pérdida.
- Cuando se realiza la programación de un motor se debe empezar con una relación AFR rica ya que esto ayuda a refrigerar al motor que estará sometido a grandes cargas durante la repotenciación y si empezamos con mezcla pobre corremos el riesgo que la temperatura del motor aumente y llegue a fundirse.
- La elaboración de los diferentes modelos de colectores de admisión en el software Ansys permite desarrollar simulaciones de fluido y poder entender cómo se comportan las líneas de flujo desde el ingreso hasta la entrega de los diferentes ductos pudiendo determinar el tipo de modelo más óptimo a la hora de llevarlo a la construcción en función de la variación de presión y el flujo másico, quien brinde la mejor cantidad de masa de aire por unidad de tiempo será el más efectivo teniendo en consideración que el motor con el que se cuenta perderá

gran potencia al colocar la restricción y buscar una entrega de mayor flujo másico es lo relevante para las simulaciones.

- El análisis estructural del colector de admisión es de vital importancia, al estar sometido el mismo a grandes presiones absolutas de 42000 Pa, la cual producirá una gran deformación en las paredes del colector por lo que se debe considerar el espesor que llevaran las paredes que soportaran dicha presión sin que se llegue a deformar, todo esto se puede determinar con una simulación especificando donde se da la mayor área que está sometida a una deflexión por presión, teniendo en cuenta que con una capa de fibra de vidrio se consigue un espesor de 1mm y determinar dicho espesor también conlleva a una reducción en el peso del colector.
- La reprogramación electrónica tiene funcionalidad siempre que se realice algún cambio en la constitución del motor o uno de sus sistemas, ya que un motor de motocicleta como el empleado en el proyecto es de alto performance y de fábrica viene desarrollado con las máximas prestaciones posibles.
- Un modelado matemático permite realizar una predicción del funcionamiento de un sistema antes de que este se diseñe o se construya, tal proceso consiste en una descripción matemática de las características dinámicas de un sistema que se describen en ecuaciones diferenciales y posteriormente se convierten en una transformada de Laplace.
- Una mayor capacitancia presenta un retraso a la entrada de flujo másico hacia los cilindros y una respuesta estable en el tiempo, mientras que uno de poca capacidad se acomoda más rápidamente a la entrada pero el llenado de los cilindros es deficiente.
- En el caso de un colector de admisión, una predicción matemática no puede describir el volumen exacto de un colector de admisión sino es un paso inicial para evaluar un comportamiento dinámico, de este para posteriormente ser evaluado en software de simulación.

- El valor de gasto másico medido en la entrada de los cilindros sin considerar la restricción fue de 3.993 gr/s, en el diseño del colector de admisión se logró optimizar en lo mayor posible está perdida obteniendo un colector con un volumen de 6.64 litros que permite una entra de masa de aire en 3.36 gr/s distribuida de manera homogénea a cada cilindro, únicamente se tiene una pérdida de entrada de aire en un 15.85 % al valor medido sin la restricción.
- En comparación con un colector de admisión de aluminio se puede constatar que la fibra de vidrio es un 34 % más liviano, los datos presentados a continuación son extraídos de las simulaciones en Ansys.

Material		Material			
Assignment	Fibra de vidrio	Assignment	Aluminum Alloy		
Nonlinear Effects	Yes	Nonlinear Effects	Yes		
Thermal Strain Effects	Yes	Thermal Strain Effects Yes			
Bounding Box		Bounding Box			
Properties		Properties			
Volume	7,317e-004 m³	Volume	7,317e-004 m³		
Mass	1,3536 kg	Mass	2,0268 kg		

RECOMENDACIONES

- Para los futuros proyectos asociados con la formula SAE, tener muy presente la compra o importación de un motor de segunda mano, de preferencia un modelo superior al 2005 (tomar en cuenta que la mayoría de universidades utilizan motores fabricados en años superiores al 2005). Se menciona la importación debido a que en el medio es bastante difícil encontrar uno a precio razonable. El mayor inconveniente son los trámites para la importación, pero con una gestión acertada se tendrá un motor de mejor rendimiento y por ende un SAE más competitivo.
- Para evitar daños a la ECU es necesario que no se conecte el sistema de alimentación de los inyectores junto con el sistema de encendido en pruebas preliminares para comprobación del sistema. Evitar colocar los cables cerca de las bobinas de encendido. Evitar en la medida de lo posible soldar con la computadora conectada. Colocar los elementos electrónicos alejados de las piezas calientes y lugares con riesgos de salpicaduras de agua u otros líquidos.
- La fibra de vidrio es un material de relación costo rendimiento muy bueno pero para su manejo se recomienda trabajar en zonas ventiladas utilizando la protección adecuada para todas las partes expuestas.

BIBLIOGRAFÍA

Libros

- OGATA, Katsushiko, Dinámica de sistemas, Editorial Prentice-Hall
 Hispanoamericana, Naucalpán de Juárez, 1987.
- AHLSTRAND, Alan y HAYNES John, *Yamaha FZR 600 & 1000 Fours*, Editorial Haynes, California-USA, 2000.
- BROWN, Christopher, Making Sense of Squiggly Lines: The Basic Analysis of Race Car Data Acquisition, Editorial CB-Racing, USA, 2011.
- HORNER, Jim, Automotive Electrical Handbook, Editorial Penguin, New York-USA, 1986.
- GUILLIERI, Stefano, Preparación de motores de serie para competición.
- PAYRI F. y DESANTES J. M., Motores de combustión interna alternativos,
 Editorial Reverté, Valencia España, 2011.

Reglamento

• SAE International, 2014 Formula SAE® Rules, 10 de Noviembre 2012.

Tesis

 LOISELLE, James y otros, Design, Analysis, and Optimization of a FSAE Racecar, Tesis Universidad Worcester Polytechnic Institute, Massachusetts, 25 de abril de 2011.

Citas electrónicas

- HALTECH, "Platinum Sport 1000", http://www.haltech.com/wp-content/uploads/2010/12/Platinum-Sport-1000-Specifications-v21.pdf (recuperado 24-07-2013/16H42).
- Dolzhnos, "Cálculo de la densidad del aire" http://www.dolzhnos.com.ar/htm/densidad_del_aire.htm (recuperado 26-07-2013/16H00).
- Meteored, "Tiempo en Cuenca", http://www.meteored.com.ec/tiempo-en_Cuenca-America+Sur-Ecuador-Azuay--1-20244.html (recuperado 26-07-2013/16H20).
- Convert world, "Convertidor de presión"
 http://www.convertworld.com/es/presion/Milibar.html
 (recuperado 26-07-2013/16H30).
- Autozone,"Map sensor", http://www.mecanicaenaccion.com/cuales-son-y-que-hacen-los-sensores/ (recuperado 29-07-2013/10H45).
- Conae, "Automovilista eficiente",
 http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/4084/
 1/sistema_de_combustible.pdf (recuperado 14-08-2013/12H00).
- Wikipedia, "Restrictor plate", http://en.wikipedia.org/wiki/Restrictor_plate (Recuperado 26-07-2013/18H22).
- Wikipedia, "Tanque de combustible", http://es.wikipedia.org/wiki/Dep%C3%B3sito_de_combustible (Recuperado 20-07-2013/14H00).

- Bosch Ecuador, "Bombas Eléctricas de Combustible y Pre Filtros Bosch",
 http://www.boschecuador.com/assets/tecnova/Bombas%20de%20gasolina%2
 0y%20prefiltros.pdf (Recuperado 28-08-2013/10H30).
- Stagnaro, "Bombas de gasolina", http://www.stagnaro.cl/bombas%20de%20bencina.html (Recuperado 29-08-2013/12H00).
- MotorcyclespecS, "Yamaya FZR 600", http://www.motorcyclespecs.co.za/model/yamaha/yamaha_fzr600%2093.htm (Recuperado 09-09-2013/11H00).
- Wikipedia, "Espuma de poliuretano",
 http://es.wikipedia.org/wiki/Espuma_de_poliuretano (Recuperado 24-08-2013/11H00).
- Sae Internacional, "2014 Formula Sae Rules", http://students.sae.org/competitions/formulaseries/rules/2014_fsae_rules.pdf (Recuperado 11-11-2013).
- Sae Internacional, "Competition History", http://www.sae.org/students/fsaehistory.pdf (Recuperado 28-08-13/12H20).
- Sae Internacional, "About Formula Sae Series", http://students.sae.org/competitions/formulaseries/about.htm (Recuperado 24-08-2013/11H00).
- Teoría de control, "Sistemas Neumáticos", http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/djean/index_archivos/Documentos/Te oria_Control.pdf (Recuperado 05-11-2013/12H00).

ANEXOS

ANEXOS DEL CAPÍTULO II

Anexo A.1 Simulaciones transitorias módulo CFX de los diferentes colectores de admisión.



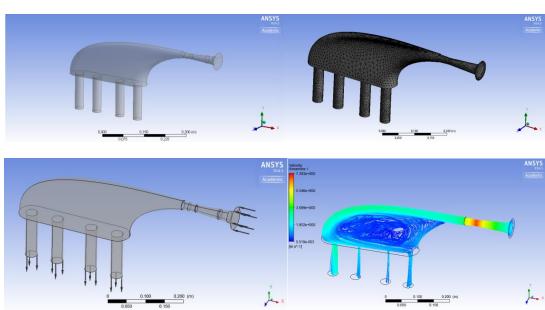


Table 1. Domain Physics for Static CFX

Domain - Default Domain		
Туре	Fluid	
Location	B96	
Materials		
Air at 25 C		

Fluid Definition	Material Library
Morphology	Continuous Fluid
Settings	
Buoyancy Model	Non Buoyant
Domain Motion	Stationary
Reference Pressure	0.0000e+00 [Pa]
Turbulence Model	SST
Turbulent Wall Functions	Automatic

Table 4. Boundary Physics for Static CFX

Domain	Boundaries		
Default Domain	Boundary - inlet		
	Type	INLET	
	Location	inlet	
	Settings		
	Flow Direction	Normal to Boundary Condition	
	Flow Regime	Subsonic	
	Mass And Momentum	Total Pressure	
	Relative Pressure	7.2966e+04 [Pa]	
	Turbulence	Medium Intensity and Eddy Viscosity Ratio	

Boundary - outlet1	
Туре	OUTLET
Location	outlet1
Settings	
Flow Regime	Subsonic
Mass And Momentum	Average Static Pressure
Pressure Profile Blend	5.0000e-02
Relative Pressure	7.2954e+04 [Pa]
Pressure Averaging	Average Over Whole Outlet

2.661e-03 [kg s^-1]	Gasto másico de ingreso
-1.536e-03 [kg s^-1]	Gasto másico de salida cilindro 1
-3.359e-04 [kg s^-1]	Gasto másico de salida cilindro 2
-2.391e-04 [kg s^-1]	Gasto másico de salida cilindro 3
-5.395e-04 [kg s^-1]	Gasto másico de salida cilindro 4





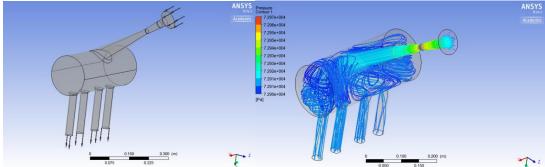


Table 1. Domain Physics for Copy of Static CFX

Domain - Default Domain		
Туре	Fluid	
Location	B96	
Materials		
Air at 25 C		
Fluid Definition	Material Library	
Morphology	Continuous Fluid	
Settings		
Buoyancy Model	Non Buoyant	

Domain Motion	Stationary
Reference Pressure	0.0000e+00 [Pa]
Turbulence Model	SST
Turbulent Wall Functions	Automatic

 Table 2. Boundary Physics for Copy of Static CFX

Domain	Boundaries		
Default Domain	Boundary - inlet		
	Туре	INLET	
	Location	inlet	
	Settings		
	Flow Direction	Normal to Boundary Condition	
	Flow Regime	Subsonic	
	Mass And Momentum	Total Pressure	
	Relative Pressure	7.2966e+04 [Pa]	
	Turbulence	Medium Intensity and Eddy Viscosity Ratio	
	Boundary - outlet1		
	Туре	OUTLET	
	Location	outlet1	
	Settings		
	Flow Regime	Subsonic	

Mass And Momentum	Average Static Pressure
Pressure Profile Blend	5.0000e-02
Relative Pressure	7.2954e+04 [Pa]
Pressure Averaging	Average Over Whole Outlet

3.599e-03 [kg s^-1]	Gasto másico en el ingreso
-7.423e-04 [kg s^-1]	Gasto másico cilindro 1
-8.584e-04 [kg s^-1]	Gasto másico cilindro 2
-9.778e-04 [kg s^-1]	Gasto másico cilindro 3
-9.952e-04 [kg s^-1]	Gasto másico cilindro 4



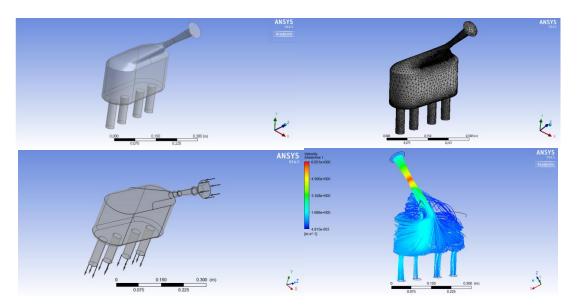


Table 1. Domain Physics for Static CFX

Domain - Default Domain		
Туре	Fluid	
Location	B96	
Materials		
Air at 25 C		
Fluid Definition	Material Library	
Morphology	Continuous Fluid	
Settings		
Buoyancy Model	Non Buoyant	
Domain Motion	Stationary	

Reference Pressure	0.0000e+00 [Pa]
Turbulence Model	SST
Turbulent Wall Functions	Automatic

 Table 2. Boundary Physics for Static CFX

Domain	Boundaries		
Default Domain	Boundary - inlet		
	Туре	INLET	
	Location	inlet	
	Settings		
	Flow Direction	Normal to Boundary Condition	
	Flow Regime	Subsonic	
	Mass And Momentum	Total Pressure	
	Relative Pressure	7.2966e+04 [Pa]	
	Turbulence	Medium Intensity and Eddy Viscosity Ratio	
	Boundary - outlet1		
	Туре	OUTLET	
	Location	outlet1	
	Settings		
	Flow Regime	Subsonic	
	Mass And Momentum	Average Static Pressure	

Pressure Profile Blend	5.0000e-02
Relative Pressure	7.2954e+04 [Pa]
Pressure Averaging	Average Over Whole Outlet

2.401e-03 [kg s^-1]	Gasto másico de ingreso
-7.264e-04 [kg s^-1]	Gasto másico cilindro 1
-4.115e-04 [kg s^-1]	Gasto másico cilindro 2
-5.561e-04 [kg s^-1]	Gasto másico cilindro 3
-6.957e-04 [kg s^-1]	Gasto másico cilindro 4



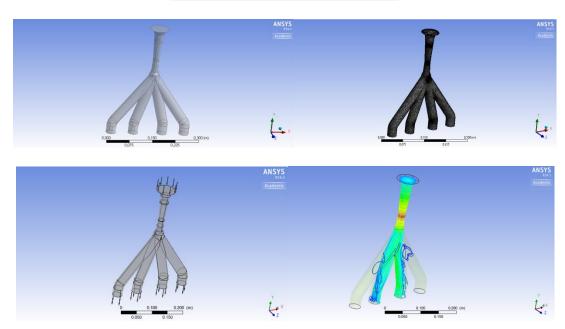


Table 1. Domain Physics for Copy of Static CFX

Domain - Default Domain		
Туре	Fluid	
Location	B96	
Materials		
Air at 25 C		
Fluid Definition	Material Library	
Morphology Continuous Flui		
Settings		
Buoyancy Model	Non Buoyant	

Domain Motion	Stationary
Reference Pressure	0.0000e+00 [Pa]
Turbulence Model	SST
Turbulent Wall Functions	Automatic

Table 2. Boundary Physics for Copy of Static CFX

Domain	Boundaries		
Default Domain	Boundary - inlet		
	Туре	INLET	
	Location	inlet	
	Settings		
	Flow Direction	Normal to Boundary Condition	
	Flow Regime	Subsonic	
	Mass And Momentum	Total Pressure	
	Relative Pressure	7.2966e+04 [Pa]	
	Turbulence	Medium Intensity and Eddy Viscosity Ratio	
	Boundary - outlet1		
	Туре	OUTLET	
	Location	outlet1	
	Settings		
	Flow Regime	Subsonic	

Mass And Momentum	Average Static Pressure
Pressure Profile Blend	5.0000e-02
Relative Pressure	7.2954e+04 [Pa]
Pressure Averaging	Average Over Whole Outlet

2.879e-03 [kg s^-1]	Gasto másico de ingreso
0.006e-05 [kg s^-1]	Gasto másico cilindro 1
-1.898e-03 [kg s^-1]	Gasto másico cilindro 2
-9.740e-04 [kg s^-1]	Gasto másico cilindro 3
0.006e-05 [kg s^-1]	Gasto másico cilindro 4



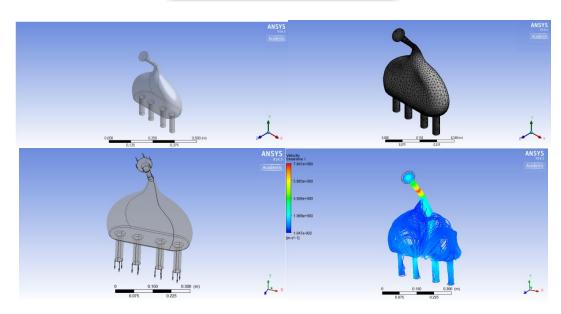


 Table 3. Domain Physics for Static CFX

Domain – Default Domain		
Туре	Fluid	
Location	B96	
Materials		
Air at 25 C		
Fluid Definition	Material Library	
Morphology Continuous Flu		
Settings		
Buoyancy Model	Non Buoyant	

Domain Motion	Stationary
Reference Pressure	0.0000e+00 [Pa]
Turbulence Model	SST
Turbulent Wall Functions	Automatic

 Table 4.
 Boundary Physics for Static CFX

Domain	Boundaries		
Default Domain	Boundary – inlet		
	Туре	INLET	
	Location	inlet	
	Settings		
	Flow Direction	Normal to Boundary Condition	
	Flow Regime	Subsonic	
	Mass And Momentum	Total Pressure	
	Relative Pressure	7.2966e+04 [Pa]	
	Turbulence	Medium Intensity and Eddy Viscosity Ratio	
	Boundary - outlet1		
	Туре	OUTLET	
	Location	outlet1	
	Settings		
	Flow Regime	Subsonic	

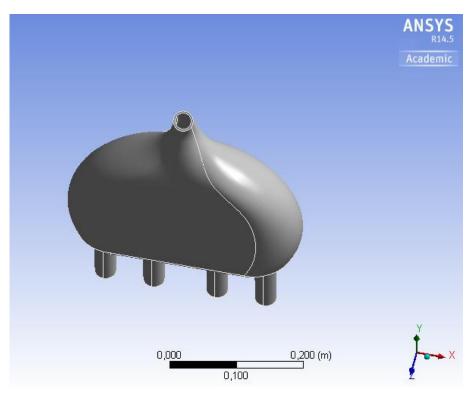
Mass And Momentum	Average Static Pressure
Pressure Profile Blend	5.0000e-02
Relative Pressure	7.2954e+04 [Pa]
Pressure Averaging	Average Over Whole Outlet

Table 5.

2.844e-03 [kg s^-1]	Gasto másico en la entrada
-5.506e-04 [kg s^-1]	Gasto másico en la salida cilindro 1
-9.006e-04 [kg s^-1]	Gasto másico en la salida cilindro 2
-8.531e-04 [kg s^-1]	Gasto másico en la salida cilindro 3
-5.285e-04 [kg s^-1]	Gasto másico en la salida cilindro 4

Anexo A.2 Simulación del análisis estructural en el módulo Ansys Static Structural del colector admisión 3 seleccionado.





Units

TABLE 1

Unit System	Metric (m, kg, N, s, V, A) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

Properties		
Volume	6,17e-004 m ³	
Mass	5,7439 kg	

TABLE 1 Model (B4) > Analysis

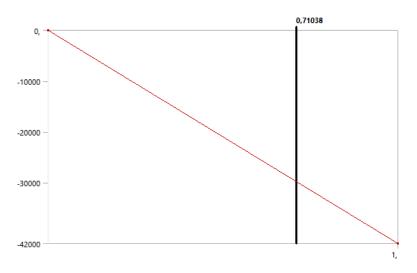
Object Name	Static Structural (B5)
State	Solved
Definition	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Static Structural
Solver Target	Mechanical APDL
Options	
Environment Temperature	22, °C
Generate Input Only	No

TABLE 2 Model (B4) > Static Structural (B5) > Loads

Object Name	Fixed Support Pressure
State	Fully Defined

Scope			
Scoping Method	Geometry Selection		
Geometry	1 Face 15 Faces		
Definition			
Туре	Fixed Support	Pressure	
Suppressed	No		
Define By		Normal To	
Magnitude		-42000 Pa (ramped)	

FIGURE 1 Model (B4) > Static Structural (B5) > Pressure



Res	ults			
Mini	mum	0, m	5,5323e-008 m/m	6837, Pa
Max	imum	2,1473e-004 m	3,2966e-004 m/m	6,5375e+007 Pa

ANEXOS DEL CAPÍTULO III

Anexo B.1 Diagrama eléctrico del sistema de parada del vehículo.