

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Diseño y construcción de un vehículo ultraeficiente fase II

Trabajo de graduación en modalidad de megaproyecto presentado

por:

Erwin Roberto Camposeco Castro

para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Química;

Alex Javier Dubón De La Roca

para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecánica;

Kevin José Concuá Lara y Luis Pedro Sosa Salvatierra

para optar al grado académico de Licenciados en Ingeniería Electrónica.

Guatemala,

2015

Diseño y construcción de un vehículo ultraeficiente fase II

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



Diseño y construcción de un vehículo ultraeficiente fase II

Trabajo de graduación en modalidad de megaproyecto presentado
por:

Erwin Roberto Camposeco Castro

para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Química;

Alex Javier Dubón De La Roca

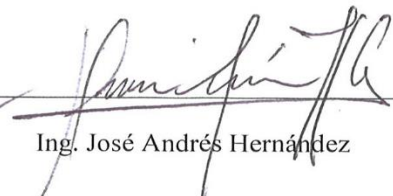
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecánica;

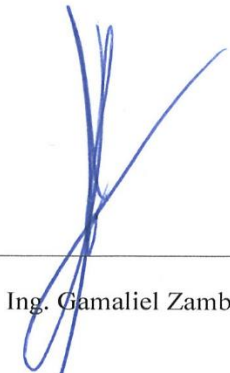
Kevin José Concuá Lara y Luis Pedro Sosa Salvatierra

para optar al grado académico de Licenciados en Ingeniería Electrónica.

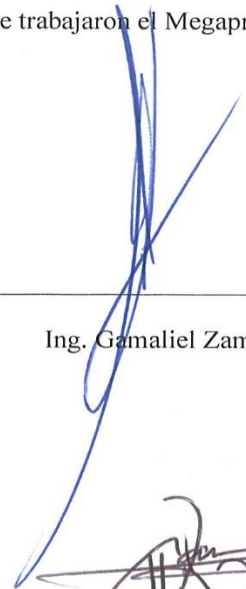
Guatemala,
2015


Vo. Bo. :


(f) 
Ing. José Andrés Hernández

(f) 
Ing. Gamaliel Zambrano

Directores de los estudiantes que trabajaron el Megaproyecto:

(f) 
Ing. Gamaliel Zambrano

(f) 
Ing. Carlos Esquit

(f) 
Ing. Víctor Hugo Ayerdi

Fecha de aprobación: Guatemala, 20 de noviembre de 2015

Con la bendición que Dios me ha brindado, quiero dedicar mi esfuerzo plasmado en este trabajo, a todas aquellas personas que me han enseñado grandes lecciones de vida. Algunas de ellas descritas en las siguientes palabras:

Amor, disfrutar de los momentos de felicidad, búsqueda de la excelencia, valorar el conocimiento, desarrollar criterio, y perseverancia.

Hago una mención especial a la licenciada Ana Luisa Mendizabal, por su ayuda y trabajo durante el desarrollo de mi investigación.

Roberto Camposeco

ÍNDICE

	Página
LISTA DE CUADROS	x
LISTA DE FIGURAS	xii
RESUMEN	xix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	4
A. General.....	4
B. Específicos	4
III. JUSTIFICACIÓN	7
IV. MARCO TEÓRICO.....	9
A. MÓDULO SENSORES	9
B. MÓDULO TRANSMISIÓN DE DATOS INALÁMBRICO	17
C. MÓDULO EMBRAGUE CENTRÍFUGO	30
D. MÓDULO CONVERTIDOR CATALÍTICO	45
V. ANTECEDENTES	76
A. MÓDULO SENSORES	76
B. MÓDULO TRANSMISIÓN DE DATOS INALÁMBRICO	77
VI. METODOLOGÍA.....	78
A. MÓDULO SENSORES	78
B. MÓDULO TRANSMISIÓN DE DATOS INALÁMBRICO	87
C. MÓDULO EMBRAGUE CENTRÍFUGO	96
D. MÓDULO CONVERTIDOR CATALÍTICO	111
VII. RESULTADOS	122
A. MÓDULO SENSORES	122

B.	MÓDULO TRANSMISIÓN DE DATOS INALÁMBRICO	131
C.	MÓDULO EMBRAGUE CENTRÍFUGO	144
D.	MÓDULO CONVERTIDOR CATALÍTICO	147
VIII.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	153
A.	MÓDULO SENSORES	153
B.	MÓDULO TRANSMISIÓN DE DATOS INALÁMBRICO	156
C.	MÓDULO CONVERTIDOR CATALÍTICO	160
IX.	CONCLUSIONES.....	173
A.	MÓDULO SENSORES	173
B.	MÓDULO TRANSMISIÓN DE DATOS INALÁMBRICO	173
C.	MÓDULO EMBRAGUE CENTRÍFUGO	174
D.	MÓDULO CONVERTIDOR CATALÍTICO	175
X.	RECOMENDACIONES.....	177
A.	MÓDULO SENSORES	177
B.	MÓDULO TRANSMISIÓN DE DATOS INALÁMBRICO	177
C.	MÓDULO CONVERTIDOR CATALÍTICO	178
XI.	BIBLIOGRAFÍA	180
A.	MÓDULO SENSORES	180
B.	MÓDULO TRANSMISIÓN DE DATOS INALÁMBRICO	184
C.	MÓDULO EMBRAGUE CENTRÍFUGO.....	185
D.	MÓDULO CONVERTIDOR CATALÍTICO	187
XII.	ANEXOS	190
A.	MÓDULO EMBRAGUE CENTRÍFUGO.....	190
B.	MÓDULO CONVERTIDOR CATALÍTICO	201
XIII.	GLOSARIO.....	219
A.	MÓDULO CONVERTIDOR CATALÍTICO	219

XIII.	ABREVIATURAS.....	221
A.	MÓDULO CONVERTIDOR CATALÍTICO	221

LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Conector RS232 (conector DB9 de 9 pines).....	29
Cuadro 2. Ventajas y desventajas de los embragues de plato.	33
Cuadro 3. Ventajas y desventajas de los embragues cónicos.	33
Cuadro 4. Ventajas y desventajas de los embragues magnéticos.	34
Cuadro 5. Ventajas y desventajas de los embragues hidráulicos.	35
Cuadro 6. Ventajas y desventajas de los embragues centrífugos.	36
Cuadro7. Emisiones de motores recíprocantes.	50
Cuadro 8. Ponderación para módulos Xbee evaluados.	88
Cuadro 9. Análisis de selección de módulos.	88
Cuadro 10. Matriz de decisión.	98
Cuadro 11. Resultados de iteraciones.	106
Cuadro 12. Condiciones de diseño factorial.	120
Cuadro 13. Información sobre la señal de salida del puerto RS232 de la unidad de control ECU.	131
Cuadro 14. Datos específicos de los paquetes enviados por la unidad de control, incluyendo los 10 sensores que este posee.	132
Cuadro 15. Características obtenidas del mecanismo centrífugo.	144
Cuadro 16. Temperaturas promedio de muestras analizadas por gc-tcd para el sistema carburado con gasolina.	148
Cuadro 17. Presiones para muestras analizadas por gc-tcd para el sistema carburado con gasolina.	148
Cuadro 18. Resultados de conversión de los gases de escape con analizador de gases Enerac para el sistema carburado con gasolina.	149
Cuadro 19. Resultados promedio de conversión del G.C.T. 1 con cg-tcd para el sistema carburado con gasolina.	150
Cuadro 20. Resultados promedio de conversión del G.C.T. 2 con cg-tcd para el sistema carburado con gasolina.	151
Cuadro 21. Resultados diseño experimental, valores-p para cada respuesta en función de la variable analizada.	152
Cuadro 22. Temperaturas de muestras analizadas por gc-tcd para el sistema carburado con gasolina.	201

Cuadro 23. Resultados de la conversión de los compuestos CO ₂ y N ₂ O con cg-tcd para el sistema inyectado con etanol.....	201
Cuadro 24. Resultados de conversión de los gases de escape con cg-tcd para el sistema carburado con gasolina.....	202
Cuadro 25. Áreas promedio de CO ₂ con cg-tcd para el sistema inyectado con etanol.....	209
Cuadro 26. Áreas promedio de N ₂ O con cg-tcd para el sistema inyectado con etanol.....	209
Cuadro 27. Áreas promedio de pico 1 con cg-tcd para el sistema carburado con gasolina.	210
Cuadro 28. Áreas promedio de pico 2 con cg-tcd para el sistema carburado con gasolina.	210
Cuadro 29. Áreas promedio de O ₂ con analizador de gases para el sistema carburado con gasolina.....	211
Cuadro 30. Áreas promedio de CO con analizador de gases para el sistema carburado con gasolina.....	211
Cuadro 31. Áreas promedio de CO ₂ con analizador de gases para el sistema carburado con gasolina.....	212
Cuadro 32. Áreas promedio de Hid con analizador de gases para el sistema carburado con gasolina.....	212
Cuadro 33. Áreas promedio de NO con analizador de gases para el sistema carburado con gasolina.....	212
Cuadro 34. Temperaturas de muestras analizadas por gc-tcd para el sistema carburado con gasolina.....	213
Cuadro 35. Presiones de muestras analizadas por gc-tcd para el sistema carburado con gasolina.....	213
Cuadro 36. Áreas promedio de CO ₂ y N ₂ O con cg-tcd para el sistema inyectado con etanol.....	217
Cuadro 37. Áreas promedio de pico 1 y pico 2 con cg-tcd para el sistema carburado con gasolina.....	217
Cuadro 38. Áreas promedio de O ₂ y CO con analizador de gases para el sistema carburado con gasolina.....	218
Cuadro 39. Áreas promedio de CO ₂ , Hidrocarburos y NO con analizador de gases para el sistema carburado con gasolina.....	218

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Ejemplo de un MCU.....	9
Figura 2. SBC Beagle Board.....	10
Figura 3. Sensor ultrasónico HC SR 04, diagrama de pines del sensor.	10
Figura 4. Sensor ultrasónico HC SR 04, funcionamiento.	11
Figura 5: Sensores fotoeléctricos.	11
Figura 6: Sensor inductivo.	12
Figura 7: Sensor RTD PT 100 sumergible.....	13
Figura 8: Nano GPS de Mikroelectronika.	13
Figura 9: Arduino DUE.....	14
Figura 10: Raspberry Pi B+.....	15
Figura 11: Raspberry Pi B+ GPIO pins.....	15
Figura 12: Especificaciones técnicas Raspberry Pi B+.....	16
Figura 13. Xbee serie 1.....	23
Figura 14. Xbee serie 2.....	24
Figura 15. Xbee serie 2 simple y versión PRO.....	24
Figura 16. Xbees con distintos tipos de antena.....	25
Figura 17. Descripción de pines de módulos Xbee.	27
Figura 18. Numeración física Xbee, parte frontal.	27
Figura 19. Numeración física Xbee, parte trasera.	27
Figura 20. Puerto serial RS232.....	29
Figura 21. Función del mecanismo de embrague.	30
Figura 22: Embrague positivo; Izquierda: de dientes cuadrados, Derecha: de dientes en espiral.....	31
Figura 23: Embrague de plato único; Izquierda: transmitiendo potencia. Derecha: accionamiento de pedal y liberación de transmisión.	32
Figura 24: Embrague cónico, partes que lo componen.	33
Figura 25: Embrague magnético.....	34
Figura 26: Ejemplo embrague hidráulico.	35
Figura 27: Funcionamiento básico de un embrague centrífugo.	36
Figura 28: Diagrama de fuerzas y aceleraciones en una partícula en rotación.	37
Figura 29: Partes de un embrague centrífugo.	38

Figura 30: Funcionamiento del embrague centrífugo.	38
Figura 31: Ejemplo de activación de embrague centrífugo.	39
Figura 32: Diagrama, zapata	40
Figura 33: Calculo de grosor del tambor.....	42
Figura 34. Gráfica para calcular hc y hr.	44
Figura 35. Gráfica para calcular fv.	44
Figura 36. Ciclo termodinámico de Otto ideal.	48
Figura 37. Ciclo de motor de Otto de combustión interna.	48
Figura 38. Efectos del monóxido de carbono al ser humano.	51
Figura 39. Causas de la formación de compuestos tóxicos en la combustión interna.....	52
Figura 40. Funcionamiento del recubrimiento de catalizador.	53
Figura 41. Eficiencia de conversión para NOx, HC y CO.	54
Figura 42. Reacción catalítica heterogénea.	56
Figura 43. Adsorción disociativa en la reacción catalítica.	57
Figura 44. Formación del complejo activado.	57
Figura 45. Formación del producto de la reacción catalítica.	57
Figura 46. Desorción del producto final.	58
Figura 47. Comparación de una reacción con y sin catalizador.	58
Figura 48. Diseño típico del sustrato de un convertidor catalítico.	59
Figura 49. Sustratos de cerámica.	60
Figura 50. Sustratos de espuma cerámica.	60
Figura 51. Sustratos metálicos.	61
Figura 52. Intervalo o ventana de operación del sensor lambda.....	63
Figura 53. Regulación por dos sensores lambda.	64
Figura 54. Convertidor catalítico de tres vías.	65
Figura 55. Representación del proceso de sinterización de los catalizadores.	66
Figura 56. Representación del proceso de sinterización del recubrimiento.	67
Figura 57. Eficiencia de conversión de CO, HC y NOx respecto a la temperatura de los gases de combustión.	68
Figura 58. Análisis de la concentración de gases de combustión para la relación lambda.	69
Figura 59. Fase móvil y fase estacionaria sólida y líquida en la columna de separación.	70
Figura 60. Espectro de masas del benceno y los componentes obtenidos de la disociación por impacto de electrones.....	73

Figura 61. Cromatograma de una mezcla de gases y el espectro de masas de uno de sus componentes identificados.	74
Figura 62: Vista frontal y trasera del chasis del automóvil, fase I y II.....	76
Figura 63: Módulos de proyecto	79
Figura 64: Definición de bits y voltajes por módulos.	80
Figura 65: Módulo Raspberry Pi B+ con case transparente.....	80
Figura 66: Módulo USB de Wi-Fi CanaKit para Raspberry Pi.....	81
Figura 67: Módulo Convertidor USB a UART TTL serial CP2102.....	81
Figura 68: Pantalla LCD de 3.5 pulgadas, resolución 640x480.	81
Figura 69: Datos técnicos de pantalla LCD	82
Figura 70: Esquemático de regulador de voltaje. Diseñado en Altium Designer.	82
Figura 71: Diseño de PCB de módulo Regulador en Altium Design.	82
Figura 72: Esquemático de módulo de interconexiones. Diseñado en Altium Designer.	83
Figura 73: Diseño de PCB de módulo de interconexiones en Altium Design.....	84
Figura 74: Ultimate GPS Adafruit.....	84
Figura 75: Sub módulo GPS con su antena.	84
Figura 76: Datos técnicos de Ultimate GPS breakout V3.....	85
Figura 77: Esquemático de sub módulo de RPM. Diseñado en Altium Designer.	85
Figura 78: Diseño de PCB de módulo de RPM en Altium Design.....	85
Figura 79: Esquemático de sub módulo de temperatura. Diseñado en Altium Designer.	86
Figura 80: Diseño de PCB de módulo de temperatura en Altium Design	86
Figura 81. Xbee serie 2.....	89
Figura 82. Xbee Pro 900.....	89
Figura 83. Xbee Pro S2C.....	89
Figura 84. Módulo Xbee seleccionado-Xbee Pro 900	89
Figura 85. Arduino Mega 2560	90
Figura 86. Interfaz gráfica programa XCTU.....	91
Figura 87. Adaptador USB para Xbees.	92
Figura 88. Kit de inyección.....	93
Figura 89. ECU	94
Figura 90. Conexiones de sensores a ECU.....	94
Figura 91. Sistema ProCal.....	95
Figura 92. Sparkfun Rs232 Shifter.....	95

Figura 93. Acople macho-macho serial.	96
Figura 94. Datos técnicos del motor.	97
Figura 95. Gráfica de especificaciones técnicas del motor.	97
Figura 96: Mecanismo centrífugo elegido.	99
Figura 97: Esquema de mecanismo centrífugo con medidas.	99
Figura 98: Cálculo de momento de inercia de un cilindro.	104
Figura 99: Temperatura del embrague en accionamientos repetidos.	105
Figura 100: Mecanismo centrífugo.	107
Figura 101: Mecanismo centrífugo dentro del tambor.	107
Figura 102: Eje para mecanismo centrífugo.	108
Figura 103: Mecanismo centrífugo completo visto a la mitad.	108
Figura 104: Explosión del ensamblaje.	108
Figura 105. Desplazamiento de las paredes del tambor.	109
Figura 106: Presión de contacto en los tornillos del tambor.	109
Figura 107: Cálculo de los esfuerzos principales.	110
Figura 108: Calculo de esfuerzos Von Mises en el eje.	110
Figura 109: Análisis de desplazamiento en el eje.	111
Figura 110. Corte de cerámica de catalizador.	114
Figura 111. Partes principales del sistema de escape.	114
Figura 112. Sistema de catalizador instalado en motor Honda GXH50.	115
Figura 113. Manómetro diferencial.	116
Figura 114. Entradas de mangueras de manómetro diferencial.	117
Figura 115. Sistema original de captura de gases de combustión.	118
Figura 116. Sistema mejorado de captura de gases de combustión.	118
Figura 117. Diagrama de flujo para la metodología de la implementación del sistema de conversión de los gases de combustión.	121
Figura 118: Módulo Raspberry Pi, armado. Implementación final. A la derecha sale el bus de 40 bits.	122
Figura 119: Implementación final de pantalla LCD. Despliegue de datos en pantalla. Se puede apreciar el módulo de competencia.	123
Figura 120: Implementación final de módulo de regulación de voltaje.	123
Figura 121: Módulo regulación implementado. En un encapsulado plástico, con un disipador de calor.	123

Figura 122. Implementación final de módulo de conexiones.	124
Figura 123: Módulo GPS, “Ultimate GPS Breakout V3” instalado en módulo de interconexiones.	124
Figura 124. Implementación final de sub módulo de RPM.	125
Figura 125. Sensor inductivo implementado, sensor NPN normalmente abierto de 12mm.....	125
Figura 126. Implementación final de sub módulo de sensores.	126
Figura 127: Sensor de temperatura DS18B20 en un encapsulado metálico.	126
Figura 128: Sub módulo de botones.....	126
Figura 129: Sub módulo de botones.....	127
Figura 130. Interconexión de módulo de interconexiones y módulo Raspberry.	127
Figura 131: Especificaciones técnicas del módulo.	128
Figura 132. Módulo de sensores fase I instalado en el automóvil.....	128
Figura 133: Módulo de sensores completo.....	129
Figura 134: Módulos y sub módulos implementados, con sus respectivos sensores.	130
Figura 135. Configuración de direcciones para los módulos Xbee transmisor	133
Figura 136. Configuración de direcciones para módulos Xbee receptor.....	134
Figura 137. Configuración interfaz serial para módulos Xbee transmisor.....	135
Figura 138. Configuración interfaz serial para módulos Xbee receptor	136
Figura 139. Configuración identificador de red para módulos Xbee transmisor.....	137
Figura 140. Configuración identificador de red para módulos Xbee receptor	138
Figura 141. Prueba de alcance del módulo de transmisión en Colonia Monserrat I Mixco, Guatemala, vehículo, estación.....	139
Figura 142. Prueba en Antigua Guatemala	139
Figura 143. Imagen de la prueba en Antigua Guatemala desde la aplicación de Waze.	140
Figura 144. Ensamble de sistema motor-ECU	140
Figura 145. Unidad de control acoplada al motor.....	141
Figura 146. ECU conectado directamente.....	141
Figura 147. Conexión a computadora con software de interpretación	142
Figura 148. Adaptadores para transmisor conectados al ECU.	142
Figura 149. Acople conectado a receptor.....	143
Figura 150. Inicio de transferencia de datos.....	143
Figura 151. Nueva interfaz gráfica.....	144

Figura 152. Izquierda: Proceso de corte del material para tambor. Derecha: material del tambor luego de realizar un taladrado y un vaciado en el interior.	145
Figura 153. Izquierda: tambor completamente maquinado vista superior. Derecha: tambor completamente maquinado vista inferior.	146
Figura 154. Izquierda: desbastado para obtener la cabeza cónica. Derecha: proceso de manufactura de cuña.	146
Figura 155. Mecanismo centrífugo desarmado.	146
Figura 156. Diseño final de convertidor catalítico en sistema de escape, vistas de planta, alzado y lateral.	147
Figura 157. Diseño final de convertidor catalítico, vista de planta en modelo 3d.	147
Figura 158. Diseño final de convertidor catalítico, vista en perspectiva de modelo 3d.	148
Figura 159. Porcentaje de conversión de G.C.T. con flujo mínimo y medio para los 3 CC con analizador de gases.	149
Figura 160. Porcentaje de conversión promedio de G.C.T. con flujo máximo y medio para los 3 CC con analizador de gases.	150
Figura 161. Porcentaje de conversión promedio de G.C.T. 1 con flujo mínimo y medio para los 3 CC.	151
Figura 162. Porcentaje de conversión promedio de G.C.T. 1 con flujo máximo y medio para los 3 CC.	151
Figura 163. Porcentaje de conversión promedio de G.C.T. 2 con flujo mínimo y medio para los 3 CC.	152
Figura 164. Porcentaje de conversión promedio de G.C.T. 2 con flujo máximo y medio para los 3 CC.	152
Figura 165. Dimensiones de tambor.	190
Figura 166. Dimensiones del eje.	191
Figura 167. Diagrama K_t vs r/d	192
Figura 168. Diagrama de resistencia a la fatiga vs resistencia a la tensión.	194
Figura 169. Factor de material.	194
Figura 170. Factor de tamaño.	195
Figura 171. Factor de carga.	195
Figura 172. Ciclos de vida antes de la falla.	196
Figura 173. Diagrama f vs S_{ut}	196
Figura 174. Factor a	197

Figura 175. Factor b.....	197
Figura 176. Número de ciclos.....	197
Figura 177. Plano de tambor.....	198
Figura 178. Plano de eje.....	199
Figura 179. Plano de ensamble.....	200
Figura 180. Separación de los compuestos CO ₂ y N ₂ O en cg-ms para la muestra antes del catalizador con 3 cm de diámetro y un flujo de 8 vueltas.....	203
Figura 181. Traslape de los compuestos CO ₂ y N ₂ O en cg-ms para la muestra antes del catalizador con 3 cm de diámetro y un flujo de 8 vueltas.....	204
Figura 182. Separación de los compuestos CO ₂ y N ₂ O en cg-tcd para la muestra antes del catalizador con 3 cm de diámetro y un flujo de 8 vueltas.....	205
Figura 183. Reporte de área porcentual relativa para los compuestos CO ₂ y N ₂ O en cg-tcd para la muestra antes del catalizador con 3 cm de diámetro y un flujo de 8 vueltas.....	205
Figura 184. Reporte de área porcentual relativa para los compuestos CO ₂ y N ₂ O en cg-tcd para la muestra después del catalizador con 3 cm de diámetro y un flujo de 8 vueltas.....	205
Figura 185. Reporte de área porcentual relativa para una muestra de gases de un vehículo de diésel.....	206
Figura 186. Reporte de área porcentual relativa para una muestra de gases del motor Honda GXH50 con etanol.....	206
Figura 187. Cromatografía de cg-tcd para una muestra de CO ₂ grado industrial.....	206
Figura 188. Cromatografía de cg-tcd para una muestra de vapor de agua.....	207
Figura 189. Cromatografía de cg-tcd para una muestra de vapor de etanol.....	207
Figura 190. Identificación inicial de CO ₂ y N ₂ O por gc-ms.....	208

RESUMEN

El Proyecto tiene como nombre diseño y construcción de un vehículo ultra eficiente fase II. El auto es inscrito en la competencia anual de la Shell Eco Marathon Americas, en la categoría de prototipo, usando etanol.

Shell Eco-Marathon desafía a equipos de estudiantes de todo el mundo para diseñar, construir y probar los vehículos de ultra-bajo consumo. El objetivo es consumir el mínimo combustible posible a lo largo de una distancia determinada.

El módulo de **sensores** desarrollado presenta al piloto (el usuario) en una pantalla, de forma clara y amigable al conductor, la información que requiera según el uso que se le dé en ese momento, es decir el vehículo cuenta con una forma de selección si se encuentra en modo de prueba, en modo de competencia o en modo normal para desplegar los datos que necesite el piloto según lo amerite. Entre esos datos se despliegan están la velocidad, RPM, número de vueltas en el track, temperatura en cabina, temperatura en motor e indicador de cambio de velocidad. El diseño del mismo es modular a manera de poder implementar cambios en la programación del mismo y/o añadir módulos sin necesidad de desechar el módulo realizado. Se concluyó que el sistema se puede acoplar a diversos proyectos. Se recomienda incorporar un módulo de comunicación a este módulo, para transmitir esta información a un ordenador los datos percibidos por el módulo de sensores.

El módulo de **transmisión de datos inalámbricos** muestra el diseño, construcción e implementación de un módulo de transmisión de datos inalámbrico para un vehículo ultra eficiente diseñado para la competencia anual de la Shell Eco Marathon. Se inicia por la obtención de información de la señal a transmitir, la elección correcta del dispositivo transmisor, evaluación de una posible plataforma para procesamiento de datos si se considera necesaria y pruebas de alcance para el Sistema. Probándose en distintas áreas que permitan verificar su capacidad y alcance.

El módulo de **diseño e implementación de un embrague centrífugo** presenta un análisis de los tipos de embragues más destacados que se han desarrollado hasta la actualidad, un análisis de ventajas y desventajas de tales. Luego se explica de una manera más detallada el

funcionamiento de un embrague centrífugo y se presentan los cálculos necesarios para corroborar que el embrague es correcto o no para la aplicación.

El módulo de **implementación de un sistema de conversión catalítica para gases de combustión provenientes de un motor honda GXH-50**, tiene por objetivo la disminución de la cantidad de emisiones tóxicas. El trabajo consistió de dos partes principales: el diseño y adaptación del convertidor catalítico en el sistema de escape y el análisis semicuantitativo de la composición de los gases, para evaluar la eficiencia de conversión de los gases de combustión.

I. INTRODUCCIÓN

La competencia Shell Eco-marathon motiva a estudiantes de todo el mundo a diseñar, construir, y conducir vehículos ultra eficientes. La Universidad del Valle de Guatemala ha competido en tres ocasiones desde el año 2013. El vehículo compite en la categoría de prototipo y funciona a partir de etanol con un motor de combustión interna de 50 cc.

El proyecto tiene como nombre diseño y construcción de un vehículo ultra eficiente fase II. El cual es inscrito en esta competencia, específicamente en el área de etanol. Que tiene como objetivo la búsqueda de diseños vehiculares que permitan el mayor recorrido posible con la menor cantidad de combustible. La primera etapa de este Proyecto busco implementar un diseño competitivo que brindara las posibilidades de ganar la competencia, sin embargo existieron limitantes en el mismo que hicieron imposible la realización de esta meta. Por lo que la segunda fase de este proyecto busca eliminar estos obstáculos y permitirle al vehículo participar, terminar, competir y ganar el evento.

El módulo de **sensores** desarrolló un módulo que permite el despliegue de datos importantes para el piloto en pantalla, para el monitoreo constante del vehículo. Dicho módulo que maneja el concepto de modularidad, a manera de permitir mejoras en el módulo sin desechar el mismo y permita añadir más módulos al mismo para la mejora de este. Versatilidad y dinamismo en el diseño del módulo para el fácil uso del piloto, técnicos y futuros desarrolladores.

Se concluyó que el sistema se puede acoplar a diversos proyectos. Se recomendó incorporar un módulo de comunicación a este módulo, para transmitir esta información a un ordenador los datos percibidos por el módulo de sensores, para tener acceso de manera remota a ellos y poder dar instrucciones al piloto en base a estos resultados.

El módulo de **transmisión de datos inalámbricos** busca la posibilidad de obtener información relevante del motor del vehículo en tiempo real, mientras este se encuentre en movimiento. Esto resulta sumamente beneficioso para el equipo, ya que es posible monitorear constantemente el comportamiento del sistema mientras esta en uso, y realizar las respectivas modificaciones al mismo si se llegara a requerir. El diseño de este sistema se encuentra basado principalmente en las características propias de la señal que se desea transmitir. Eligiendo los transmisores adecuados con base en nuestros requerimientos.

La limitante de este módulo fue el alcance que posee. Ya que al ser un sistema inalámbrico tiene ciertas dificultades relacionadas con la existencia de obstáculos entre el emisor y el

receptor. Por lo que el lugar en donde el vehículo se encuentre movilizándose y la distancia de este mismo al receptor resultan aspectos claves para su correcto funcionamiento.

En el módulo **diseño e implementación de un embrague centrífugo** se realizaron cálculos para saber si el embrague seleccionado es o no el correcto para las condiciones de funcionamiento presentadas. En los cálculos, se calcula la masa necesaria de cada zapata para que el embrague sea funcional. También se calculó la temperatura que alcanzará al momento de ser activado repetitivamente.

El proyecto se manejó en dos fases, una de diseño y la siguiente de manufactura del embrague. Al haber concluido con la construcción se procedió a realizar pruebas en Guatemala, para asegurar su correcto funcionamiento y asegurar que cumpla con todos los requerimientos establecidos por la competencia.

El embrague fue el adecuado y las dimensiones seleccionadas para los elementos manufacturados fueron las adecuadas. En las pruebas el embrague funcionó sin ningún problema en varias activaciones.

El módulo de implementación de un sistema de conversión catalítica para los gases de combustión de un motor Honda GXH-50, tiene por finalidad la disminución de las emisiones tóxicas del vehículo ultra eficiente. Para esto se diseñó y adaptó un convertidor catalítico en el sistema de escape y se realizó un análisis semicuantitativo de la composición de los gases por cromatografía de gases.

La implementación del convertidor al sistema de escape tiene por objetivo permitir el funcionamiento correcto del mismo. Para esto se evaluó la caída de presión y la temperatura como parámetros de operación. Antes de evaluar el funcionamiento del convertidor se realizó su construcción. Esto consistió de la extracción y reducción del tamaño del sustrato original, para adaptarlo a las dimensiones del vehículo ultra eficiente. Se trabajó con tres tamaños de 2, 3 y 4 cm de diámetro. Y se realizó un sistema de tubería de escape para cada uno. Luego, se evaluó las condiciones de operación para que favorecieran la ocurrencia de las reacciones de oxidación y reducción. Para esto, se aseguró el flujo adecuado de los gases de combustión, y con ello una baja contrapresión en el motor menor a 1 psig, a través de la medición de la presión en el convertidor. Además, se controló la temperatura en el convertidor por medio de su aislamiento con fibra de vidrio y por medio de sensores de temperatura, para alcanzar la energía de activación mínima de conversión en el catalizador a 200°C.

El análisis semicuantitativo de los gases se basó en la realización de un método cromatográfico para determinar el cambio en las áreas relativas, asociadas a los compuestos presentes en la mezcla gaseosa. Esto permitió calcular el porcentaje de conversión de cada uno. Para esto, se estableció un diseño experimental utilizando un diseño factorial completo, que evaluó el efecto de las variables de flujo de aire (mínimo y máximo) y diámetro del catalizador (2 y 4 cm), con valores intermedios de flujo de aire y 3 cm de diámetro, sobre la eficiencia de conversión de los gases. El análisis fue semicuantitativo debido a que no se pudo cuantificar la concentración de las muestras utilizando patrones estándar. Sin embargo, sí se determinó la conversión de los gases por medio de la comparación de las áreas relativas a la composición completa de la mezcla. El método se llevó a cabo por espectrometría de masas (gc-ms) y por conductividad térmica (gc-tcd).

Se concluyó que el diseño y la construcción del convertidor catalítico fueron adecuadas, ya que es capaz de llegar a las condiciones de temperatura mínima con 229.0°C y de trabajar con una baja caída de presión, de 0.11 psig, en los sistemas evaluados. Por esto, su funcionamiento permite la conversión de los gases, aunque se requiere de un estudio más profundo para alcanzar su máxima capacidad de conversión, tanto de reducción como de oxidación. El análisis semicuantitativo realizado, según el diseño factorial, fue válido y permitió el cálculo de la conversión de los gases de combustión de mínima de -4.70% y máxima de 123.40% con flujo máximo de aire para un convertidor de 2 cm de diámetro, mínima de 1.74% y máxima de 28.85% con flujo medio de aire para 3 cm de diámetro y mínima de -0.93% y máxima de 51.03% con flujo máximo para 4 cm de diámetro. Con esto se determinó que la velocidad de flujo de aire fue la variable más significativa para la conversión con un valor p de 0.0028 para la conversión 1 y 0.0038 para la conversión 2. Esto se debe a que modifica directamente la composición de oxígeno, necesaria para las reacciones de oxidación y reducción en el convertidor.

Sin embargo, debido a que el estudio no buscó alcanzar el funcionamiento óptimo del catalizador en conjunto con el motor, y a la falta de patrones estándar gaseosos para la cuantificación de las concentraciones. No se puede afirmar que la conversión alcanzada en el convertidor catalítico esté disminuyendo los gases tóxicos a las concentraciones mínimas necesarias. Por esta razón, se recomienda la utilización de patrones estándares para poder utilizar el equipo capaz de identificar los gases de combustión y, cuantificar su concentración y conversión. Además, se recomienda utilizar un sistema de control de la composición de oxígeno y de la temperatura en el sistema del convertidor catalítico, para garantizar que las condiciones de operación sean las adecuadas y maximizar su funcionamiento.

II. OBJETIVOS

A. General

Realizar las mejoras necesarias al vehículo construido en la fase I del megaproyecto, para permitirle a éste, concluir satisfactoriamente el recorrido del circuito, propio de la competencia de la Shell Eco Marathon 2015.

B. Específicos

1. Que el piloto tenga control de los datos de los sensores y pueda seleccionar que datos observar en pantalla para toma de decisiones en tiempo real.
 - a. Que el sistema despliegue la información de los sensores en una pantalla LCD y el piloto pueda seleccionar que datos de los sensores que le interesen en la misma.
 - b. Implementación de Sensores de temperatura en la cabina (temperatura ambiente) y del motor.
 - c. Implementación de posicionamiento GPS y en base a esta contar el número de vueltas que el piloto lleva en el recorrido de una competencia.
 - d. Obtención de las RPM del motor.
 - e. Obtención de la velocidad del vehículo.
 - f. Mediante una interfaz gráfica, indicarle al piloto en que momento cambiar de velocidad, en relación a las RPM del motor.

2. Obtener los datos de los sensores montados en el motor, para permitir: el análisis de la información recopilada en tiempo real y mientras el vehículo se encuentra en movimiento, comprender el funcionamiento y habilitar mejoras al sistema.
 - a. Caracterizar la señal proveniente del puerto serial RS232 de la unidad de control ECU.
 - b. Establecer comunicación entre la unidad de control ECU y el sistema de procesamiento de información.
 - c. Implementar un sistema de procesamiento de información a transmitir utilizando un Arduino Mega.
 - d. Realizar un sistema de transmisión inalámbrico para la información procesada por el Arduino Mega utilizando Xbees, permitiendo un alcance de aproximadamente 1 km de distancia.
 - e. Verificar la recepción correcta de los datos transmitidos y recuperarlos, mediante el uso de Xbees y nuevamente un Arduino Mega encargado de procesar los datos recibidos.
 - f. Verificar que el software de recepción de datos de la unidad de control ECU, llamado ProCal, interprete correctamente los datos provistos por el transmisor.
3. Diseñar y construir un sistema de embrague que logre que la potencia del motor se transfiera a la caja reductora.
 - a. Implementar un embrague que permita que el vehículo se mantenga estacionario con el motor encendido, cumpliendo con los requisitos de la competencia.
 - b. Diseñar un embrague que simplifique para el piloto el procedimiento para movilizar el vehículo a partir del reposo.
 - c. Lograr que todo el sistema de embrague tenga una masa menor a 15 kg y que tenga una eficiencia mayor de 85%.

- d. Comprobar que el embrague funciona de forma adecuada a través de pruebas experimentales con el vehículo.
4. Implementar un sistema de conversión catalítica de los gases de combustión al motor Honda GXH-50, del vehículo ultra eficiente de la competencia Shell Eco-marathon 2015, por medio de la adaptación de un convertidor catalítico, para la reducción de las emisiones tóxicas.
 - a. Incorporar un convertidor catalítico al vehículo ultra eficiente, por medio de su diseño, instalación y adaptación en el sistema de escape.
 - b. Demostrar la disminución de las emisiones de óxido nitroso (N_2O) al reducirlo a nitrógeno (N_2), por medio de un análisis semicuantitativo por cromatografía de gases con espectrometría de masas.
 - c. Demostrar la disminución de las emisiones de monóxido de carbono (CO) al oxidarlo a dióxido de carbono (CO_2), por medio de un análisis semicuantitativo por cromatografía de gases con espectrometría de masas.

III. JUSTIFICACIÓN

El módulo de **sensores** es necesario para tener control sobre el vehículo al momento de realizar pruebas o estar en una competencia, lo cual permite al conductor tener acceso a información necesaria para determinar si el vehículo está respondiendo como es requerido. Tener un módulo que permita implementar cambios en un futuro sin desechar lo realizado es importante para que el diseño realizado permita realizar mejoras o añadir módulos, utilizando el concepto de modularidad. Esto permite que este módulo sea efectivo en este y otros proyectos que lo requieran, ahorrando recursos.

El módulo de **transmisión de datos inalámbricos** es fundamental en este auto eficiente, que participa en la competencia anual de la Shell Eco Marathon en la categoría de etanol, ya que es sumamente necesaria la obtención de datos en tiempo real del vehículo en movimiento. Este automóvil se utiliza en la competencia y durante su participación se considera sumamente importante el poder monitorear distintos aspectos relacionados con el motor, como su temperatura, revoluciones por minuto, etc. Esto es posible realizarlo actualmente, únicamente con el vehículo en estado estacionario y con un cable serial conectado a la unidad de control del motor (ECU). Por lo que para tener conocimiento del estado del carro al estar en movimiento durante la competencia, es sumamente importante contar con un módulo de transmisión inalámbrico que permita dicho monitoreo. De esta forma será posible eliminar todo tipo de cables existentes y permitir la obtención de información proveniente de todos los sensores. Este monitoreo es de suma importancia para los objetivos del proyecto, ya que lo que se busca es la elaboración de un sistema ultra eficiente y para lograrlo se requiere de información que describa el comportamiento del mismo en tiempo real, y la única forma para obtenerlo es mediante la utilización de un módulo de este tipo, que describa al sistema para permitirnos posteriormente analizarlo y de esta forma poder mejorarlo.

El módulo de **diseño e implementación de un embrague centrífugo** es importante porque actualmente el vehículo cuenta con un embrague cónico accionado por pedal, el cual se volvió obsoleto debido a que la empresa que lo producía dejó de hacerlo cerca de mediados de 2013. Con el pasar del tiempo el embrague actual presentó problemas como falta de accionamiento al presionar el pedal, accionamiento continuo del embrague sin necesidad de presionar el pedal y gran dificultad del piloto para realizar el procedimiento acelerador - embrague para movilizar el vehículo a partir del reposo. Es por esto que surge como propuesta de mejora la implementación de un nuevo tipo de embrague.

El módulo de **implementación de un sistema de conversión catalítica para gases de combustión provenientes de un motor honda GXH-50** es importante porque los gases tóxicos son productos inevitables en el proceso de combustión de un vehículo. Esto se debe a que algunas condiciones, tanto físicas como químicas del sistema, tendrán influencia sobre el proceso para desviarlo del comportamiento ideal. Algunas de éstas son: la fricción entre piezas mecánicas, la proporción de la mezcla aire-combustible, la presencia de otros compuestos en la mezcla de aire, entre otras.

Para vehículos que funcionan a partir de combustibles fósiles, los gases tóxicos son principalmente, remanentes de hidrocarburos, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno. Estos compuestos pueden ocasionar problemas respiratorios, cardiovasculares y también al sistema nervioso. Además, algunos son considerados sustancias cancerígenas. (Klingenberg, 1996) (Sher, 1998)

El monóxido de carbono es un gas tóxico para el ser humano, debido a que disminuye la capacidad de captar y transportar el oxígeno en la sangre. Su exposición a altas concentraciones, de aproximadamente 450 ppm en el aire, puede llegar a ser fatal entre 1.5 a 4 horas. Además, aún en bajas concentraciones, alrededor de 60 ppm, presenta molestias de salud, que pueden ser perjudiciales para personas con problemas del corazón. Por otra parte, los óxidos de nitrógeno también pueden reaccionar con los hidrocarburos para formar smog, que es causante de problemas respiratorios y ambientales. (AECC, 2015) (Klingenberg, 1996) (Sher, 1998)

Una de las principales formas de reducir el impacto generado al medio ambiente y a los seres vivos, debido a las emisiones de los vehículos, son los convertidores catalíticos. Su función es convertir los gases tóxicos en productos inocuos o menos dañinos, y su implementación reducirá la contaminación generada por la combustión incompleta.

Debido a esto, la implementación del convertidor catalítico en el vehículo ultra eficiente de la competencia Shell Eco-marathon, permitirá la reducción de los gases tóxicos generados. Convirtiéndolo en un modelo para vehículos que funcionan a partir de etanol, más amigable al medio ambiente, y que aplica la principal tecnología actual en autos para la limpieza de los gases de combustión. Además, permitirá monitorear el desempeño de la combustión, lo que podrá beneficiar en el futuro la eficiencia de su operación.

IV. MARCO TEÓRICO

A. MÓDULO SENSORES

1. **Micro controlador.** Un microcontrolador (MCU) tiene en un único circuito integrado que contiene un procesador (CPU), memoria ROM¹, memoria RAM² y periféricos programables de entrada / salida; todos interconectados mediante un bus de datos y un bus de direcciones según lo requiera el diseño de cada microcontrolador. (Frantz, s.f.)

Cuando en comparación con MPU (Multiple Process Unit), MCUs han potencia de procesamiento y la falta de gráfico limitado capacidad. Sistemas construidos a partir de MCUs a menudo requieren algunas operaciones de E / S a leer las señales y activar / desactivar ciertos bits. Muchos MCU se centran en específico aplicaciones finales e integrar E / S específica para adaptarse, por ejemplo, ADC, DAC, PWM, etc. (Kean, 2010)

Figura 1. Ejemplo de un MCU.



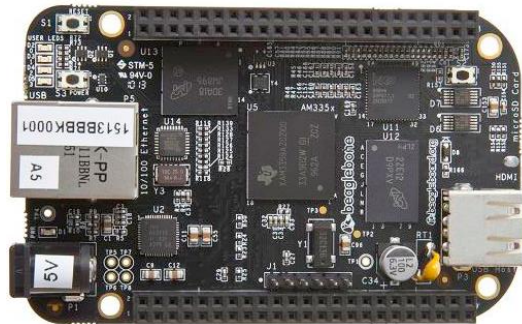
(Microchip, 2015)

2. **Single board computer.** Los SBC (Single Board Computer) son totalmente funcionales ordenadores contenidos en un solo circuito. Junta la placa base y placas secundarias que dependen unos de otros para operar en un MBC (Multi Board Computer). Ellos se incrustan más comúnmente como controladores y las interfaces dentro de otros dispositivos. Los SBC reducen el número de componentes y conectores y por lo tanto puede reemplazar a un MBC. (Hassig, 2015)

¹ ROM: (Read-only memory) memoria para acceder a instrucciones guardadas. Es memoria no volátil.

² RAM: (Random access memory) memoria para acceso rápido, donde se guardan datos de variables, banderas de estado y control de un microcontrolador, entre otros. Es memoria volátil.

Figura 2. SBC Beagle Board.

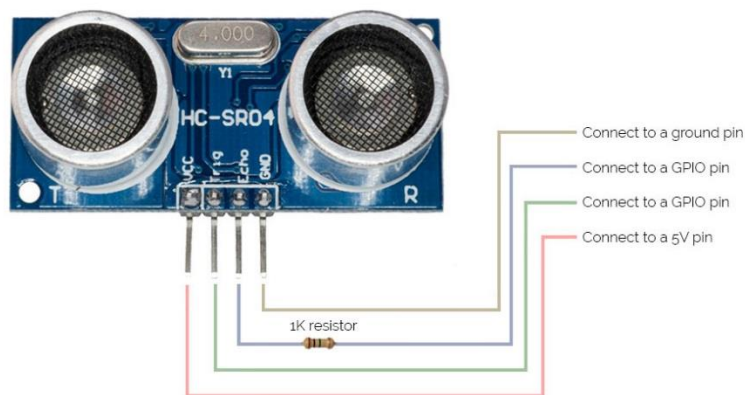


(BeagleBone, 2015)

3. **Sensores de proximidad.** Los Sensores de Proximidad incluyen a todos los sensores que hacen la detección sin contacto. Los sensores de proximidad convierten la información sobre el movimiento o la presencia de un objeto en una señal eléctrica. Algunos tipos son inductivos, fotoeléctricos, ultrasónicos, magnéticos. (Skillten, 2015) A continuación se detallan algunos de ellos:

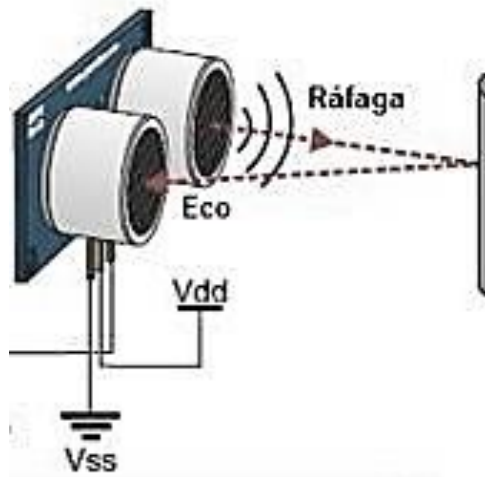
a. **Sensor ultrasónico.** Para su funcionamiento hay que generar una onda sónica en el emisor mediante un pulso en pin de trigger, esta onda al encontrarse con algún obstáculo rebotará, volviendo al sensor y siendo registrada por el receptor, traduciéndose esta en un pulso ("Echo"). Se obtiene la distancia que recorrió el pulso, utilizando la velocidad de la luz y el tiempo transcurrido desde que se envió el pulso. Puede apreciarse de una forma más ilustrativa en la figura el funcionamiento de este sensor. (Diosdado, 2015) (Lappin, 2015)

Figura 3. Sensor ultrasónico HC SR 04, diagrama de pines del sensor.



(Lappin, 2015)

Figura 4. Sensor ultrasónico HC SR 04, funcionamiento.



(Diéguez, 2015)

b. Sensores fotoeléctricos. Un sensor fotoeléctrico es un dispositivo electrónico que responde al cambio en la intensidad de la luz. Estos sensores requieren de un componente emisor que genera la luz, y un componente receptor que "ve" la luz generada por el emisor. Todos los diferentes modos de censado se basan en este principio de funcionamiento. Están diseñados especialmente para la detección, clasificación y posicionado de objetos; la detección de formas, colores y diferencias de superficie, incluso bajo condiciones ambientales extremas. (Industrial, 2015)

Figura 5: Sensores fotoeléctricos.



(Goblin, 2015)

Los sensores de luz se usan para detectar el nivel de luz y producir una señal de salida representativa respecto a la cantidad de luz detectada. Un sensor de luz incluye un fotoeléctrico para convertir la luz a una señal eléctrica y puede incluir electrónica para condicionamiento de la señal, compensación y formateo de la señal de salida. (Industrial, 2015)

c. **Sensores inductivos.** Sensores que detectan metales, ferrosos o no ferrosos, y utilizan inducción electromagnética para generar y detectar las corrientes de pérdidas o de Foucault que se generan.

Sensores de proximidad inductivos son diseñados para funcionar mediante la generación de un campo electromagnético y detectar la corriente de Foucault pérdidas actuales generan cuando ferrosos y metales no ferrosos de destino objetos entran en el campo. El sensor consta de una bobina en un núcleo de ferrita, un oscilador, un detector de nivel de activación de señal y un circuito de salida. Con un objeto metálico las corrientes de Foucault se inducen en el objetivo. El resultado es una pérdida de energía y una amplitud menor de oscilación. El circuito detector entonces reconoce un cambio específico en amplitud y genera una señal que a su vez, la salida "ON" de estado sólido o "OFF." (Bradley, 2015) (Ali M. Niknejad, s.f.)

Figura 6: Sensor inductivo.



(Autonics, 2015).

d. **Sensores de temperatura.** La temperatura es una medida del promedio de energía cinética de las partículas en una unidad de masa, expresada en unidades de grados en una escala estándar. Puede medir temperatura de diferentes maneras que varían de acuerdo al costo del equipo y la precisión. Los tipos de sensores más comunes son los termo coplas, RTDs y termistores. (Instruments, 2015)

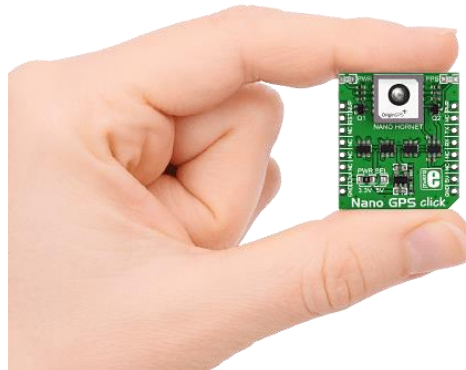
Figura 7: Sensor RTD PT 100 sumergible.



(ProSense®, 2015)

4. **GPS.** Sistema de Posicionamiento Global: Un sistema de navegación basado en satélites en el que dos o más señales, recibidas de los satélites, se utilizan para determinar la posición del receptor en el globo. (Integrated m. , 2015)

Figura 8: Nano GPS de Mikroelectronika.



(Mikroelectronika, 2015)

5. **Arduino.** “Arduino es una plataforma de prototipos de código abierto basado en hardware y software fácil de usar. Es un micro controlador. Para ello se utiliza el lenguaje de programación de Arduino (basado en Wiring) y el software de Arduino (IDE).” (Arduino.cc, 2015)

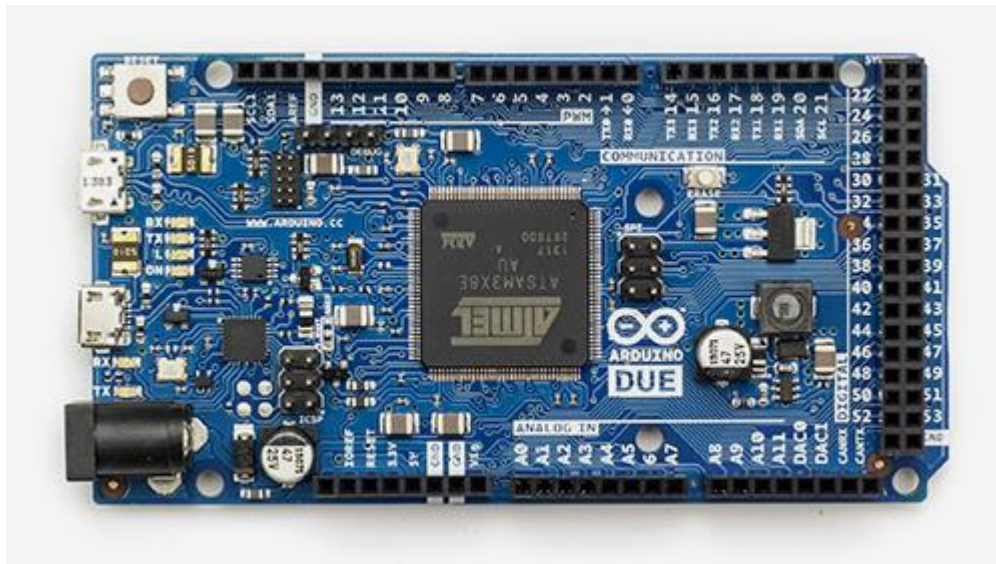
Arduino nació a Ivrea Interaction Design Institute como una herramienta fácil dirigido a estudiantes sin experiencia en electrónica y programación. Luego la placa Arduino comenzó a cambiar para adaptarse a las nuevas necesidades.

Existen varios productos Arduino, entre ellos Arduino/Genuino Micro, Arduino Pro y Arduino/Genuino UNO, entre otras. Las versiones más avanzadas están Arduino/Genuino 2560, Arduino zero, y Arduino DUE.

El Arduino DUE es el que tiene mayor capacidad de procesamiento, entre otras ventajas más. A continuación se detalla las especificaciones técnicas del mismo.

- Microcontrolador: AT91SAM3X8E, 84 MHz, 32-bit core ARM
- Memoria RAM: 96 KB
- Pines GPIO: 54
- Un controlador DMA (Direct Memory Access), para tareas de memoria intensiva

Figura 9: Arduino DUE.



(Arduino, Arduino Board Due, 2015)

6. Raspberry Pi. La Raspberry Pi (Adafruit, 2015) es un SBC de bajo costo, que permite conectar un monitor de ordenador o un televisor mediante conexión RCA³ o HDMI, utiliza un teclado y un mouse estándar. Esta tiene además puertos USB (Variantes entre las versiones existentes) y puerto de Ethernet.

Acorde a Raspberry.org “Es un dispositivo poco capaz que permite a las personas de todas las edades para explorar la computación, y para aprender a programar en lenguajes como Scratch y Python. Es capaz de hacer todo lo que espera de una computadora de escritorio, desde navegar por Internet y reproducción de vídeo de alta definición, a hacer hojas de cálculo, procesadores de texto, y jugar juegos” (Raspberrypi.org, 2015) (Adafruit, 2014)

³ Conectores para audio y video de tipo RCA

Es utilizado en una amplia gama de proyectos de diversa índole, debido a su versatilidad.

A continuación se detalla las especificaciones técnicas del mismo.

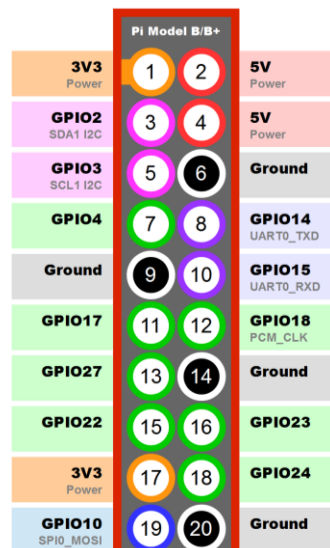
- Procesador: 700 MHz Broadcom BCM2835 CPU
- Memoria RAM: 512 MB SDRAM 400 MHz Almacenamiento: tarjeta microSD
- Puertos USB: cuatro puertos USB 2.0
- Energía: 600mA hasta 1.8A a 5V
- Pines GPIO: 40

Figura 10: Raspberry Pi B+.

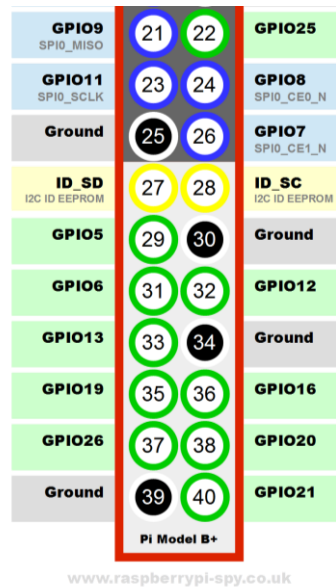


(Adafruit, 2015)

Figura 11: Raspberry Pi B+ GPIO pins.



Continuación Figura 11: Raspberry Pi B+ GPIO pins.



(MATT, 2014)

Figura 12: Especificaciones técnicas Raspberry Pi B+.

Specifications	
Chip	Broadcom BCM2835 SoC
Core architecture	ARM11
CPU	700 MHz Low Power ARM1176JZFS Applications Processor
GPU	Dual Core VideoCore IV@ Multimedia Co-Processor Provides Open GL ES 2.0, hardware-accelerated OpenVG, and 1080p30 H.264 high-profile decode Capable of 1Gpixel/s, 1.5Gtexel/s or 24GFLOPs with texture filtering and DMA infrastructure
Memory	512MB SDRAM
Operating System	Boots from Micro SD card, running a version of the Linux operating system
Dimensions	85 x 56 x 17mm
Power	Micro USB socket 5V, 2A
Connectors:	
Ethernet	10/100 BaseT Ethernet socket
Video Output	HDMI (rev 1.3 & 1.4) Composite RCA (PAL and NTSC)
Audio Output	3.5mm jack, HDMI
USB	4 x USB 2.0 Connector
GPIO Connector	40-pin 2.54 mm (100 mil) expansion header: 2x20 strip Providing 27 GPIO pins as well as +3.3 V, +5 V and GND supply lines
Camera Connector	15-pin MIPI Camera Serial Interface (CSI-2)
JTAG	Not populated
Display Connector	Display Serial Interface (DSI) 15 way flat flex cable connector with two data lanes and a clock lane
Memory Card Slot	SDIO

(Adafruit, 2014)

B. MÓDULO TRANSMISIÓN DE DATOS INALÁMBRICO

1. **Caracterización de una señal.** Desde una perspectiva investigativa la caracterización es una fase descriptiva con el objetivo de identificar distintos aspectos de un elemento en particular, estableciendo un ordenamiento conceptual. (Catarina, n.d.)

Este concepto es el que se aplica al momento de caracterizar una señal eléctrica, que brinda, como se menciona anteriormente, las características propias del elemento con un objetivo específico. (Catarina, n.d.)

Este fundamento lo podemos aplicar tanto a una señal como a un dispositivo que genera dicha señal, por ejemplo un sensor. En este caso la caracterización de un sensor se basa en el cálculo de la ecuación característica de su comportamiento. Haciendo referencia a la expresión matemática que determina la razón de cambio en la variable de salida, por lo general una señal eléctrica, con respecto a una variable de entrada, es decir cómo cambia la respuesta de nuestro sistema a distintas señales de entrada. A esta expresión regularmente se le denomina función de transferencia. La caracterización de los sensores resulta esencial para la implementación de valores, una buena caracterización genera mediciones con un alto nivel de exactitud. (Franks, 1975)

Sin embargo, cual es la razón por la que deseamos caracterizar una señal eléctrica o el sensor que la genera. La razón es simple, para poder manipular la señal e interpretarla. Esto requiere de un nuevo proceso, que permita su manipulación, por lo que resulta necesario acondicionar la señal. Ahora bien, acondicionar una señal eléctrica consiste en la manipulación electrónica de dicha señal, mediante el uso de dispositivos electrónicos adecuados que permitan su correcta manipulación, brindándonos los voltajes y corrientes que se requieren para un diseño previamente establecido. El acondicionamiento de señales puede ser útil al momento de realizar una instrumentación ya que al modificar una señal para que esta tenga rangos de voltajes más altos, es posible obtener una mayor resolución en las mediciones, además de presentar mejor inmunidad al ruido.

2. **Características de una señal.** La comunicación es una actividad que se deriva del lenguaje y pensamiento colectivo. Gracias a este proceso es posible intercambiar mensajes entre usuarios. Los componentes básicos de la comunicación son el emisor (codificador), el código, el mensaje, el receptor (decodificador) y el canal. (Herrera, 2004)

- Emisor: es el usuario que transmite el mensaje. El emisor es quien inicia el proceso de comunicación.
- Código: es el conjunto de símbolos que el emisor emplea para transmitir un mensaje
- Mensaje: es el contenido de la información que transmite el emisor y que recibirá el receptor.
- Receptor: es el usuario que recibe el mensaje. Este ejecuta un proceso inverso al emisor, dado que debe decodificar e interpretar el mensaje. Existen dos tipos de receptores. El receptor activo el cual recibe el mensaje, y almacena el mismo. Por otro lado se tiene el receptor pasivo que únicamente recibe el mensaje. (Herrera, 2004)
- Canal: es el medio por el cual se transmite la comunicación y es el que permite establecer una conexión entre el emisor y el receptor. (Herrera, 2004)

Siendo así, en un sistema de telecomunicaciones se encuentra conformado de igual forma por un emisor y un receptor. En este caso al emisor se le denomina procesador central y esta auxiliado por un dispositivo electrónico llamado procesador de comunicaciones. Ambos en conjunto tienen como objetivo enviar la información mediante un canal al receptor. Este último es conocido como terminal remota. (Herrera, 2004) (Bateman, 2003)

La información que viaja a través de un canal de comunicación por ejemplo un cable de cobre, es una señal eléctrica. Existen distintos aspectos que identifican a una señal eléctrica, estos son:

- Amplitud
- Frecuencia
- Fase

Amplitud: la amplitud es el valor máximo que puede llegar a alcanzar una señal, ya sea negativo o positivo, asimismo es la distancia máxima que separa cada partícula de su punto de equilibrio. El valor máximo positivo que toma la amplitud de una onda recibe el nombre de pico o cresta. El valor máximo negativo que toma la amplitud se llama valle. Y finalmente el punto donde la onda se anula al pasar del valor positivo a negativo o viceversa, se conoce como punto de equilibrio. (Franks, 1975)

Frecuencia: este término se define como el número de oscilaciones que una onda realiza en un determinado intervalo de tiempo. Al número de ciclos por segundo que efectúa una señal se le denomina Hertz (Hz) y es la unidad de medida de la frecuencia. (Franks, 1975)

Fase: es el punto donde dos señales se encuentran en un instante determinado. Cada punto perteneciente a una onda posee una fase definida que indica cuanto ha avanzado dicho punto a través del ciclo básico de la señal. Es posible representar un ciclo en un ciclo de 360 grados, afirmando que la fase es la diferencia de grados que existen entre un punto dentro de este círculo y su comienzo. Existen diversos factores que pueden provocar un cambio en el estado de la onda: (Franks, 1975)

- Al momento de existir dos ondas de igual frecuencia en igualdad de fase, se suman.
- Dos ondas de igual frecuencia en una fase totalmente opuesta, se restan y se forma una interferencia o distorsión.
- Dos ondas idénticas desfasadas 180 grados, se cancelan

Señal analógica: es un tipo de señal representada por una función matemática continua en la que es variable su amplitud y periodo, en función del tiempo. En la naturaleza existe un conjunto de señales analógicas que percibimos constantemente, por ejemplo: la luz, el sonido, la energía, etc. (Franks, 1975)

Señal eléctrica analógica: es aquella en la que los valores de voltaje varían constantemente en forma de corriente alterna, incrementando su valor de forma positiva y de forma continua disminuyéndolo negativamente. (Franks, 1975)

Señal digital: este es un tipo de señal que resulta ser discreta en amplitud y continúa en el tiempo. Es decir que su magnitud posee valores definidos o estados y no valores en un rango determinado. Por ejemplo, un interruptor de luz únicamente puede asumir dos estados: abierto o cerrado. Los sistemas digitales utilizan la lógica de dos estados representados por dos niveles de tensión, es decir, unos y ceros. Por otro lado a parte de los niveles, una señal digital posee transiciones de un estado a otro. Denominamos flancos de subida o flancos de bajada. (Franks, 1975)

Ancho de banda: en una conexión a internet por ejemplo, corresponde a la cantidad de datos que se pueden enviar por medio de esta. Se mide en bits por segundo. Cuanto mayor sea el ancho de banda, más datos podrán ser transmitidos por segundo. Es importante mencionar que esta definición es aplicable a señales digitales. Asimismo se tiene la definición de ancho de banda para una señal analógica. Esta es la longitud, medida en Hertz (Hz), de la extensión de las frecuencias en la que se concentra la mayor potencia de la señal. (Franks, 1975)

Cada tipo de conexión tiene su propio ancho de banda y su tasa de transferencia. Es común denominar ancho de banda digital a la cantidad de datos que se pueden transmitir en una unidad de tiempo.

Baudio: esta es la unidad informática que se emplea para representar el número de símbolos por segundo que se transfieren en una transmisión digital. Cada símbolo puede codificar 1 o más bits, dependiendo del tipo de modulación que se esté utilizando. Es importante mencionar que no se debe confundir la velocidad en baudios (baud rate) con la tasa de bits (bit rate), ya que cada evento de símbolo transmitido puede enviar uno o más bits. Únicamente cuando cada evento de símbolo transporta un solo bit coincide la velocidad de transmisión de datos en baudios y en bits por segundo. Las señales binarias tienen la tasa de bits igual a la tasa de símbolos, por lo que la velocidad en baudios coincide con la tasa de bits. (Franks, 1975)

Actualmente todos los dispositivos de comunicación utilizan un orden para poder transmitir datos. Existen diversas formas en las que se lleva a cabo una transmisión, estas son:

- Simplex: hace referencia a un canal de comunicación que transporta información en un solo sentido. En este tipo de comunicación existe un único canal físico y un único canal unidireccional.
- Half dúplex: este tipo de configuración permite la transferencia de datos en ambas direcciones, sin embargo no puede ocurrir de forma simultánea.
- Full dúplex: la mayoría de sistemas modernos funcionan bajo esta configuración. Esta permite la transmisión y recepción de información simultáneamente, debido a un canal bidireccional. Esto es posible de dos formas: mediante el uso de frecuencias separadas o cables separados. (Franks, 1975)

3. Tecnología de transmisión inalámbrica. La comunicación inalámbrica o sin cables es aquella en la que el emisor y el receptor no se encuentran unidos por un medio de propagación físico, sino que utiliza la modulación de ondas electromagnéticas a través del espacio. Al momento de utilizar este tipo de tecnología, los dispositivos físicos solo se encuentran presentes en los receptores y emisores de la señal. Algunos de estos dispositivos son antenas, computadoras, celulares, etc. (Laudon & Laudon, 2004)

Es importante mencionar que actualmente las redes que utilizan cables para la transmisión de datos poseen una ventaja significativa sobre aquellas que utilizan una tecnología inalámbrica, y es en cuanto a su velocidad. Las redes cableadas proporcionan velocidades de hasta 1

Gbits/segundo mientras que las inalámbricas únicamente llegan a 108 Mbits/segundo. (Laudon & Laudon, 2004)

En términos generales la tecnología inalámbrica utiliza ondas de radiofrecuencia de baja potencia y banda específica, ya sea de uso libre o privado, para transmitir información entre dispositivos.

El medio de transmisión inalámbrico es el espectro electromagnético. Algunos tipos de transmisión inalámbrica como las microondas o los rayos infrarrojos ocupan por naturaleza rangos específicos de frecuencias del espectro. Otros tipos de transmisiones inalámbricas son usos que ya se encuentran en funcionamiento como los teléfonos celulares y los dispositivos de radiolocalización, a los que las dependencias reguladoras de cada país y acuerdos internacionales han brindado un rango específico de frecuencias. Cada rango de frecuencias tiene sus propias características, ventajas y desventajas y son estas las que han permitido determinar la función específica de cada una según los requerimientos de transmisión. (Laudon & Laudon, 2004)

Existen sistemas de microondas, de radiolocalización, teléfonos celulares, servicios de comunicación personal, asistentes personales digitales y redes móviles de datos. Cada uno diseñado para diversas condiciones.

Las redes inalámbricas y los dispositivos de transmisión suelen ser más caros, más lentos y más propensos a errores que la transmisión a través de redes de cable, aunque muchas de las redes de telefonía digital se encuentran actualizando y mejorando la velocidad de sus servicios. La capacidad de transmisión y el abastecimiento de energía en los dispositivos inalámbricos requieren de una cuidadosa administración desde los puntos de vista de hardware y software. La seguridad y la privacidad serán más difíciles de proteger dado que la transmisión inalámbrica se puede interceptar fácilmente. (Laudon & Laudon, 2004)

Los procesadores de comunicaciones, como procesadores front-end, concentradores, controladores, multiplexores y módems, soportan la transmisión y recepción de datos en una red de telecomunicaciones. En el caso del procesador front-end es una computadora que se encarga de la administración de comunicaciones y se encuentra adjunta a la computadora principal o host. Esta regularmente realiza el procesamiento de comunicaciones como control de errores, formateos, edición, enrutamiento y velocidad. Por otro lado el concentrador es una computadora de telecomunicaciones programable que recolecta y almacena temporalmente los mensajes que provienen de las terminales hasta que estén listos suficientes mensajes para enviarlos de manera económica. El controlador es una computadora especializada que supervisa el tráfico de

comunicaciones entre el CPU y los dispositivos periféricos como las terminales e impresoras. Y el multiplexor es un dispositivo que permite que un canal único de comunicaciones transporte simultáneamente transmisiones de datos provenientes de múltiples orígenes. (Laudon & Laudon, 2004)

Existe una gran variedad de maneras distintas de organizar los componentes de las telecomunicaciones para formar una red, y por ende, múltiples formas de clasificar las redes. Las redes se pueden clasificar por su topología, que es la forma como se conectan sus componentes. También es posible clasificarlas por su alcance y el tipo de servicios que brindan. (Laudon & Laudon, 2004)

Dentro de las clasificaciones por topologías se encuentran:

- Red de estrella
- Red de bus
- Red de anillo

La red de estrella consiste en un dispositivo conectado a varios dispositivos o terminales más pequeños. Esta topología es útil para aplicaciones en las que algunos procesamientos se deben centralizar y otros se pueden llevar a cabo localmente. Una de sus desventajas es la vulnerabilidad. Toda la comunicación entre los puntos de la red debe pasar por medio del dispositivo central. Dado que esta funciona como controlador de tráfico de los demás dispositivos, la comunicación de la red se podría llegar a interrumpir si el dispositivo host deja de funcionar. (Laudon & Laudon, 2004)

La red de bus enlaza diversas computadoras con un círculo único hecho de cable. Todas las señales se difunden en ambas direcciones a toda la red y con un software propio de la red se identifica que componentes reciben cada mensaje. Si un dispositivo de la red falla, ninguno de los otros dispositivos conectados se ve afectado. Sin embargo en una red de esta topología el canal solo puede manejar un mensaje a la vez, por lo que el desempeño podría decaer si existe un alto volumen de tráfico de datos. Cuando dos máquinas envían un mensaje simultáneamente, surge una colisión y deben reenviarse los mensajes. (Laudon & Laudon, 2004)

La red de anillo al igual que la red de bus, no descansa en una computadora host, y no necesariamente dejaría de funcionar si alguna de las computadoras que la componen llegara a tener problemas. Cada computador puede comunicarse directamente con cualquier otra computadora y cada una procesa sus propias aplicaciones de forma independiente. Sin embargo en esta topología la red forma un ciclo cerrado. Los datos pasan de una computadora a otra por el anillo y siempre fluyen en una dirección. (Laudon & Laudon, 2004)

Todas estas configuraciones utilizadas para organizar los componentes de una red, pueden ser utilizadas en diversos sistemas inalámbricos. Uno de los sistemas inalámbricos más usados actualmente y de libre acceso, son los módulos de transmisión Xbee.

a. **Módulos XBEE.** Es necesario iniciar con una pequeña definición para los módulos Xbee. Esencialmente hablando que es un Xbee. Según Digi, los módulos Xbee son soluciones integradas que brindan un medio inalámbrico para la interconexión y comunicación entre dispositivos. Estos ofrecen una gran variedad de combinaciones de hardware, protocolos, antenas y potencias de transmisión. (Xbee.cl, 2015)

A continuación se presenta una breve descripción de las configuraciones que ofrecen estos módulos. En cuanto a hardware existen dos tipos:

Xbee serie 1:

- Estos no necesitan ser configurados, y son fáciles para trabajar e ideales para empezar.
- Comunicación punto a punto y punto multi-punto.
- Un módulo de serie 1 no puede comunicarse con otro de serie 2.
- Utilizan un chip fabricado por Freescale para brindar una comunicación simple.

(UASLP, 2015)

Figura 13. Xbee serie 1.



(UASLP, 2015)

Xbee serie 2 (2.5, ZB, 2B):

- Comunicación punto a punto, punto-multipunto y redes mesh.
- Estos módulos deben ser configurados previamente.
- Utilizan un chip fabricado por Ember Networks que habilita diferentes parámetros de las redes mesh.

(Xbee.cl, Xbee, 2015)

Figura 14. Xbee serie 2.



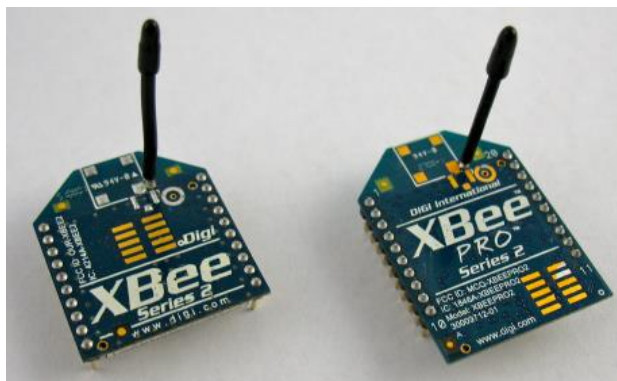
(Faludi, 2015)

En cuanto a la potencia de transmisión, de igual forma existen dos tipos:

(Xbee.cl, 2015)

Y básicamente son los Xbee simples y los Xbee PRO. Tanto la serie 1 como la serie 2 se encuentran disponibles en ambas versiones. Y la diferencia es que la versión PRO consume más energía, posee un costo más elevado pero tiene un rango de distancia mucho mayor. Tanto el simple como el PRO se configuran de la misma forma.

Figura 15. Xbee serie 2 simple y versión PRO

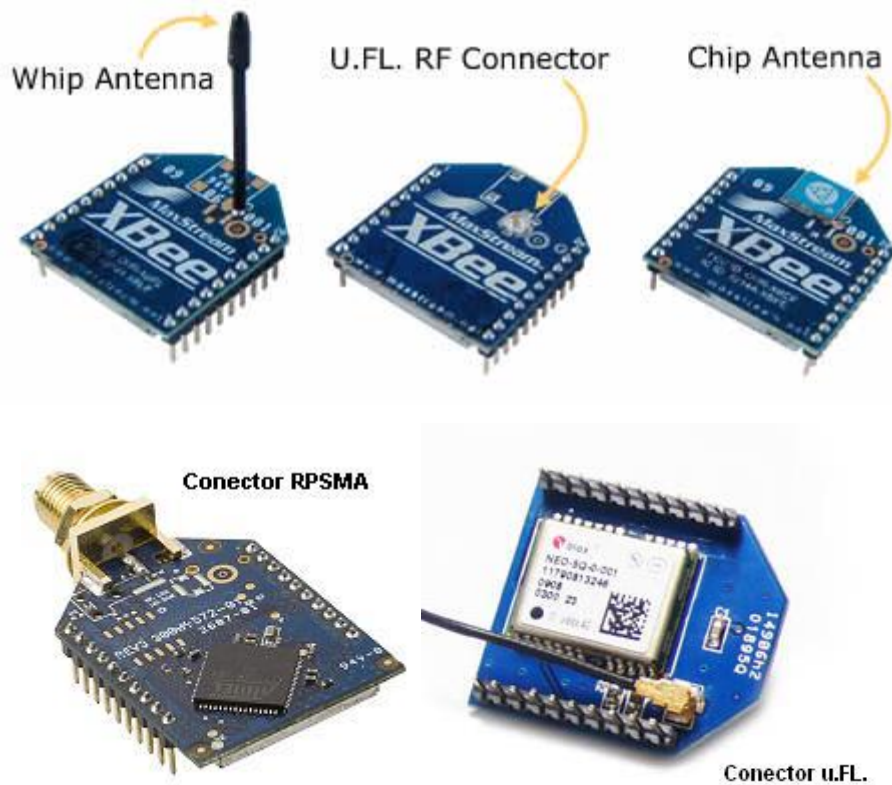


(Faludi, 2015)

En cuanto al tipo de antena que utilizan, se encuentran cuatro versiones distintas:

- Antena de cable (whip antenna): estos poseen básicamente un cable como antena que sobresale del módulo Xbee. En este la distancia máxima de transmisión es aproximadamente la misma en todas las direcciones posibles.
- Antena de chip: esta antena es un chip de cerámica plana que se encuentra al ras del cuerpo del Xbee. Esto hace que sea más pequeño y robusto, sin embargo la señal puede atenuarse de diversas formas. Es utilizado cuando existe riesgo que la antena sufra algún daño físico o no se cuenta con el espacio suficiente para colocar una de otro tipo. (Xbee.cl, 2015)
- Antena PCB: la antena se imprime directamente en la placa del circuito del Xbee. Este ofrece las ventajas y desventajas de la antena de chip mencionada anteriormente, pero a un costo menor.
- U.FL y conector RPSMA: estos necesitan de una antena externa. Se utilizan cuando se desea orientar la antena en una dirección específica o diversas direcciones, o bien, cuando se requiere utilizar un tipo especial de antena. (Xbee.cl, 2015)

Figura 16. Xbees con distintos tipos de antena.



(UASLP, 2015)

En cuanto al tipo de antena, dentro de la última clasificación, U.FL y conector RPSMA surgen dos familias distintas de módulos Xbee. Estas son:

900 Mhz: estos módulos son fáciles de utilizar, poseen una configuración previa de fábrica. Trabajan a una frecuencia de 900 Mhz. Y esta es básicamente la gran diferencia con el resto de módulos, dado que la mayoría de módulos Xbee funcionan a una frecuencia de 2.4 GHz. Poseen un mejor alcance con una antena de alta ganancia. En algunos países esta familia de 900 Mhz, no están permitidos por lo que se posee una alternativa de 868 Mhz. (Xbee.cl, 2015)

XSC: estos son módulos de 900 Mhz, pero sacrifican la velocidad por el alcance. Los módulos de 900 Mhz tienen una velocidad de datos de aproximadamente 156kbps mientras los módulos XSC alrededor de los 10 kbps. Pueden llegar a tener un alcance de 9.6 km con una antena regular y hasta 24 km con una antena de alta ganancia. (Xbee.cl, 2015)

Cada uno de estos módulos trabaja bajo un protocolo propio. Sin embargo algunos por tener un alcance superior utilizan otro protocolo que lo permita. Siendo así, se poseen múltiples protocolos bajo el mismo formato, estos son: (Xbee.cl, 2015)

- Protocolo DigiMesh
- Protocolo punto a punto /multipunto
- Protocolo 802.15.4
- Protocolo Zigbee
- Protocolo WiFi

Casi todos los protocolos pueden ser utilizados por todas las versiones de Xbee, en caso de los serie 1 utilizan todos excepto el DigiMesh, el cual lo pueden utilizar la serie 2 y los de 900 Mhz. Dado que está diseñado para aplicaciones que requieran de un alcance superior. (Xbee.cl, 2015)

Una vez se tiene claro, las versiones de Xbee que existen y los protocolos que pueden ser utilizados, es necesario configurar todos estos parámetros en los transmisores. Para esto resulta necesario conocer para que sirve cada uno de los pines que estos poseen.

Figura 17. Descripción de pines de módulos Xbee.

Pin #	Name(s)	Description
1	VCC	3.3 V power supply
2	DOUT	Data Out (TX)
3	DIN	Data In (RX)
4	DIO12	Digital I/O 12
5	RESET	Module reset (asserted low by bringing pin to ground)
6	PWM0/RSSI/DIO10	Pulse-width modulation analog output 0, Received Signal Strength Indicator, Digital I/O 10
7	DIO11	Digital I/O 11
8	Reserved	Do not connect
9	DTR/SLEEP_RQ/ DIO8	Data Terminal Ready (hardware handshaking signal), Pin Sleep Control (asserted low), Digital I/O 8
10	GND	Ground
11	DIO4	Digital I/O 4
12	CTS/DIO7	Clear to Send (hardware handshaking), Digital I/O 7
13	ON/SLEEP	Sleep indicator (off when module is sleeping)
14	VREF	Not used in Series 2
15	ASSOC/DIO5	Association indicator: blinks if module is associated with a network, steady if not; Digital I/O 5
16	RTS/DIO6	Request to Send (hardware handshaking), Digital I/O 6
17	AD3/DIO3	Analog Input 3, Digital I/O 3
18	AD2/DIO2	Analog Input 2, Digital I/O 2
19	AD1/DIO1	Analog Input 1, Digital I/O 1
20	AD0/DIO0/COMMIS	Analog Input 0, Digital I/O 0, Commissioning Button

(Faludi, 2015)

Figura 18. Numeración física Xbee, parte frontal.



(Faludi, 2015)

Figura 19. Numeración física Xbee, parte trasera.



(Faludi, 2015)

4. **Protocolo RS232.** Existen diversas formas o modos de transmitir información. Cuando hablamos de modos de transmisión hacemos referencia al número de unidades de información, bits, que se pueden transferir simultáneamente, por medio de los canales de comunicación. Dos de los modos más importantes son la transmisión en paralelo y la transmisión en serie. (Bateman, 2003)

La transmisión en paralelo consiste en el envío simultáneo de N cantidad de bits. Estos bits se transfieren simultáneamente por medio de diferentes canales en N cantidades. Estos canales pueden ser cables. La conexión paralela en equipos del tipo PC generalmente requiere de 10 alambres.

Estos canales pueden ser: N líneas físicas en donde cada bit se envía en una línea física. O bien una línea física dividida en varios subcanales, resultante de la división del ancho de banda. En este caso cada bit se envía en una frecuencia diferente. (Bateman, 2003)

En una conexión en serie, los datos se transmiten un bit a la vez a través del canal de transmisión. Sin embargo, dado que muchos procesadores procesan la información en paralelo, el transmisor necesita transformar los datos paralelos entrantes en datos seriales y el receptor necesita realizar lo contrario. Estas operaciones se llevan a cabo por un controlador de comunicaciones (UART, universal asynchronous receiver transmitter) (Bateman, 2003)

La transformación de paralelo a serial se realiza utilizando un registro de desplazamiento. El registro de desplazamiento, que trabaja conjuntamente con un reloj, desplazará el registro que contiene todos los datos presentados en paralelo, hacia la izquierda y luego transmitirá el bit más significativo, el que se encuentra a la izquierda, y así sucesivamente.

La transformación de serial a paralelo se realiza casi de la misma forma utilizando un registro de desplazamiento. Dicho registro desplaza el registro hacia la izquierda cada vez que recibe un bit, y luego transmite el registro entero en paralelo cuando este completo. (Bateman, 2003)

Puerto serial: al igual que la transmisión en paralelo, la computadora cuenta con un puerto que utiliza para la transmisión en serie, este es el conector RS232. RS232 es un protocolo propio del puerto serial que resulta ser una interfaz que designa una norma para el intercambio de una serie de datos binarios entre un DTE (Data Terminal Equipment, Equipo Terminal de Datos) y un DCE (Data Communication Equipment, Equipo de Comunicación de Datos). Por medio de este protocolo se estandarizan las velocidades de transferencia de datos, la forma de control que utiliza

dicha transferencia, los niveles de voltaje empleados, el tipo de cable permitido, las distancias entre equipos, los conectores, etc.

A nivel de software la configuración principal que se debe dar a una conexión a través de puertos serial RS232 es básicamente la selección de velocidad en baudios, la verificación de datos o paridad (paridad par o paridad impar o sin paridad), los bits de parada luego de cada dato (1 o 2) y la cantidad de bits por dato (7 o 8) que se utiliza para cada símbolo o carácter enviado. Es importante mencionar que transmite datos de forma asíncrona. (Bateman, 2003)

Figura 20. Puerto serial RS232



(Bateman, 2003)

Cuadro 1. Conector RS232 (conector DB9 de 9 pines).

SIGNAL	PIN No.
Carrier Detect	1
Receive Data	2
Transmit Data	3
Data Terminal Ready	4
Signal Ground	5
Data Set Ready	6
Request To Send	7
Clear To Send	8
Ring Indicator	9

(Bateman, 2003)

Señales de la RS-232:

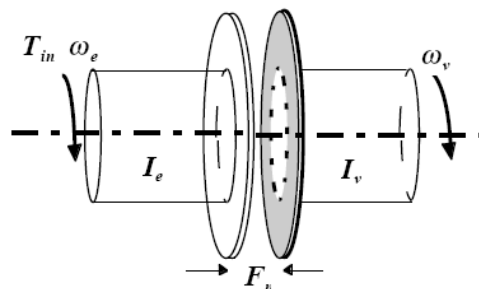
- Request to send (RTS): esta señal se envía de la computadora (DTE) al modem (DCE) para indicar que se quieren transmitir datos. Si el modem decide que está bien, asiente por la línea CTS. Cuando la señal CTS es afirmado por el modem la computadora empezara a transmitir datos.

- Clear to send (CTS): afirmado por el modem después de recibir la señal de RTS indica que la computadora puede transmitir.
- Data terminal ready (DTR): esta línea de señal es afirmada por la computadora, e informa al modem que la computadora esta lista para recibir datos.
- Data set ready (DSR): esta línea de señal es afirmada por el modem en respuesta a una señal DTR de la computadora. La computadora supervisa el estado de esta línea después de afirmar DTR para descubrir si el modem esta encendido.
- Receive signal line detect: esta línea de control es afirmada por el modem e informa a la computadora que se ha establecido una conexión física con otro modem. A veces se conoce como detector de portadora. Sería un error que una computadora transmita información a un modem si esta línea no está prendida, es decir si la conexión física no funciona.
- Transmit data: es la línea por donde el dato se transmite de un bit a la vez.
- Receive data: es la línea por donde el dato se recibe de un bit a la vez. (Bateman, 2003)

C. MÓDULO EMBRAGUE CENTRÍFUGO

1. Descripción del mecanismo de embrague. El embrague es un dispositivo para conectar o desconectar un componente impulsado con el impulsor del sistema. (Hijazi, 2015) Permitiendo así que el eje que recibe potencia tenga una velocidad angular distinta o de igual magnitud al eje que transmite movimiento, este funcionamiento se muestra en la siguiente figura.

Figura 21. Función del mecanismo de embrague.



(Crisol, 2013)

Cuando se habla de embragues es importante aclarar que el eje conectado al motor se denomina eje transmisor y el eje que se conecta al embrague es el eje transmitido.

Al analizar el desempeño de los embragues el interés radica en:

- La fuerza de accionamiento.
- El par de torsión que transmite.
- La pérdida de energía.
- La temperatura de funcionamiento.

Cada uno de estos factores conlleva cálculos complejos y que dependen de qué tipo de embrague se esté analizando.

2. Tipos de embragues. Cuando se habla de tipos de embragues lo más conveniente es empezar estableciendo como estos se dividen en dos grandes ramas, embragues positivos y embragues de fricción. (Gecdahod, 2009)

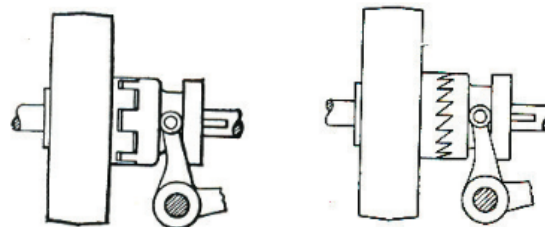
a. Embragues positivos. Este tipo de embragues es conocido por ser el más simple de todos. En éstos, las uniones del embrague cuentan con dientes que al conectarse producen una unión sólida que idealmente no presenta deslizamiento. (Gecdahod, 2009)

La característica más importante de este tipo de embrague es que no pueden realizar su acción embrague-desembrague mientras existe un movimiento rotacional o el eje se encuentra bajo el efecto de una carga. Existen varios tipos de dientes para estos embragues, los más utilizados son los dientes cuadrados y los de espiral. (Hijazi, 2015)

Las ventajas de estos embragues son:

- Diseño simple.
- No hay deslizamiento.
- No se produce calor.
- Bajo costo.

Figura 22: Embrague positivo; Izquierda: de dientes cuadrados, Derecha: de dientes en espiral.



(Gecdahod, 2009)

b. Embragues de fricción. Este tipo de embrague transmite el torque gracias a la fuerza de fricción que existe entre las caras de contacto. Se prefiere ante los positivos, ya que tienen un mayor número de variantes y cuentan con el factor de adaptabilidad según las circunstancias. (Porras & Soriano, 2010)

Las ventajas de estos embragues son:

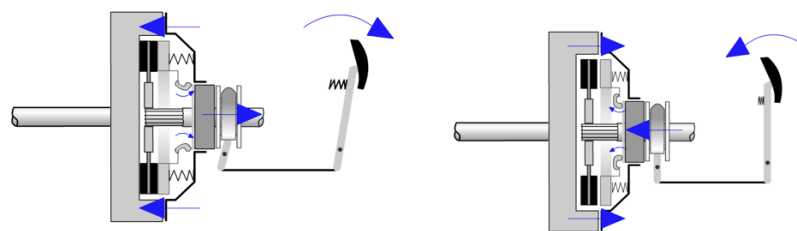
- i. Pueden ser utilizados a velocidades de activación altas.
- ii. Proporcionan una conexión de torque suave.
- iii. Se pueden embragar y desembragar en múltiples ocasiones.
- iv. En caso de una sobrecarga el embrague se desliza momentáneamente, cuidando así la integridad del eje impulsor y sus componentes.

(Camarena, 2000)

Con el paso del tiempo se han desarrollado un sinfín de embragues de fricción dotándolos de distintos nombres y características, pero fueron pocos los que lograron sobresalir y ser conocidos mundialmente. Los tipos de embragues de fricción más conocidos son:

1) De plato (único o multiplato). En el embrague de plato el movimiento se transmite por rozamiento entre un disco de fricción y el eje transmitido. La siguiente imagen muestra el funcionamiento de éste tipo de embrague. (Calvo & Miravete, 2000)

Figura 23: Embrague de plato único; Izquierda: transmitiendo potencia. Derecha: accionamiento de pedal y liberación de transmisión.



(Porras & Soriano, 2010)

Los embragues multiplato funcionan según el mismo principio pero, utiliza un "paquete" de discos, un disco con dentado externo engrana con el eje transmitido mediante el tambor; los otros, intercalados con los anteriores, y con dentado interno engranan con el eje transmisor por medio de el buje. (Crisol, 2013)

El uso del embrague multiplato está limitado a las motocicletas, ya que son embragues de torque máximo limitado y son pequeños en comparación con los de plato único.

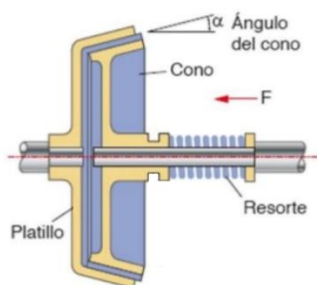
Cuadro 2. Ventajas y desventajas de los embragues de plato.

Ventajas	Desventajas
Capaces de transmitir altos pares de torsión.	Ocupa gran cantidad de espacio.
Al ser los más utilizados en la industria, existe una gran cantidad de información respecto a este tipo de embragues.	El mecanismo es complejo y de difícil manufactura.
Son mecanismos que están en constante desarrollo.	Son de accionamiento manual.

(Gecdahod, 2009)

2) De cono. Funciona bajo el mismo principio que los embragues de plato, pero con la característica que la superficie de fricción tiene forma cónica para tener así una mayor área de contacto entre la superficie de fricción y el tambor.

Figura 24: Embrague cónico, partes que lo componen.



(Crisol, 2013)

Cuadro 3. Ventajas y desventajas de los embragues cónicos.

Ventajas	Desventajas
Mayor superficie de fricción, aumentando la transmisión de par en un mismo espacio.	Tienen tendencia a quedarse enganchados.
Diseño simple.	Generan cierta resistencia al desenganche en movimiento.
Requieren una menor fuerza axial para ser activados.	

(Gecdahod, 2009)

3) Magnéticos o eléctricos. Este tipo de embrague posee partículas magnéticas que están almacenadas en el espacio libre entre dos rotores, uno conectado al eje transmisor y otro al eje transmitido. El embrague posee una bobina inductora que al recibir corriente produce una aglomeración de polvo magnético, que genera fricción entre los rotores. Cabe resaltar que la aglomeración tarda cierto tiempo en completarse haciendo así que el efecto de activación sea progresivo. Otro factor a tomar en cuenta es la corriente que pasa por la bobina, que al aumentar produce un aumento de la fricción y por tanto un mayor agarre en el embrague.

Figura 25: Embrague magnético.



(Ferrer & Domínguez, 2014)

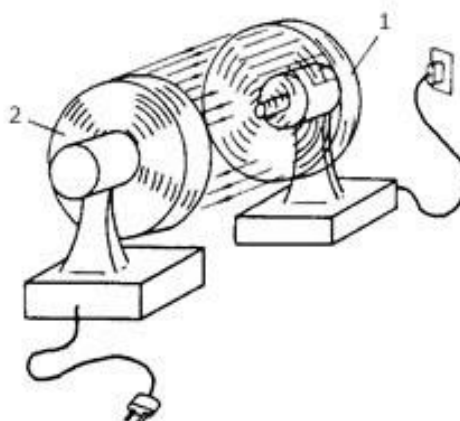
Cuadro 4. Ventajas y desventajas de los embragues magnéticos.

Ventajas	Desventajas
La acción de embrague y des-embrague es progresiva.	Costo elevado.
Su accionamiento es automatizado, dando así lugar a un sin fin de aplicaciones en la industria.	Requieren de una fuente de energía para accionarse.

(Gecdahod, 2009)

4) Hidráulicos. Este tipo de embrague no contiene discos que rocen ni piezas en fricción constante, sino que se sustituye todo esto por la acción de un fluido hidráulico. El funcionamiento es similar al ejemplo siguiente:

Figura 26: Ejemplo embrague hidráulico.



(Ferrer & Domínguez, 2014)

Teniendo dos ventiladores el nº 1 enchufado a la corriente eléctrica, el nº 2 desenchufado y enfrente del primero. Si se pone el ventilador nº 1 en marcha, el ventilador nº 2 comenzará a girar en cuanto la presión de aire sea suficiente (en sentido contrario). (Ferrer & Domínguez, 2014)

Basado en la explicación de la figura anterior cabe aclarar que en los embragues hidráulicos el medio de transmisión del movimiento es el aceite. Una bomba centrífuga recibe el giro del motor y envía el aceite a presión hacia una turbina en la que está acoplado el eje transmitido. La energía cinética de cada partícula choca contra las aletas de la turbina, que produce una fuerza que tiende a hacerla girar. El aceite resbala por las aletas de la turbina y es devuelto hacia la bomba centrífuga, donde esta lo envía hacia la periferia, volviéndose a repetir el ciclo. (Kamaluddin, 2015)

El desembrague y embrague de este tipo de embrague se da a causa de la velocidad de giro del motor, cuando el motor gira a poco régimen la velocidad con que salen las partículas de la bomba es muy pequeña, y por tanto la energía cinética transmitida a la turbina es muy débil para vencer todo el par resistente opuesto por el peso del vehículo. Conforme se va aumentando el régimen de giro del motor el aceite va tomando velocidad e incide con mayor energía cinética sobre la turbina, lo que produce que la bomba y la turbina giren sincronizadas. (Porras & Soriano, 2010)

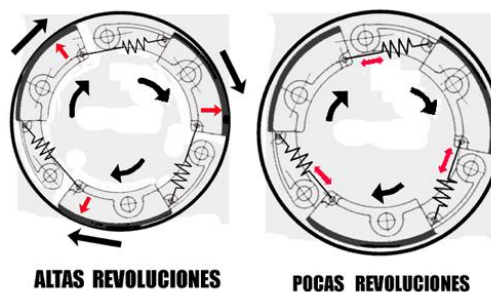
Cuadro 5. Ventajas y desventajas de los embragues hidráulicos.

Ventajas	Desventajas
La acción de embrague y des-embrague es progresiva.	Costo elevado.
Su accionamiento es automático, es decir, depende únicamente de las Rpm del motor.	Requieren un alto grado de mantenimiento.
Su funcionamiento evita que la fuerza en el eje transmitido sea excesiva.	Su funcionamiento se ve afectado a distintas altitudes.
	Invierten la dirección de giro del motor.

(Porras & Soriano, 2010)

5) Centrífugo. Son embragues activados por la fuerza centrífuga que genera la rotación del motor. Estos embragues poseen masas llamadas zapatas que al girar producen un movimiento radial que conlleva a la unión del eje transmisor y el transmitido por medio de superficies de fricción. (Crane, 1999)

Figura 27: Funcionamiento básico de un embrague centrífugo.



(Ferrer & Domínguez, 2014)

Cuadro 6. Ventajas y desventajas de los embragues centrífugos.

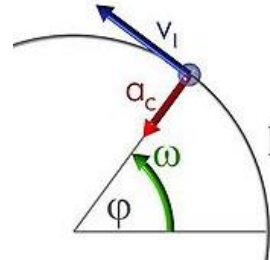
Ventajas	Desventajas
La acción de embrague y desembrague es progresiva.	No es capaz de transmitir altos pares de torsión.
Su accionamiento es automático, es decir, depende únicamente de las Rpm del motor.	Las zapatas se calientan en caso haya un constante accionamiento y desactivación.

(Gecdahod, 2009)

3. Consideraciones para el diseño de embragues centrífugos

a. Fuerza centrífuga. La fuerza centrífuga es conocida mundialmente, sin embargo, esta no existe físicamente. Es un término usado para proporcionar una manera intuitiva de referirse a la aceleración normal generada a causa de una velocidad de rotación constante. (Crane, 1999)

Figura 28: Diagrama de fuerzas y aceleraciones en una partícula en rotación.



(Crane, 1999)

Como se observa en la figura anterior, una partícula en movimiento rotacional con una velocidad angular (ω) es afectado por una aceleración (a_c), causada debido al constante cambio de dirección que esta recibe. Este vector siempre está orientado hacia el centro del movimiento circular y su magnitud se calcula por medio de

$$(1) \quad a_c = \omega^2 r$$

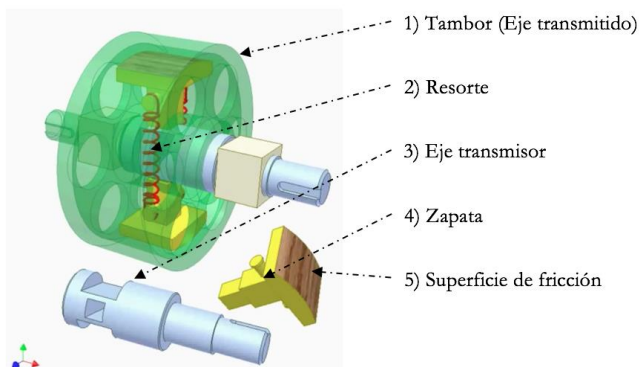
Esta aceleración es a la que común mente se le llama “aceleración centrípeta”. Ahora, aplicando la segunda ley de Newton, la fuerza centrípeta es

$$(2) \quad F_c = m\omega^2 r$$

La fuerza centrífuga es una fuerza ficticia que tiene la misma magnitud que la fuerza centrípeta pero en dirección opuesta, de tal manera que tiende a separar a la partícula de su centro de rotación.

b. Partes del embrague centrífugo. El embrague centrífugo se compone esencialmente de tres elementos: las superficies de fricción que entraran en contacto (zapatas), el medio de transmisión del par de torsión hacia las superficies (tambor) y el mecanismo de accionamiento y desactivación (resortes). (Khurmi & Gupta, 2005) Donde cada uno de estos es esencial para el buen funcionamiento del embrague. A continuación se presenta una imagen donde se muestran los componentes:

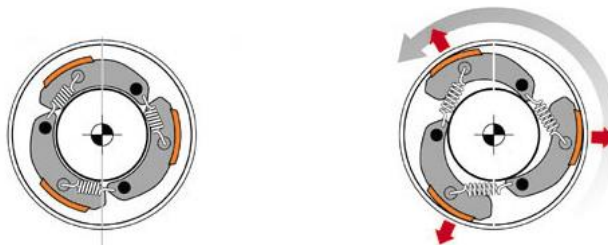
Figura 29: Partes de un embrague centrífugo.



(Hijazi, 2015)

c. Funcionamiento. El funcionamiento de este tipo de embragues consiste en acoplar al eje impulsor un mecanismo con dos o más zapatas, de tal manera que cuando el motor gira las zapatas son afectadas por la fuerza centrífuga. Cuando la fuerza centrífuga alcanza cierto valor está supera la fuerza de los resortes que sostienen a las zapatas en su posición original causando así un desplazamiento radial hacia fuera de las zapatas, las cuales entran en contacto con la parte interna del tambor y transmiten el movimiento de un eje al otro. La siguiente imagen explica de manera visual el funcionamiento. (Crane, 1999)

Figura 30: Funcionamiento del embrague centrífugo.



(Ferrer & Domínguez, 2014)

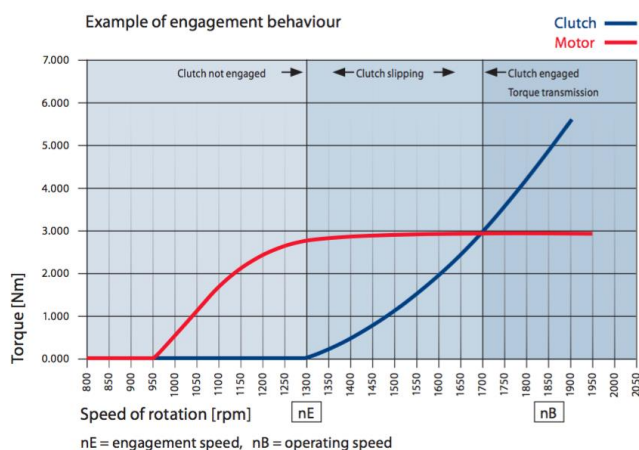
Existen distintos tipos de embragues centrífugos los cuales varían según su modo de activación y forma. Los tipos de embragues centrífugos más conocidos son:

- i. De zapatas conectadas, funcionan con las zapatas y resortes.
- ii. Tipo Bully, es un híbrido entre el embrague de disco y el embrague centrífugo.
- iii. Embrague Compliant⁴.
- iv. De fajas o correas.

(Khurmi & Gupta, 2005)

La siguiente imagen proporciona una idea de cómo se desarrolla el accionamiento de un embrague centrífugo en relación con el motor.

Figura 31: Ejemplo de activación de embrague centrífugo.

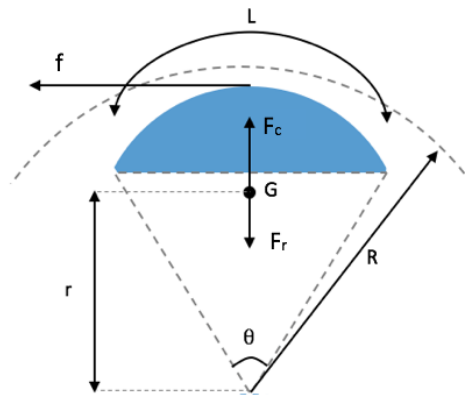


(Suco Tehnologies inc., 2015)

4. Cálculos de dimensionamiento de embragues centrífugos. A continuación se tabulan las fórmulas involucradas en los cálculos para definir las dimensiones del embrague. Primero, se iniciará con un pequeño diagrama de una zapata para tener una mejor representación de las variables que se utilizan. Luego, una breve definición de cada una de las ecuaciones y que representa cada variable.

⁴ Se le llama mecanismo “compliant” a los mecanismos que transmiten una fuerza de entrada por medio de una deformación elástica.

Figura 32: Diagrama, zapata



En el diagrama anterior, R representa el diámetro del tambor y la parte azul la zapata.

Torque transmitido

$$(3) \quad T = \frac{60 H}{2 \pi N}$$

(Khurmi & Gupta, 2005)

T, torque transmitido (N/mm)

H, Potencia transmitida (W)

N, velocidad de giro del embrague (rpm)

a. Fuerza centrífuga en cada zapata

$$(4) \quad F_c = m w^2 r$$

(Khurmi & Gupta, 2005)

F_c , fuerza centrífuga (N).

m, masa de cada zapata (kg)

w, velocidad angular (rad/seg)

r, distancia del centro de la zapata a el centro del mecanismo (mm)

b. Fuerza del resorte sobre la zapata. Debido a que los resortes mantienen el embrague en una posición hasta que llega a las rpm de accionamiento podemos deducir que la fuerza que los resortes realizan es la misma que las zapatas realizan al iniciar el accionamiento. Por lo tanto tenemos que:

$$(5) \quad F_r = m w_a r$$

(Khurmi & Gupta, 2005)

F_r , fuerza del resorte (N).

ω_a , velocidad angular a la que se realiza el accionamiento (rad/seg)

c. Fuerza radial total por zapata

$$(6) \quad F_t = F_c - F_r$$

(Khurmi & Gupta, 2005)

F_t , fuerza radial total (N).

d. Presión teórica que ejerce una zapata sobre el tambor

$$(7) \quad P_{tambor} = F_t A$$

(Khurmi & Gupta, 2005)

P_{tambor} , presión teórica que ejerce una zapata (Pa).

A, Área de contacto (m²).

e. Fuerza de fricción en cada zapata

$$(8) \quad f = \mu(F_t)$$

(Khurmi & Gupta, 2005)

f, fuerza de fricción en cada zapata (N).

μ , coeficiente de fricción entre la zapata y el tambor.

f. Torque debido a la fricción en cada zapata

$$(9) \quad T_f = f r$$

(Khurmi & Gupta, 2005)

T_f , Torque debido a la fricción (N m)

r, Radio interno del tambor (m).

g. Torque total transmitido por fricción

$$(10) \quad T_{total} = T_f * n$$

(Khurmi & Gupta, 2005)

n, numero de zapatas en el embrague.

h. Diseño del tambor. Para el diseño del tambor, conociendo la presión que ejerce la zapata sobre el tambor, lo que se requiere saber es el espesor ideal de la pared. El espesor se calcula de la siguiente manera, tomándolo como un tubo con presión interior.

Figura 33: Cálculo de grosor del tambor.

Espesor mínimo de la pared de un tubo:

$$t_m = \frac{PD}{2S + 2YP} + C$$

donde

$$t_m = \text{espesor mínimo, in}$$

$$P = \text{máxima presión interna, psig}$$

$$D = \text{diámetro exterior, in}$$

$$S = \text{esfuerzo permisible, psi}$$

$$C = 0.05 \text{ in, para aceros ferríticos,}$$

$$Y = 0.4 \text{ para } 900 \text{ }^\circ\text{F o menos}$$

(Budynas & Nisbett, 2008)

i. Tiempo de sincronización. El tiempo de sincronía es el tiempo que le toma al embrague igualar las velocidades angulares del eje impulsor y el eje impulsado. Viene dado por:

$$(11) \quad t = \frac{I_c I_t (w_c - w_t)}{T(I_c + I_t)}$$

(Budynas & Nisbett, 2008)

t, tiempo de sincronía (segs).

w_c , velocidad angular del mecanismo (rad/s).

w_t , velocidad angular del tambor (rad/s).

T, torque a w_c del motor.

I_c , momento de inercia del centrifugo (kg m²)

I_t , momento de inercia del tambor (kg m²).

j. Energía disipada hasta las R.P.M óptimas. Al tratarse de un embrague que se empleará en un vehículo cuyo objetivo es ser lo más eficiente posible es importante saber cuánta energía se pierde en el transcurso de tiempo en que el embrague llega al punto de accionamiento óptimo. La energía disipada se encuentra mediante:

$$(12) \quad E = \frac{I_c I_t (w_c - w_t)^2}{2(I_c + I_t)}$$

E, energía disipada (Joules).

w_c , velocidad angular del mecanismo (rad/s).

w_t , velocidad angular del tambor (rad/s).

I_c , momento de inercia del centrifugo (kg m^2)

I_t , momento de inercia del tambor (kg m^2).

k. Aumento de temperatura en un accionamiento. En los embragues centrífugos, el accionamiento produce una absorción de energía progresiva el cual genera un cambio en la temperatura. Este cambio de temperatura en la mayoría de los casos es controlado, pero en el caso de accionamientos repetitivos la temperatura se eleva a tal punto que el embrague pierde eficiencia en la transmisión de energía. (Camarena, 2000)

Para evitar que el embrague llegue a temperaturas críticas, habrá que dimensionar el embrague correctamente. La temperatura que el embrague alcance depende de muchos factores, a continuación se describen algunos:

- i. Tamaño de las caras de las zapatas.
- ii. Número de zapatas.
- iii. La masa de las zapatas.
- iv. Número de actuaciones en un periodo de tiempo.
- v. Características del material de los forros.
- vi. Medio que lo rodea.
- vii. Rpm de trabajo.

(Camarena, 2000)

Como es de esperar, las variables involucradas son muchas. Por lo tanto, lo que se hace es estudiar la evolución de la temperatura en función de los distintos parámetros para así descartar los menos relevantes. Para esto se supondrán constantes las características propias del material.

El cálculo del aumento de temperatura durante el tiempo de sincronía del embrague viene dado por:

$$(13) \quad \Delta T = \frac{E}{c_p m}$$

(Camarena, 2000)

ΔT , cambio de temperatura ($^{\circ}\text{C}$).

E, Energía disipada (J)

M, masa del mecanismo de embrague (kg)

C_p , se usa 500 J/kg*°C ya que el tambor es de acero.

I. Aumento de temperatura en accionamientos múltiples

$$(14) \quad T_{max} = T_a + \frac{\Delta T}{1 - e^{-\beta * t}}$$

(Budynas & Nisbett, 2008)

T_{max} , temperatura máxima del embrague luego de N accionamientos °F.

T_a , temperatura ambiente °F.

ΔT , aumento de temperatura en un accionamiento °F.

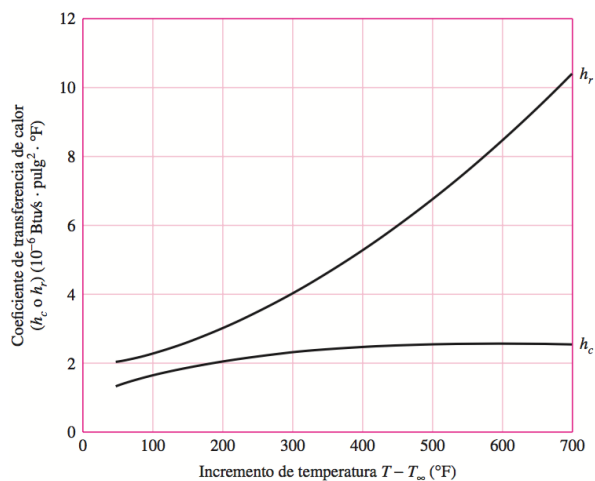
t, tiempo entre accionamientos del embrague (segundos).

$$(15) \quad \beta = \frac{(h_r - f_v h_c) A}{m C_p}$$

(Budynas & Nisbett, 2008)

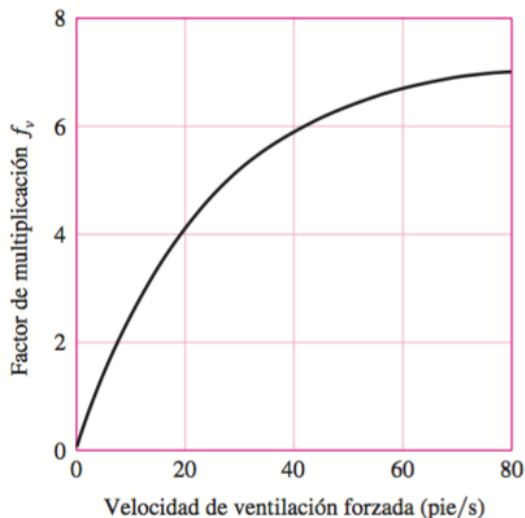
En la fórmula anterior h_r , h_c y f_v se calculan con las siguientes gráficas.

Figura 34. Gráfica para calcular h_c y h_r .



(Budynas & Nisbett, 2008)

Figura 35. Gráfica para calcular f_v .



(Budynas & Nisbett, 2008)

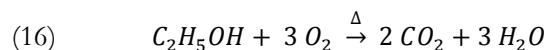
D. MÓDULO CONVERTIDOR CATALÍTICO

1. **Combustión.** La reacción de combustión se define como la interacción de entre un elemento o compuesto y el oxígeno, para la obtención de productos de combustión. Para compuestos orgánicos, formados únicamente con carbono, hidrógeno y oxígeno, los productos formados en una combustión ideal son dióxido de carbono y agua, ya sea en estado líquido o de vapor. (Smith, Van Ness, & Abbott, 2007)

En términos de la combustión, se suele tener diferentes adjetivos para describirla. Una combustión parcial, se refiere a la combustión donde sólo parte del combustible ha reaccionado. Una combustión incompleta hace referencia al mismo hecho, pero se diferencia de la combustión parcial debido a que esta puede ser intencionalmente provocada, mientras que una combustión incompleta es indeseable. Esto hace énfasis, al hecho que una combustión incompleta tenía como objetivo ser completa. La combustión completa, se refiere a que todo el combustible fue quemado utilizando la cantidad necesaria de aire. Este último término se conoce también como combustión estequiométrica. (Heselton, 2005)

Todo combustible posee una cantidad estequiométrica de aire con la cual se tendrá una combustión completa, para un kilogramo de este combustible. Esta relación se conoce como relación aire-combustible. En el caso del etanol esta relación tienen un valor de 8.94 kg de aire por 1 kg de etanol. (Heselton, 2005)

La reacción ideal de la combustión completa para el etanol corresponde a la siguiente ecuación química:



Donde:

C_2H_5OH : etanol o combustible

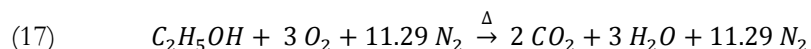
O_2 : oxígeno molecular

CO_2 : dióxido de carbono

H_2O : vapor de agua

En la combustión, se asume que todo el combustible reacciona y que sólo el oxígeno del aire es utilizado, tomando el resto de componentes como sustancias inertes, que no participan en este proceso. Sin embargo, esto no es cierto y ocurre únicamente en una combustión ideal. Por esta razón, de una combustión incompleta se obtienen las emisiones tóxicas causantes de problemas al medio ambiente y al ser humano. (Sher, 1998) (Heselton, 2005)

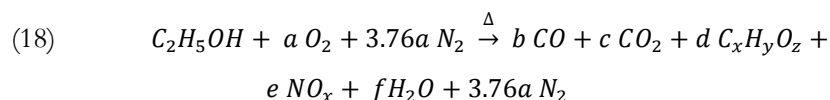
La reacción ideal real de la combustión completa para el etanol corresponde a la siguiente ecuación química, donde se muestra la participación del nitrógeno únicamente como compuesto inerte.



Donde:

N_2 : nitrógeno molecular

Sin embargo, debido a la falta de idealidad del sistema, la reacción de combustión se vuelve incompleta y presenta la formación de compuestos secundarios como monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, y otros posibles compuestos como aldehídos y/o remanentes de etanol. Esto se muestra en la siguiente ecuación de la reacción incompleta de etanol:



Donde:

CO : monóxido de carbono

$C_xH_yO_z$: otros compuestos como aldehídos y remanentes de etanol.

NO_x : óxidos de nitrógeno

a, b, c, d, e, f: coeficientes estequiométricos de reacción.

Otra desventaja de la presencia de compuestos inertes durante la combustión, es que absorben parte del calor generado en la reacción, lo que es indeseable y reduce la eficiencia de la misma. (Heselton, 2005)

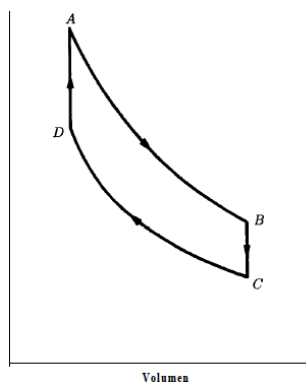
Entre las emisiones generadas por combustibles fósiles, además de los hidrocarburos sin quemar, se encuentran principalmente el monóxido de carbono y los óxidos de nitrógeno. El primero de estos es formado durante una combustión con mezcla aire-combustible rica, que se refiere a una menor proporción de oxígeno respecto al combustible. Esto evita que la reacción sea completa y que la mayoría de monóxido se transforme en dióxido de carbono. (Sher, 1998)

La formación de los compuestos de óxido de nitrógeno (NO_x), se debe a la presencia de nitrógeno (N_2) como componente principal de la mezcla de aire durante la combustión. Esto debido a que, a altas temperaturas, se favorece su reacción con los demás compuestos presentes por la colisión entre moléculas y una mayor facilidad para romper el enlace de éste compuesto. (Sher, 1998) (Heselton, 2005)

2. Motores de combustión interna. Estos dispositivos mecánicos funcionan a partir de la obtención de la energía química contenida en los combustibles, mediante su combustión con el oxígeno del aire. El funcionamiento del motor aprovecha esta energía liberada para generar el movimiento mecánico de sus componentes. Este tipo de motores utilizan dos tipos de ciclos de trabajo termodinámicos, para la realización del trabajo mecánico y según el tipo de combustible. Estos son: el ciclo de Otto y el ciclo de Diesel. Los elementos principales de un motor de combustión interna incluyen: la cámara de combustión, el cilindro, el pistón, la biela, el cigüeñal, y el árbol de levas. (Chew, 2011)

a. Ciclo de Otto. Este ciclo se compone de cuatro fases para un pistón o émbolo reciprocante, y la combustión ocurre por ignición por medio de una chispa. Al combustionar el combustible libera energía, la cual es transferida a los gases de combustión para generar trabajo mecánico en el pistón. (Chew, 2011)

Figura 36. Ciclo termodinámico de Otto ideal.

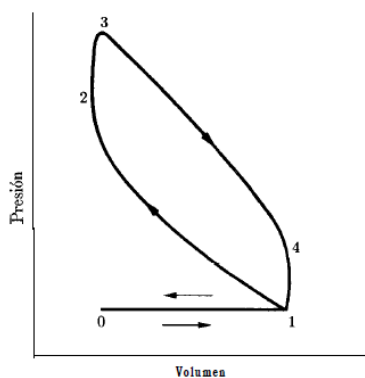


(Smith, Van Ness, & Abbott, 2007)

El ciclo ideal de motor de Otto también llamado ciclo de aire estándar, comprende de dos etapas adiabáticas (AB y CD) y dos etapas isocóricas o a volumen constante (BC y DA). En la etapa DA existe una absorción de calor por el aire a volumen constante para elevar su temperatura y presión, lo que supone la etapa de combustión para el motor real. Entonces, el aire sufre una expansión adiabática y reversible. Posteriormente, cede energía en forma de trabajo y se enfría a volumen constante. Finalmente, el aire es comprimido adiabática y reversiblemente hasta el estado inicial. (Smith, Van Ness, & Abbott, 2007)

El ciclo de Otto se traduce en un ciclo mecánico correspondiente a las siguientes etapas:

Figura 37. Ciclo de motor de Otto de combustión interna.



(Smith, Van Ness, & Abbott, 2007)

1) Admisión. Esta etapa se encarga de abrir la válvula de admisión y bajar el pistón desde el punto muerto superior hasta el punto muerto inferior, para permitir el ingreso de la mezcla gaseosa de aire y combustible. (Chew, 2011)

2) **Compresión.** En la compresión, la válvula de admisión cierra y el pistón sube desde el punto muerto inferior hasta el superior, comprimiendo la mezcla de aire y combustible. (Chew, 2011)

3) **Expansión, combustión o trabajo.** En esta etapa ocurre la ignición por medio de una chispa de la mezcla comprimida. El calor liberado otorga la energía para la expansión de los gases. Esta expansión ejerce presión sobre el pistón haciendo que vuelva a bajar hasta el punto muerto inferior. Este trabajo será comunicado por la biela hacia el cigüeñal. Esta será la única carrera del ciclo de Otto que produzca energía. (Chew, 2011) (Guevara, 2010)

4) **Escape.** Luego de realizar la carrera de trabajo, el pistón vuelve a subir al punto muerto superior, para expulsar los gases de combustión mediante la válvula de escape. A partir de esta etapa reinicia el ciclo. (Chew, 2011)

3. Contaminantes gaseosos. Los compuestos gaseosos que provocan los problemas de contaminación y efectos nocivos para la salud del ser humano pueden clasificarse en dos grupos: global y local. Las emisiones globales afectan en general a la atmósfera y a escala global. Aunque en algunos casos, su efecto puede hacerse notar aún más en las áreas de mayor población. Mientras tanto las emisiones locales son aquellas que incluyen el monóxido de carbono, hidrocarburos sin quemar, óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos y partículas. (Sher, 1998)

La contaminación a pesar de estar siendo reducida significativamente mejorando la tecnología del proceso de combustión y añadiendo sistemas auxiliares de limpieza, no resuelve otro de los problemas más importantes que es el consumo de combustibles fósiles. Esto tendrá como consecuencia la búsqueda de combustibles alternativos para sustituirlos, lo que a su vez tendrá consecuencias positivas en la reducción de las emisiones tóxicas. (Sher, 1998) Las emisiones típicas para sistemas de combustión en motores recíprocos se muestran a continuación en la siguiente tabla:

Cuadro7. Emisiones de motores reciprocantes.

Contaminante	Motores por ignición (kg/1000 L combustible quemado)	Motores por compresión (kg/1000 L combustible quemado)
Aldehídos	0.5	1.2
Monóxido de carbono	276	7.2
Hidrocarburos	24	16
Óxidos de nitrógeno	14	27
Partículas	1.4	13
Ácidos orgánicos	0.5	3.7
Óxidos de azufre	1.1	5

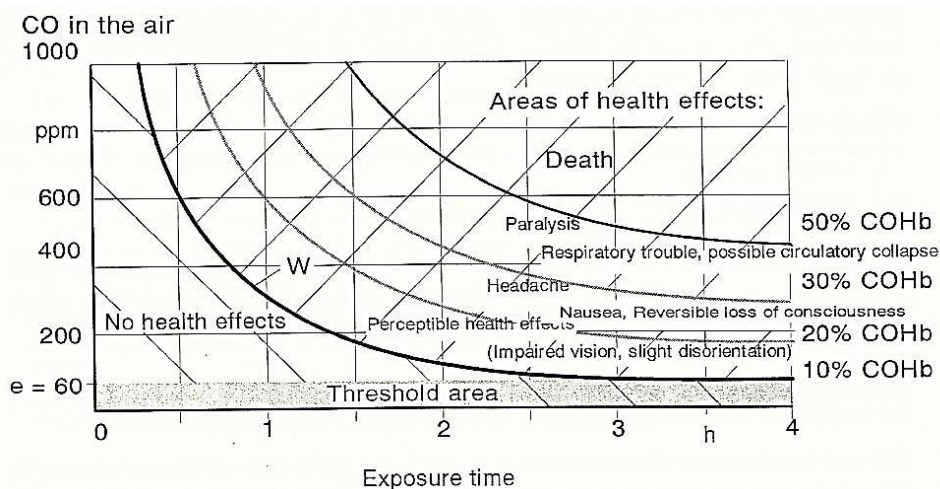
(Sher, 1998)

a. Monóxido de carbono (CO). Se considera el contaminante gaseoso más nocivo para la salud humana. Es un gas inodoro y más liviano que el aire. Se produce principalmente en plantas industriales y debido a la combustión incompleta de motores de combustibles fósiles. A altas presiones y temperaturas, las emisiones de monóxido pueden ser significativas a pesar de haber suficiente oxígeno presente. Esto se debe a la disociación de la molécula de dióxido de carbono en monóxido y oxígeno en estas condiciones. Su presencia se controlada en gran parte a la relación aire-combustible durante la combustión. (Sher, 1998)

Su presencia en la sangre es dañina, debido a que se une a las moléculas de hemoglobina (Hb) para formar carboxihemoglobina (COHb), esto ocurre ya que tiene mayor afinidad respecto al oxígeno. Como resultado, se reduce la capacidad de los glóbulos rojos de transportar oxígeno, reduciendo la formación de oxihemoglobina (O₂Hb). Esto puede llegar a provocar una intoxicación del organismo e incluso la muerte. (Sher, 1998) (Klingenberg, 1996)

La siguiente figura muestra los efectos en la salud del ser humano, según las curvas de concentración de monóxido de carbono, respecto al tiempo de exposición. En esta figura se observa que el umbral o concentración inicial (e) está a 60 ppm. Los efectos comienzan por encima de la curva (W). Además, los valores de saturación se alcanzan aproximadamente a las 3 o 4 h de exposición, sin importar la concentración. A altas concentraciones puede causar la muerte de 1.5 a 4 h de exposición, según el grado de saturación en el ambiente. (Klingenberg, 1996)

Figura 38. Efectos del monóxido de carbono al ser humano.



(Klingenberg, 1996)

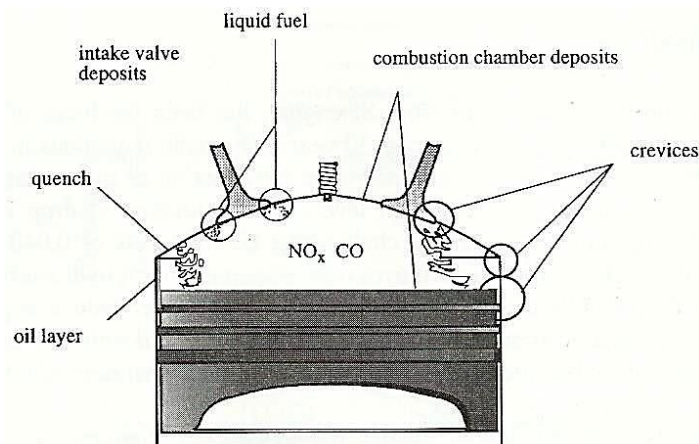
b. Dióxido de carbono (CO_2). Este gas es inodoro y más pesado que el aire. Se obtiene como producto de la combustión de compuestos orgánicos y también de algunos ciclos metabólicos. El exceso de este producto en la sangre también es dañino y puede provocar intoxicación. En casos extremos puede provocar la asfixia. Además, este compuesto es uno de los principales compuestos responsables del efecto invernadero. (Sher, 1998)

c. Óxidos de nitrógeno (NO_x). Estos compuestos son producto de varios procesos industriales y generalmente se encuentran como mezclas gaseosas. Tanto el NO como NO_2 , se forman a altas temperaturas durante la combustión. En motores de ignición por inyección la concentración de NO_2 suele ser despreciable. Generalmente, el monóxido de nitrógeno constituye el 95% de los NO_x , siendo el resto NO_2 y N_2O . Sin embargo, en ciertas condiciones el N_2O puede alcanzar hasta el 10% del total de NO_x . Su formación se controla principalmente por medio de la temperatura, no obstante, es importante la relación aire-oxígeno. (Sher, 1998)

El dióxido de nitrógeno (NO_2) es un gas café-rojizo de olor irritante y es un precursor para la formación de ozono (O_3). Sin embargo, se sabe que estos compuestos pueden causar efectos leves como irritación de ojos, garganta y pulmonar. A altas concentraciones provocan serias consecuencias en los pulmones y pueden ocasionar la muerte. Además, son compuestos que provocan smog y lluvia ácida al interactuar con otras moléculas. Otros compuestos de este grupo, como el óxido nitroso (N_2O), se les consideran también como causantes del efecto invernadero. (Sher, 1998)

d. Hidrocarburos (HC). Estos compuestos pueden formarse debido a varias razones durante la combustión, entre estas: mala ignición de la llama debido a paredes frías en la cámara de combustión, la acumulación del combustible entre superficies y piezas móviles, la absorción en los lubricantes, una mala dispersión del combustible y principalmente al arrancar el motor en frío. Además, su presencia es contaminante y provoca la lluvia ácida. (Sher, 1998) Estas causas se muestran en la siguiente figura.

Figura 39. Causas de la formación de compuestos tóxicos en la combustión interna.



(Sher, 1998)

e. Otros. Compuestos azufrados (SO_x), metano (CH_4), los clorofluorocarburos (CFC), entre otros también son compuestos dañinos provocando afecciones a la salud tanto a corto como a largo plazo, también afectan el medio ambiente contribuyendo al efecto invernadero y/o a la lluvia ácida y destruyendo la capa de ozono. (Sher, 1998)

4. Convertidor catalítico. El convertidor catalítico es el componente del sistema de escape de un vehículo, encargado de limpiar los contaminantes producidos de la combustión. Entre estos se pueden identificar los hidrocarburos (HC's), monóxido de carbono (CO) y óxidos de nitrógeno (NO_x). (AA1Car, 2015)

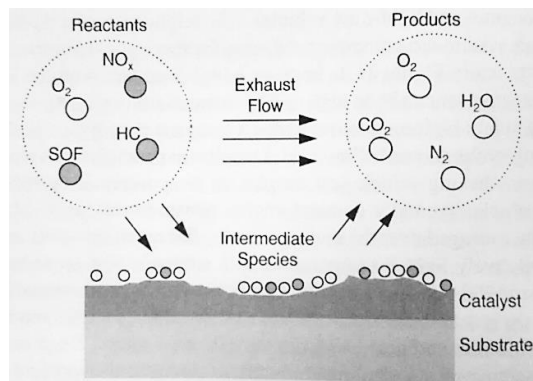
Este dispositivo consiste de una caja metálica colocada al centro de la tubería de escape y contiene en su interior un sustrato metálico o de cerámica, en cuyas paredes se encuentra impregnada una capa de catalizadores metálicos. El sustrato suele estar protegido de la vibración por un recubrimiento de asbesto, que a su vez sirve de aislante térmico, para cumplir con los requerimientos de temperatura de las reacciones. (AECC, 2015)

a. **Funcionamiento.** El funcionamiento del convertidor catalítico complementa la combustión del motor. Es decir, una combustión ideal, obtiene como productos vapor de agua (H_2O), dióxido de carbono (CO_2) y energía. El convertidor catalítico se utiliza debido a que la combustión no es ideal. Convierte los productos gaseosos de la combustión, hidrocarburos remanentes (HC's), monóxido de carbono (CO) y óxidos de nitrógeno (NOx), hasta su forma menos dañina, por medio de las reacciones de oxidación y reducción, correspondientes a cada producto gaseoso. (BASF, 2015)

Para lograr estas conversiones, posee una estructura interna compuesta por un sustrato o monolito, el cual puede variar de formas y tamaños y generalmente se construye de materiales metálicos o cerámica. En esta estructura, se coloca un recubrimiento que contiene en su composición metales preciosos o nobles como catalizadores de las reacciones. Entre éstos, los más importantes son: el platino (Pt), el paladio (Pd) y el rodio (Rh). También es posible la utilización de otros tipos de metales y otros materiales. Estos metales actúan como facilitadores de la reacción, al disminuir la energía de activación de la reacción (oxidación o reducción), para favorecer la formación de los productos deseados. (BASF, 2015)

Además de la composición del sustrato, la geometría es importante en el diseño y funcionamiento. El desempeño puede verse afectado por características físicas como: el volumen, el número de celdas, el área superficial activa, el área transversal al flujo de gases y la forma en la entrada del catalizador, entre otros. Tanto el volumen como la densidad de celdas en el sustrato, modifican el tiempo de residencia de los gases en el convertidor y la velocidad de estos. Esto tendrá influencia en la eficiencia de su conversión. El área transversal y la forma de la entrada son aspectos importantes, debido a que afectan la contrapresión al motor, que a su vez, puede aumentar el consumo de combustible. (Sher, 1998)

Figura 40. Funcionamiento del recubrimiento de catalizador.



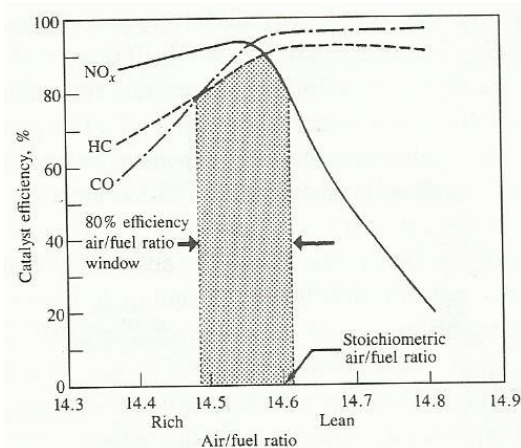
(Sher, 1998)

Otros aspectos importantes para el funcionamiento del convertidor catalítico son: la temperatura del sustrato y la composición de oxígeno presente en los gases de combustión. Esto se debe, a que los compuestos requieren cierta energía para modificar su composición química, que a su vez es facilitada por la acción de los catalizadores. Un convertidor por lo general, debe mantenerse entre los 300 a 700 °C para lograr la conversión. Este requerimiento de temperatura, es uno de los principales problemas de su funcionamiento. Ya que durante el arranque y calentamiento del motor, no se tendrá la temperatura adecuada y no habrá conversión de los gases. Por ello, se requiere acortar dicho tiempo. (Corvalán, y otros, 1999)

Además, la relación de combustible-oxígeno debe ser controlada para equilibrar la conversión de las emisiones de monóxido de carbono y los compuestos nitrogenados. Esto se debe a que en los sistemas actuales, donde la oxidación y reducción de los gases de combustión ocurren simultáneamente, se puede favorecer una sobre otra controlando la concentración de oxígeno. A este tipo de control se le denomina proporción lambda, el cual se encarga de mantener la relación de combustible-oxígeno correcta. Una operación adecuada puede alcanzar conversiones de hasta 90% para HC y NO_x, y 95% para CO. (Corvalán, y otros, 1999) (Sher, 1998)

Este control se muestra en la siguiente figura. Se observa que para la relación estequiométrica de aire-combustible, se obtiene aproximadamente el máximo de conversión de los principales gases tóxicos. Por lo tanto, es deseable mantener esta relación cercana a su valor estequiométrico. Generalmente, se maneja una ventana de conversión (área sombreada) entre los valores límites de la relación aire-combustible, que obtenga un mínimo de 80% de conversión. Este es el principal criterio para la conversión en un convertidor catalítico de tres vías. (Sher, 1998)

Figura 41. Eficiencia de conversión para NO_x, HC y CO.

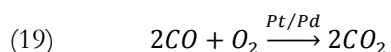


(Sher, 1998)

b. Reacciones químicas

1) Reacciones de oxidación. Se denominan reacciones de oxidación, cuando un átomo, ion o molécula adquiere una carga más positiva, es decir, pierde electrones durante esta reacción. Durante dicha reacción existe una contraparte que se reduce. (Brown, LeMay, Bursten, & Murphy, 2009)

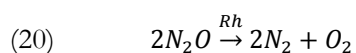
La oxidación del monóxido de carbono es un ejemplo de este tipo de reacción:



En esta ecuación el número de oxidación de átomo de carbono cambia de +2 a +4, por lo tanto, pierde 2 electrones. Otra perspectiva de la reacción de oxidación, debido a su nombre, es la adición de átomos de oxígeno.

2) Reacciones de reducción. Se denominan reacciones de reducción cuando un átomo, ión o molécula adquiere una carga más negativa, es decir, gana electrones durante esta reacción. Esta reacción ocurre al mismo tiempo que la oxidación. (Brown, LeMay, Bursten, & Murphy, 2009)

La reducción del óxido nitroso es un ejemplo de este tipo de reacción:



En esta ecuación el número de oxidación del átomo de nitrógeno cambia de +1 a 0, por lo tanto, gana 1 electrón. Como la contraparte de la oxidación, la reducción también puede considerarse como una pérdida de átomos de oxígeno.

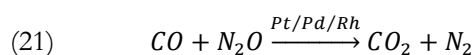
3) Reacciones catalíticas. Pueden ser de dos tipos: homogéneas o heterogéneas. Ambas se relacionan respecto a la fase en la que se encuentra el catalizador y el componente(s) que reacciona. En el primer caso, la reacción homogénea se caracteriza por tener el catalizador y el componente(s) en la misma fase, mientras que en la reacción heterogénea ambos se encuentran en distintas fases. (Clark, 2013)

En el caso del convertidor catalítico, puede ser clasificado como una reacción catalítica heterogénea. Puesto que, el catalizador metálico está en una fase sólida, mientras que los componentes a reaccionar están en fase gaseosa. (Clark, 2013)

El mecanismo de la reacción heterogénea se da por etapas. Primero, los reactivos son adsorbidos en la superficie del catalizador, en los llamados sitios activos. Así, los reactivos entran en contacto con la superficie del catalizador, donde ocurre una interacción tanto química (formación de enlaces), como física debido a la unión. Luego, ocurre la reacción entre los reactivos mientras están en el sitio activo del catalizador. Finalmente, el producto formado es desorbido de la superficie del catalizador y se libera el sitio activo. (Clark, 2013)

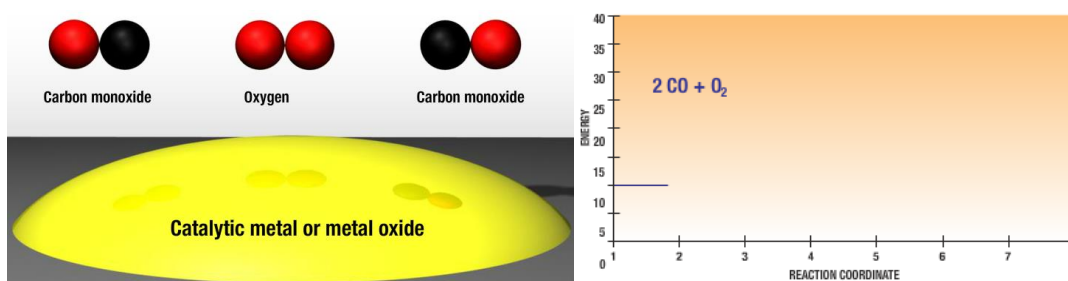
Algunos metales no siempre son buenos catalizadores debido a la fuerza de unión con los reactivos, así metales como platino y níquel permiten la adsorción necesaria para mantener los reactivos en el sitio activo mientras se lleva a cabo la reacción, pero su unión no es lo suficientemente fuerte para evitar que los productos no sean desorbidos. (Clark, 2013)

La reacción catalítica de interés se muestra en el siguiente balance atómico:



El mecanismo de la reacción se puede observar junto con el comportamiento de la energía de activación en los siguientes pasos:

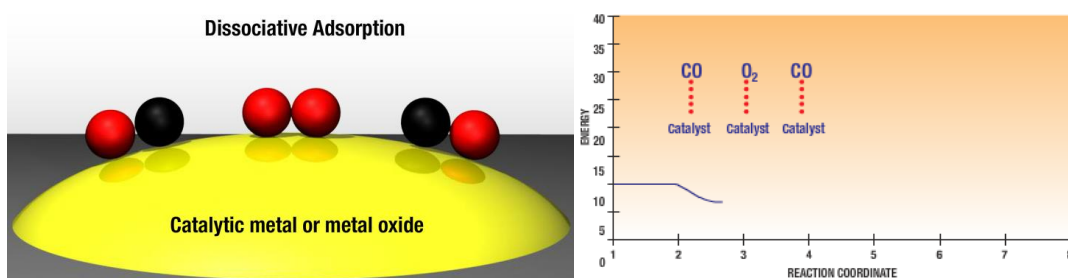
Figura 42. Reacción catalítica heterogénea.



(BASF, 2015)

Previo a la reacción los reactivos se aproximan al sitio activo del catalizador.

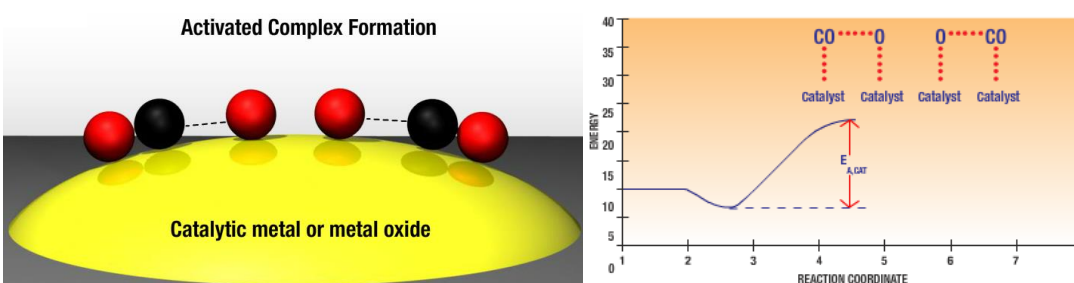
Figura 43. Adsorción disociativa en la reacción catalítica.



(BASF, 2015)

Ocurre la adsorción disociativa, es decir, ambos reactivos se adsorben individualmente al catalizador. La energía disminuye conforme se adsorben.

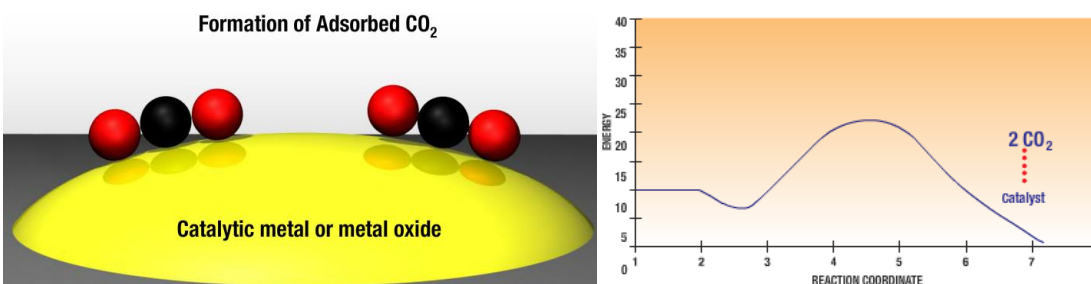
Figura 44. Formación del complejo activado.



(BASF, 2015)

Conforme se aproximan los reactivos, ocurre la reacción. Así, la molécula de oxígeno se separa y cada átomo de oxígeno se une a una molécula de monóxido de carbono. Entonces, se da la formación del complejo activado, favorecido por el catalizador. Además, se observa que para que ocurra esta reacción, es necesaria cierta cantidad de energía, que se denomina energía de activación con catalizador ($E_{a,cat}$).

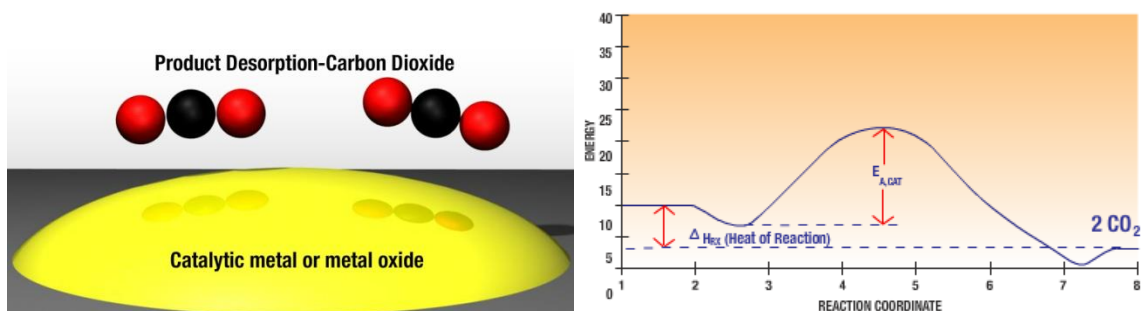
Figura 45. Formación del producto de la reacción catalítica.



(BASF, 2015)

El dióxido de carbono es formado como producto final y se puede observar que la energía del producto es menor a la de los reactivos que se muestra en la Figura 42. Esto se debe a que la estabilidad del producto es mayor.

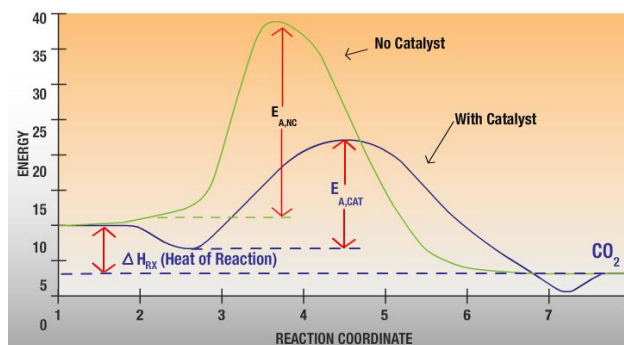
Figura 46. Desorción del producto final.



(BASF, 2015)

El producto formado es liberado del sitio activo del catalizador y se libera cierta energía de reacción, la cual es cedida tanto al producto como al catalizador, elevando su temperatura.

Figura 47. Comparación de una reacción con y sin catalizador.



(BASF, 2015)

En la anterior figura, se puede observar que al no intervenir un catalizador, la energía necesaria para que ocurra la reacción es mayor. Puesto que la reacción se ve limitada por la tasa de disociación del oxígeno para reaccionar con la molécula de monóxido de carbono. Mientras que, el catalizador incrementa dicha tasa al favorecer dicha disociación y formación del producto mediante el complejo activado. (BASF, 2015)

c. Materiales de construcción

1) Catalizadores metálicos. Los catalizadores son materiales u organismos inertes a la reacción, es decir, no se consumen ni producen durante la reacción, que aceleran la tasa de reacción entre los reactivos, maximizando la cantidad de productos. (BASF, 2015)

Una de sus mejores ventajas es su selectividad. Debido a que pueden favorecer un reactivo sobre otro para obtener los productos deseados. Otras ventajas son la disminución de la temperatura necesaria para que ocurra la reacción, la disminución de las condiciones de operación al favorecerse la reacción, e incremento de la eficiencia de formación del producto. (BASF, 2015)

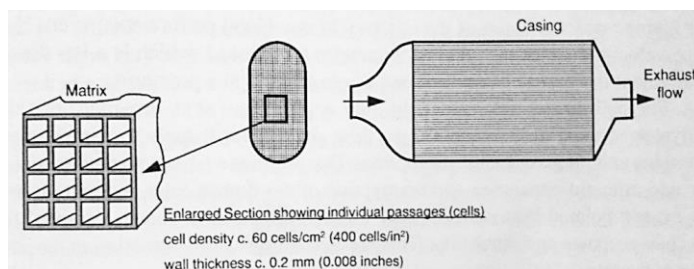
Los catalizadores en los convertidores catalíticos son básicamente metales preciosos o nobles, puesto que permiten la máxima conversión y mejoran los requerimientos de calor para las reacciones, además de soportar temperaturas elevadas. Estos metales son impregnados sobre la superficie del sustrato junto con otros compuestos como alúmina, lo que les confiere una mayor área de reacción. (AECC, 2015)

Los convertidores utilizan platino (Pt) y paladio (Pd) para la oxidación de los gases de combustión y rodio (Rh) para la reducción de los compuestos. (Corvalán, y otros, 1999)

2) Sustrato o monolito. La estructura más común del sustrato consiste en una estructura rígida con forma geométrica definida. Su forma puede variar según la sección transversal, que puede ser cuadrada, ovalada o redonda. Esta estructura posee una serie de cavidades paralelas, por donde fluyen los gases de combustión. Estas cavidades conforman la superficie activa del catalizador. Puede construirse a partir de cerámica o metal. Su función es proporcionar la mayor superficie de contacto para mejorar la eficiencia de conversión de los gases de combustión. (AECC, 2015) (Corvalán, y otros, 1999)

En la actualidad, debido a su espesor ultra delgado y gran resistencia mecánica, ha permitido alcanzar áreas de contacto mucho mayores. Ya que el número de celdas o canales, por donde fluye el gas, ha aumentado considerablemente hasta alcanzar las 186 celdas por centímetro cuadrado, con un espesor de casi 0.05 milímetros. Lo que a su vez ha mejorado la eficiencia de los catalizadores. (AECC, 2015)

Figura 48. Diseño típico del sustrato de un convertidor catalítico.



(Sher, 1998)

a) Sustratos de cerámica. El material más utilizado es la cordierita, que está compuesta por magnesio (Mg), oxígeno (O), aluminio (Al) y silicio (Si). Estas estructuras cerámicas son fundidas a 1400 °C y obtenidas por extrusión, lo que tiene la ventaja de poder lograr formas y tamaños de gran variedad. Que además es muy útil para las distintas aplicaciones.

A pesar de tener características deseables como alta rigidez térmica y mecánica, aún puede considerarse frágil, debido al espesor de pared que se maneja actualmente. Además, la conductividad térmica de estos materiales suele ser baja, lo que provoca una mala homogeneidad térmica en todo el sustrato. (AECC, 2015) (Estrucplan, 2004) (Corvalán, y otros, 1999)

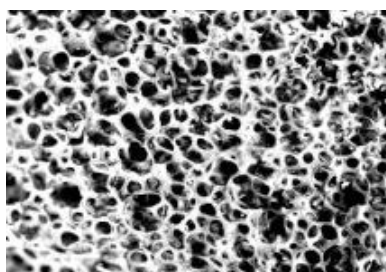
Figura 49. Sustratos de cerámica.



(AECC, 2015)

Existen también espumas cerámicas, que a diferencia de la estructura bien definida de las anteriormente mencionadas, poseen una forma amorfa con gran porosidad que conforman un complejo de canales. Estos permiten una buena turbulencia del flujo, lo que permite un mejor contacto con la superficie del catalizador, sin embargo, debido a su forma compleja también presenta una mayor caída de presión. (Estrucplan, 2004)

Figura 50. Sustratos de espuma cerámica.



(Estrucplan, 2004)

Otra de las presentaciones en cerámica son los lechos de esferas, con diámetros de aproximadamente 3 mm. En este caso se tiene la ventaja de un flujo turbulento a comparación del monolito típico de cerámica, lo que mejora la transferencia de masa en la superficie. Sin embargo,

estos modelos provocan una mayor caída de presión en el sistema. (Corvalán, y otros, 1999) (Sher, 1998)

b) **Sustratos metálicos.** Estos al igual que los sustratos de cerámica permiten una gran área superficial, lo cual reduce el volumen y debido a su reducido espesor, las pérdidas de presión son menores. Sin embargo, estos sustratos poseen mayor resistencia (poco frágiles), una mayor vida útil y mejoran la homogeneidad térmica al ser mucho mejores conductores del calor. (AECC, 2015) (Estrucplan, 2004)

Figura 51. Sustratos metálicos.



(AECC, 2015)

3) **Recubrimiento o washcoat.** Esta parte se refiere a la capa que recubre la estructura del sustrato. Generalmente, esta película está compuesta por materiales inorgánicos, que puede variar desde óxido de aluminio (Al_2O_3), óxido de cerio (CeO_2), óxido de silicio (SiO_2), óxido de titanio (TiO_2), zeolita o silicato de alúmina. Y algunos estabilizadores como el óxido de bario (BaO). Las técnicas de adherencia pueden variar, comúnmente se utiliza la deposición electrolítica. Su espesor es de aproximadamente de 10 a 150 μm . (Corvalán, y otros, 1999) (Sher, 1998)

Su función es principalmente contener los catalizadores metálicos en su estructura porosa, que a su vez aumenta el área para la transferencia. Además, facilitan la transferencia de calor, lo que disminuye el tiempo para alcanzar la temperatura requerida en las reacciones. Otra de sus funciones es la retención o almacenamiento de oxígeno, como el caso del óxido de cerio, lo cual favorece la conversión de los óxidos de nitrógeno. (Corvalán, y otros, 1999)

4) Estructura o carcasa. Corresponde a la parte externa que contiene al monolito. Se fabrica generalmente de acero inoxidable y su forma puede variar dependiendo del sustrato. Su función es proteger al convertidor, tanto de las condiciones del exterior y de posibles golpes. (Corvalán, y otros, 1999)

5) Aislantes. Suelen consistir de láminas de asbesto o mallas metálicas. Su función es proteger al sustrato de los golpes por el movimiento del vehículo. Además, buscan retener el calor de los gases de combustión, para elevar la temperatura hasta la temperatura de funcionamiento del convertidor, aproximadamente entre los 300 a 700 °C. (Corvalán, y otros, 1999)

6) Sonda lambda. Se refiere al dispositivo electrónico que es colocado sobre la tubería de escape antes y/o después del convertidor catalítico, para obtener valores sobre la composición de oxígeno en la mezcla de gases. Con la lectura de la sonda, podrá realizarse correcciones a la relación aire-combustible para mantener la relación en su valor óptimo.

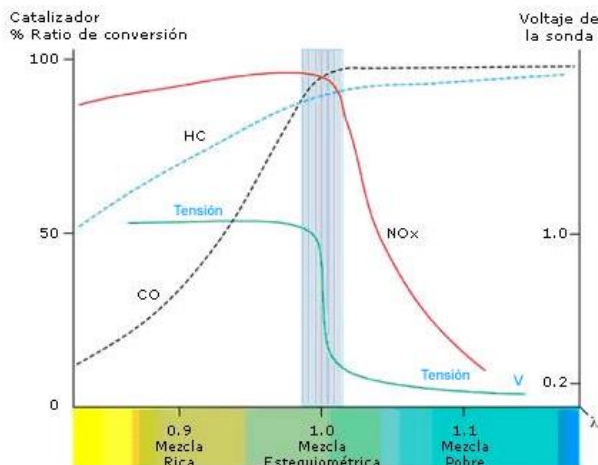
Su funcionamiento, se basa en la diferencia de concentración de oxígeno entre ambos electrodos del sensor, esto crea una corriente eléctrica, que puede asociarse al contenido de oxígeno. Esta corriente eléctrica es enviada al sistema de control, para actuar sobre la mezcla para mantenerla en su setpoint en el valor estequiométrico. Un balance de materia demuestra que la relación estequiométrica de una combustión ideal será de 14.7 kg de aire por 1.0 kg de gasolina, a esta relación se le denomina lambda igual a 1. Para etanol como combustible, la relación será de 9.0 kg de aire por 1.0 kg de etanol (Tubomax, 2013)

En cuanto a las relaciones aire-combustible, se posee dos extremos, una mezcla pobre y una mezcla rica. La mezcla pobre es el resultado de un exceso de aire y se representa por un valor de lambda mayor a 1. En estas condiciones la temperatura de la combustión aumenta, por el exceso de oxígeno presente, esto incrementa la aparición de óxidos de nitrógeno (NO_x). Una mezcla rica, resulta del exceso de combustible en la mezcla en la cámara de combustión del motor. Esto se representa como un valor lambda menor a 1. En este caso, el aire presente no será suficiente para combustionar por completo al combustible. Por lo tanto, habrá remanentes de hidrocarburos en la mezcla y monóxido de carbono en los gases de combustión. (Tubomax, 2013)

En la realidad el valor de la relación lambda no podrá ser igual a 1, debido a que el funcionamiento del motor puede variar. Así, se establece un intervalo de operación con límites máximo y mínimo, establecidos para lograr la menor cantidad de emisiones contaminantes. (Tubomax, 2013)

La utilización de la sonda lambda puede ser en un solo sitio del escape, o pueden colocarse dos sensores, antes y después del catalizador. Esta última configuración, permite la regulación de la composición aire-combustible. Por medio de la segunda sonda, se comprueba el funcionamiento del convertidor. Asimismo, esta sonda tiene la ventaja de estar expuesta a menos suciedad por parte de los gases de combustión. Debido a ello es una medida para asegurar el correcto funcionamiento del primer sensor. (Tubomax, 2013)

Figura 52. Intervalo o ventana de operación del sensor lambda.

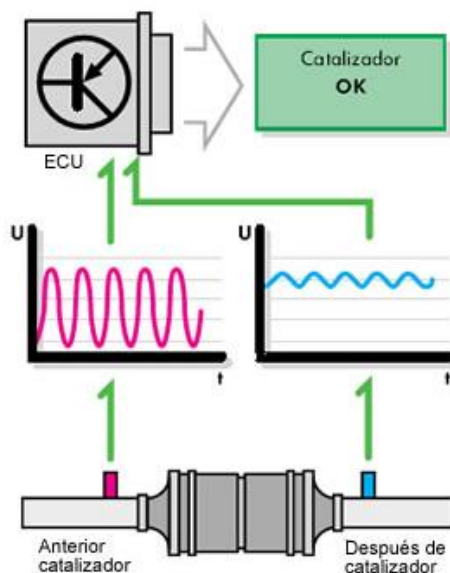


(Tubomax, 2013)

Este sistema también debe considerar la actividad de las señales de cada uno de los sensores. Es decir, habrá una diferencia entre las señales leídas por cada sensor. Puesto que el sensor a la entrada del catalizador, debe tener una gran actividad, variando su señal entre los límites requeridos de la ventana lambda de operación. Por su parte, el sensor a la salida del convertidor deberá mostrar una señal más estable. (Tubomax, 2013)

Este comportamiento se representa en la siguiente imagen, para un correcto funcionamiento de ambos sensores en el sistema de control lambda para un convertidor catalítico:

Figura 53. Regulación por dos sensores lambda.



(Tubomax, 2013)

d. Tipos de convertidores catalíticos

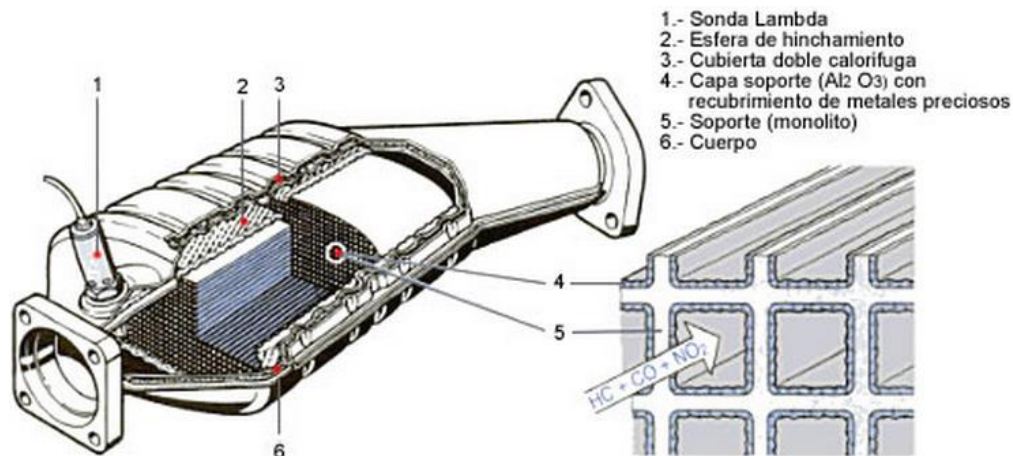
1) Dos vías. Este fue el primer tipo de convertidor utilizado para el tratamiento de los gases de combustión, su funcionamiento se basa en la oxidación de los hidrocarburos (HC) sin quemar y el monóxido de carbono (CO). Por esta razón, se le denomina dos vías, ya que convierte ambos tipos de compuestos. Estos convertidores operan con mezclas pobres, debido que el exceso de oxígeno en la mezcla mejora la oxidación. Su estructura consiste de un único sustrato donde ocurre la oxidación. (CatalyticConverter.org, 2004)

Existe confusión debido a que algunas fuentes consideran el convertidor de tres vías con entrada de aire como el convertidor de dos vías. Esto se debe a que lo denominan de doble efecto o doble cuerpo, por la combinación del catalizador de tres vías y el catalizador de oxidación convencional. (Aficionados a la mecánica, 2014)

2) Tres vías. El convertidor de tres vías se denomina así debido a su capacidad de catalizar simultáneamente la oxidación de CO e HC a CO₂ y la reducción de los NO_x a N₂. Estos convertidores son actualmente los más comunes debido a su alta capacidad de conversión de los gases con ambas reacciones simultáneamente. (CatalyticConverter.org, 2004)

Su operación y eficiencia está directamente relacionada con la composición de la relación aire-combustible. Debido a que una mezcla pobre favorece la oxidación de los HC y CO, mientras que una mezcla rica favorece la reducción de los NO_x. Ya que ambas reacciones ocurren en el mismo catalizador, se alterna entre mezcla rica y pobre para lograr ambas conversiones. El dispositivo encargado de controlar esta composición es la sonda lambda. (CatalyticConverter.org, 2004)

Figura 54. Convertidor catalítico de tres vías.



(Aficionados a la mecánica, 2014)

Las primeras versiones de los convertidores de tres vías, consistían de dos sustratos en una sola carcasa, el primero reducía los NO_x, y el segundo oxidaba la mezcla con HC y CO. Además, debido a que la etapa de oxidación requiere una mezcla pobre, este tipo de convertidor solía ingresar oxígeno adicional por medio de una entrada externa de aire. Ésta se colocaba al medio de las etapas de reducción y oxidación. (CatalyticConverter.org, 2004)

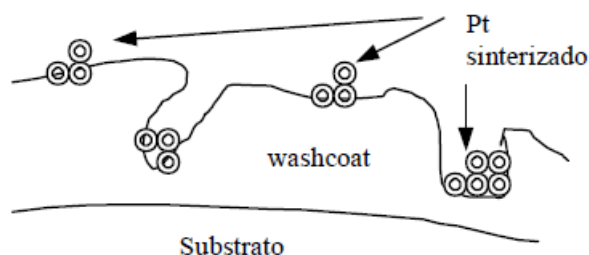
Los convertidores más modernos utilizan un mismo sustrato para la oxidación y la reducción. Y alterna entre mezcla rica y pobre de aire-combustible para lograr la oxidación y reducción de los gases de combustión. Estos convertidores almacenan químicamente el oxígeno en el sustrato para favorecer la reducción. El funcionamiento de este tipo de convertidores trabaja conjuntamente con los sensores lambda para regular la relación aire-combustible. (CatalyticConverter.org, 2004)

e. Problemas de funcionamiento

1) **Ensuciamiento o envenenamiento.** Este problema ocurre debido a una fuerte unión o adsorción de contaminantes a la superficie del catalizador. Esto disminuye el área activa y, por lo tanto, la capacidad de favorecer la reacción. Uno de los casos más comunes de ensuciamiento se da por la presencia de plomo en el combustible, debido a que cubre la superficie del catalizador y no permite que ocurra la reacción. Este mismo comportamiento puede ocurrir por la presencia de otros contaminantes indeseados como mercurio y cadmio, siliconas, fósforo, así como otras impurezas y aditivos presentes en el combustible. (Clark, 2013)

2) **Sinterización.** Este efecto es influenciado por altas temperaturas (sobre 1000°C) y se refiere al fenómeno de la agrupación o formación de cristales a partir de las moléculas de platino, paladio y rodio. Esto provoca que haya una mayor concentración en ciertos lugares del sustrato, perdiendo la homogenización en la superficie y, por lo tanto, una menor eficiencia de conversión. (Corvalán, y otros, 1999)

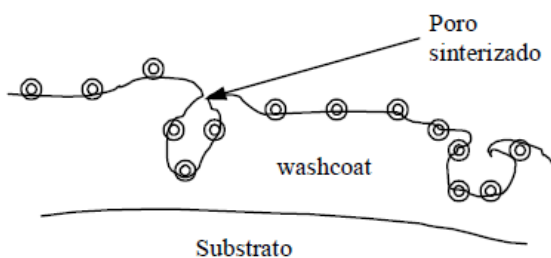
Figura 55. Representación del proceso de sinterización de los catalizadores.



(Corvalán, y otros, 1999)

Este mismo fenómeno puede ocurrir para los componentes del recubrimiento o washcoat, los cuales a altas temperaturas, pueden llegar a fundirse de nuevo. Esto puede provocar el cierre de los poros en su superficie, y se reduce el área para la catalización de los compuestos gaseosos. Y con ello empeora la capacidad del convertidor catalítico. (Corvalán, y otros, 1999)

Figura 56. Representación del proceso de sinterización del recubrimiento.



(Corvalán, y otros, 1999)

3) Erosión. La pérdida del recubrimiento en el sustrato es otra fuente de problemas para un convertidor catalítico. Este hecho ocurre como resultado de las altas temperaturas y velocidad de los gases. La pérdida directa de los catalizadores representa una disminución en la eficiencia de la conversión y la necesidad de mayores temperaturas de reacción. Este caso sin embargo, ocurre en menor escala y se ha reducido con el mejoramiento de la tecnología y materiales de fabricación de los convertidores. (Corvalán, y otros, 1999)

4) Contrapresión. Este problema se debe a que una contrapresión por encima de los límites normales, provoca el regreso de los gases de combustión al motor. Afectando así su rendimiento, disminuyendo su potencia, y provocando un sobrecalentamiento del motor. Este problema puede incluso llegar a detener el motor. Además, esta pérdida de la eficiencia también representa que el motor deberá trabajar más, y por ello, habrá mayor consumo de combustible. (Paucar, 2011)

A su vez, esto generará mayor cantidad de emisiones en la combustión, la cual será aún más ineficiente. La presión que deben experimentar los vehículos en estado estacionario debería ser cero y no exceder los 1.25 psi a 2,500 rpm. Un parámetro importante para la contrapresión es el diámetro de la tubería. Un diámetro adecuado facilitará el flujo de gases y tendrá una contrapresión mínima. La causa más común de la contrapresión es la obstrucción de la tubería. La contrapresión también puede disminuir la vida útil del motor y del convertidor catalítico. (Paucar, 2011)

5) Otros. Altas temperaturas en el convertidor catalítico, por encima de los 1000°C, pueden ocasionar el envejecimiento del catalizador y su debilitamiento, hasta su posible fundición. Lo que a su vez puede bloquear el flujo de gases, creando una sobrepresión al motor. (AA1Car, 2015)

f. Eficiencia del convertidor catalítico. La eficiencia del convertidor provee la conversión de un determinado gas contaminante. Esta depende de la temperatura de los gases de combustión y la relación aire-combustible. Esta eficiencia, representa una eliminación completa con un valor de 100%, mientras que 0% significa que el componente no está siendo tratado. (Corvalán, y otros, 1999)

La eficiencia de conversión está dada por la ecuación:

$$(22) \quad \text{Eficiencia}_x = \frac{[c_x]_e - [c_x]_s}{[c_x]_e} \times 100\%$$

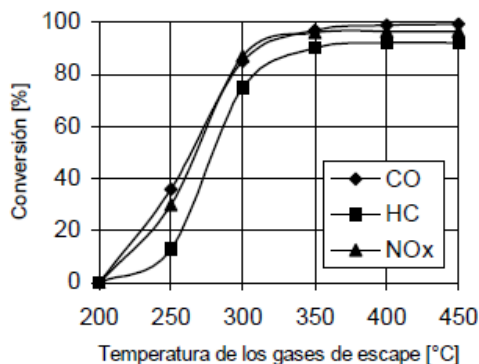
Donde:

Eficiencia, x : es la eficiencia de conversión para el contaminante x .

$[c_x]_e$: es la concentración del contaminante x a la entrada del convertidor catalítico.

$[c_x]_s$: es la concentración del contaminante x a la salida del convertidor catalítico.

Figura 57. Eficiencia de conversión de CO, HC y NOx respecto a la temperatura de los gases de combustión.



(Corvalán, y otros, 1999)

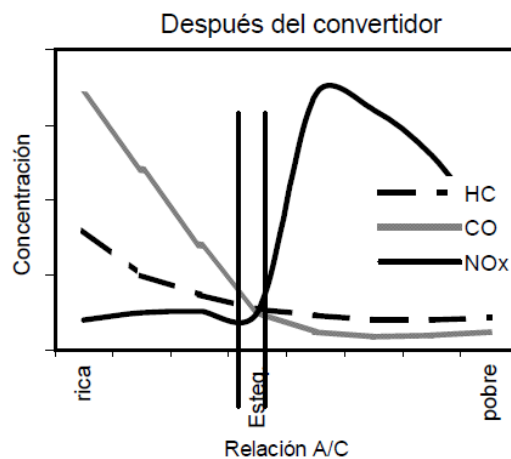
Un parámetro importante para la determinación de la eficiencia del catalizador es la relación aire-combustible. Para ello se utiliza el parámetro lambda (λ), cuyo valor debe estar lo más cercano a 1. Esto representa que la relación aire-combustible real estará cerca del valor estequiométrico para la combustión ideal. Con esto se obtendrá la mejor eficiencia y el mejor balance de las concentraciones de los gases tóxicos. (Corvalán, y otros, 1999)

Esto se representa con la siguiente ecuación:

$$(23) \quad \text{Lambda } (\lambda) = \frac{(\text{aire-combustible})_{\text{real}}}{(\text{aire-combustible})_{\text{teórico}}} \cong 1$$

Este balance, para obtener las mejores concentraciones de los gases de combustión a la salida del convertidor, se muestra en la siguiente gráfica, en el intervalo de $\lambda=1$.

Figura 58. Análisis de la concentración de gases de combustión para la relación lambda.



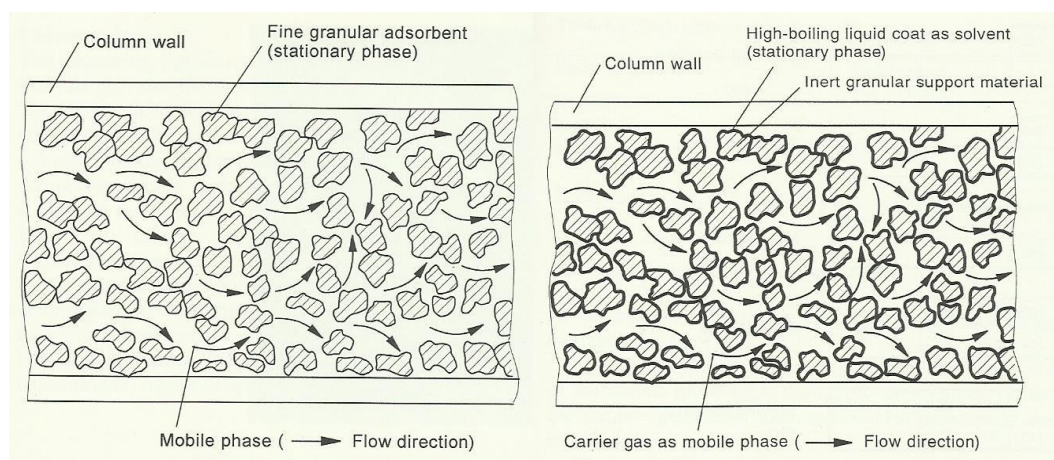
En esta gráfica se muestra el intervalo de operación, alrededor de la proporción estequiométrica, donde la concentración de gases contaminantes en la combustión es mínima. Así, la reducción de las emisiones contaminantes puede controlarse mediante la acción combinada de los sistemas de inyección de combustible controlada, la operación en el intervalo lambda y el uso del convertidor catalítico. (Tubomax, 2013)

5. Cromatografía de gases. La cromatografía de gases es un método importante para la separación, identificación y/o cuantificación de los componentes de una mezcla gaseosa. La separación ocurre por competencia entre las fases móvil y estacionaria. La selectividad entre éstas y los componentes, permitirá la elución de cada uno en distintos tiempos de permanencia dentro de la columna. La aplicación del método de cromatografía de gases, consiste en volatilizar la muestra e inyectarla en la columna para la separación. Esto tiene las desventajas de requerir una muestra volátil y que sea térmicamente estable. (Skoog, Holler, & Crouch, 2001)

a. **Fase móvil y estacionaria.** En cromatografía de gases la fase móvil siempre será un gas, y la fase estacionaria puede ser un sólido o un líquido retenido en un soporte sólido. La fase móvil gaseosa se encarga de eluir de manera continua los componentes de la mezcla, mientras otros están siendo retenidos por adsorción en la fase estacionaria. (Skoog, Holler, & Crouch, 2001) (Varcárcel & Gómez, 1988)

Los primeros componentes en eluir serán los más afines a la fase móvil. Además, es muy importante que el gas de la fase móvil sea químicamente inerte. La elección de las fases se hará según las características del componente. Debe tomar en cuenta las interacciones ácido-base, dipolares, adsortivas y dispersivas, para lograr la separación requerida. (Skoog, Holler, & Crouch, 2001) (Varcárcel & Gómez, 1988)

Figura 59. Fase móvil y fase estacionaria sólida y líquida en la columna de separación.



(Klingenberg, 1996)

b. Limitaciones y dificultades del método. Generalmente, se prefiere la cromatografía gas-líquido por las limitaciones del tipo gas-sólido. Esta última requiere de “moléculas activas o polares” y, aun así, los resultados suelen ser no lineales. Esto se traduce en picos de elución con colas. Otros problemas importantes son: tiempos de retención muy grandes, problemas con la reproducibilidad y una menor variedad para columnas comerciales. (Barquero, 2006) (Varcárcel & Gómez, 1988)

El primero de estos problemas también afecta la estabilidad térmica y restringe las aplicaciones a compuestos de bajo peso molecular. Por otra parte, el problema con la reproducibilidad se debe a que “los sólidos adsorbentes son más difíciles de estandarizar y preparar de forma reproducible que los líquidos”. (Barquero, 2006) (Varcárcel & Gómez, 1988)

Según Barquero (2006), el mayor problema del método se debe a la reproducibilidad de la inyección, debido a varias razones: el volumen a introducir, la temperatura dentro del sistema de inyección y velocidad de inyección. Como mejoras a estas dificultades, se suele utilizar automuestreadores e inyectores automáticos, y emplear estándar interno.

La separación en la columna debe ser adecuada para evitar problemas como el traslape de picos y/o el ensanchamiento de los picos. Este traslape y ensanchamiento de los picos puede mejorarse aumentando la distancia de la separación. Esto se obtiene mediante el aumento del largo de la columna. El ensanchamiento de las bandas, tiene una relación directa entre el tiempo de retención e inversamente con la velocidad de flujo en la fase móvil. Además, es una señal de la pérdida de eficiencia en la columna de separación. (Skoog, Holler, & Crouch, 2001)

Para lograr mejoras en la separación, se deben ir modificando las condiciones en la columna de separación, hasta lograr una separación con claridad y el menor tiempo posible. Generalmente, estas dos condiciones son muy difíciles de lograr conjuntamente. Por lo tanto, se debe llegar a un punto intermedio que satisfaga lo mejor posible dicha separación. (Skoog, Holler, & Crouch, 2001)

Es por esto, que en cromatografía se suele hablar del “problema general de la elución”, ya que la variación de algunas condiciones, para obtener mejor resolución de algunos compuestos, empeora las condiciones de elución para otros. Una solución práctica a este problema, es modificar las condiciones “ideales” de separación de algunos compuestos a medida que son separados. De forma que se mantienen las mejores condiciones de separación para cada compuesto. Esto también reducir el tiempo de separación. (Skoog, Holler, & Crouch, 2001)

c. Análisis cuantitativo. Para el análisis cuantitativo de éste método, se suele utilizar la calibración mediante patrones. Los cuales deben tener una composición similar al compuesto a determinar. Se construye una curva de calibración, que relacionará el área de los picos o sus alturas, y la concentración de las soluciones patrón. Esta relación debe ser idealmente una línea recta que pase por el origen, para poder determinar la concentración del analito requerido. (Skoog, Holler, & Crouch, 2001)

Las principales fuentes de error asociadas a estos análisis son: el acarreo de error por las incertidumbres en los volúmenes de las muestras, la velocidad de inyección de la muestra, pérdidas de la muestra por evaporación en la aguja de la inyección y/o en la septa, entre otros. (Skoog, Holler, & Crouch, 2001)

De manera similar la utilización de un patrón interno, se basa en utilizar un componente patrón, cuya concentración es la misma en todas las soluciones de la curva de calibración. Con esto, se obtiene una relación entre el analito y el patrón interno. Los resultados de este patrón deben ser similares a los resultados del analito deseado. Su pico debe aparecer en tiempo similar y no debe estar presente en la naturaleza de la muestra a analizar. (Skoog, Holler, & Crouch, 2001)

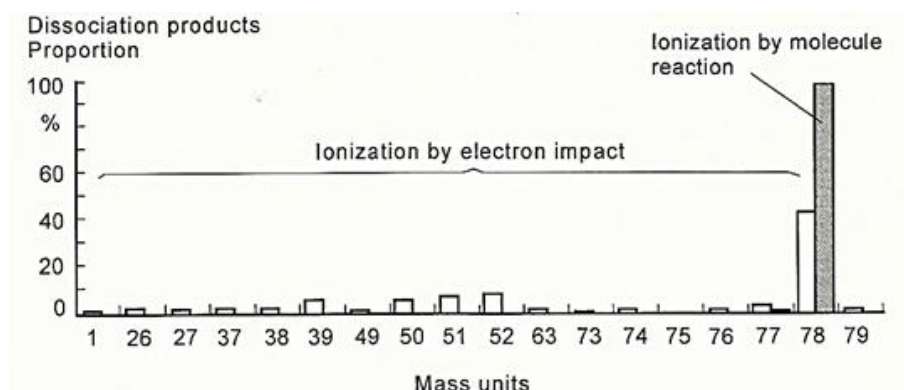
d. Equipo y sistemas complementarios. El equipo de cromatografía de gases, se compone de: un recipiente para el gas portador o acarreador, reguladores de presión, filtros de oxígeno y humedad, sistema de inyección con control de temperatura, horno con columna cromatográfica, detector con control de temperatura y sistema para el procesamiento de la información. Este último, será el encargado de realizar las operaciones de integración de las áreas de los picos resultantes, la medición del tiempo de retención, y los cálculos de concentraciones, entre otros. (Barquero, 2006) (Varcárcel & Gómez, 1988)

La forma para identificar los componentes de la mezcla se logra mediante detectores, colocados al final de la columna de separación. Dado que los componentes tienen tiempos de retención distintos, cada uno saldrá con cierto tiempo de separación respecto al siguiente componente. Como resultado, se obtendrán distintos picos o señales del detector. Esta serie de picos, que relacionan la concentración y el tiempo, se les conoce como cromatogramas. Su ventaja aplica tanto en su análisis cualitativo como cuantitativo, ya que existe una relación directa entre el área de los picos y la cantidad del componente en la mezcla. (Skoog, Holler, & Crouch, 2001)

6. Detector por espectrometría de masas. Este detector suele acoplarse a la cromatografía de gases y se utiliza para registrar los espectros de masa de cada compuesto separado por la columna. Se basa en la detección de iones de igual relación masa-carga, que se producen a lo largo del espectrómetro. Se mide la corriente asociada a su abundancia, y se transforma dicha señal en un cromatograma y otras posibles señales de salida. (Trujillo, 2006)

La imagen a continuación muestra un ejemplo de la relación entre la abundancia y la masa molecular de los iones separados para un solo compuesto. Se muestra un pico predominante, que será el ion de mayor abundancia o mayor estabilidad. El último pico generalmente se refiere a la masa molecular del compuesto analizado.

Figura 60. Espectro de masas del benceno y los componentes obtenidos de la disociación por impacto de electrones.



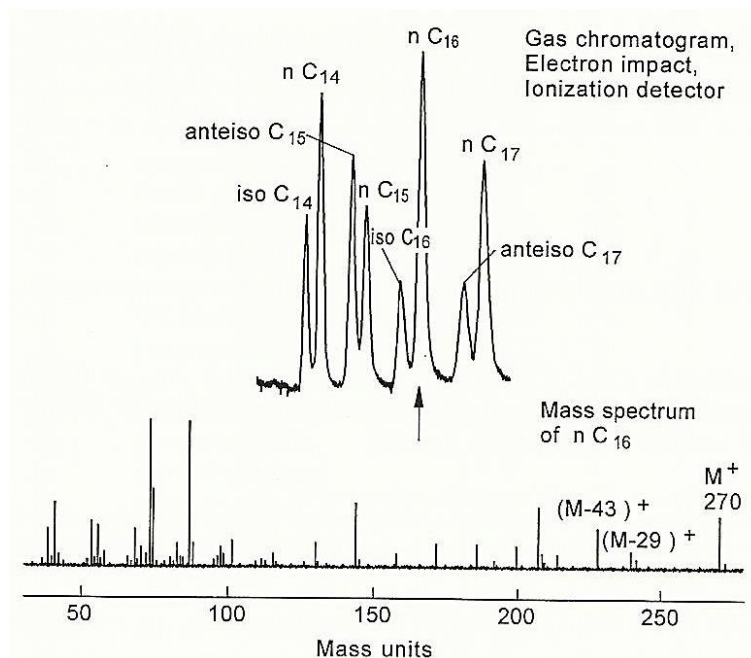
(Klingenberg, 1996)

El proceso de análisis comienza al introducir uno por uno, los analitos separados por la columna. Estos serán bombardeados por una cortina de electrones, para romper los enlaces y formar iones cargados positivamente. Luego, estos iones son acelerados en un campo eléctrico o magnético, dependiendo del tipo de detector, para lograr una nueva separación de acuerdo a la relación masa-carga. (Trujillo, 2006)

Posteriormente, la identificación se hace hasta completar un barrido de todo el rango de masas y se obtienen los picos característicos de los compuestos. Finalmente, se compara con bibliotecas espectrales contenidas en la base de datos del equipo para determinar la identidad de cada compuesto. (Trujillo, 2006)

La siguiente imagen (Figura 61) muestra algunos picos de un cromatograma obtenidos por un análisis de cromatografía de gases, y el espectro de masas para uno de ellos. Este espectro es el que permite su identificación, por medio de la secuencia característica que muestra la relación abundancia-masa molecular de los picos para el compuesto analizado.

Figura 61. Cromatograma de una mezcla de gases y el espectro de masas de uno de sus componentes identificados.



(Klingenberg, 1996)

7. **Detector de conductividad térmica.** Es uno de los primeros tipos de detectores utilizados para la cromatografía de gases, debido a su sencillez y bajo costo a comparación de otras tecnologías. Este detector funciona haciendo pasar una corriente eléctrica, a potencial eléctrico constante, para calentar el dispositivo encargado de detectar la conductividad térmica del gas circundante. Este dispositivo es, por lo general, un filamento de platino, oro, tungsteno, o algún termistor. Dependiendo esta conductividad cambiará la resistencia eléctrica del metal y se tendrá una lectura de la muestra analizada. (Skoog, Holler, & Crouch, 2001)

Este detector puede utilizarse individualmente o con un segundo detector de referencia. El primer caso funciona haciendo pasar alternadamente los gases de referencia o portador y la muestra. Mientras que utilizando un segundo detector, se puede trabajar de dos formas: dividiendo el flujo de la muestra o haciendo pasar simultáneamente los flujos de la muestra y del gas portador en cada detector por separado. Esto busca reducir al mínimo la influencia de la señal de conductividad del gas portador, y otras variables como variaciones de temperatura, presión y potencial eléctrico. (Skoog, Holler, & Crouch, 2001)

Los gases portadores tienen una conductividad térmica mucho mayor al de la mayoría de compuestos orgánicos, por lo tanto, son capaces de detectar cantidades mínimas en el gas de la muestra analizada. Esto se observa como una disminución significativa de la conductividad

térmica, y por lo tanto, un cambio elevado en la temperatura del detector. (Skoog, Holler, & Crouch, 2001)

Las ventajas de este detector además de su sencillez, son su amplio intervalo de linealidad a la respuesta a compuestos tanto orgánicos como inorgánicos, y su análisis no destructivo, que permite la recuperación de la muestra en caso de ser necesario. Sus limitaciones son: una baja sensibilidad a comparación de otros detectores y la imposibilidad de utilizar columnas capilares en caso de analizar cantidades de muestras muy bajas. (Skoog, Holler, & Crouch, 2001)

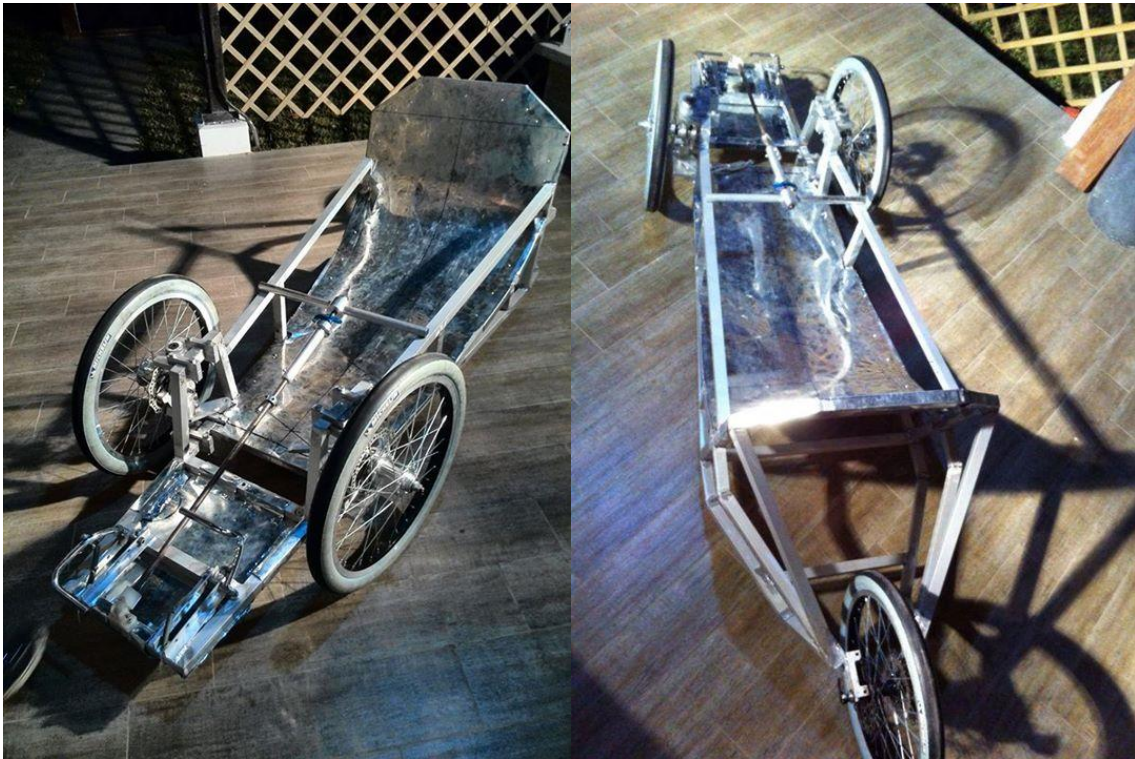
V. ANTECEDENTES

A. MÓDULO SENSORES

El vehículo contaba con un sistema equivalente, el cual tenía problemas para el despliegue eficiente de datos en pantalla, no poseía una interfaz amigable y cómoda para el piloto y tenía deficiencia en la modularidad del módulo existente, es decir no contaba con un diseño que permitiera ir mejorando dicho módulo sin necesidad de destruir el módulo existente. Dicho módulo contaba con una unidad de procesamiento de poca capacidad (Un microcontrolador Arduino) impidiendo el crecimiento del módulo o su mejora.

La estructura del chasis del vehículo es la misma de la fase I. El chasis pone una limitante de espacio.

Figura 62: Vista frontal y trasera del chasis del automóvil, fase I y II.



B. MÓDULO TRANSMISIÓN DE DATOS INALÁMBRICO

Actualmente el megaproyecto se encuentra en su fase II. En la fase I existieron diversos módulos enfocados a aspectos mecánicos del vehículo y existía únicamente un módulo dedicado al sistema electrónico del mismo. Este último contaba con la implementación de sensores extras totalmente distintos a los que posee la unidad de control. Sin embargo buscaban brindar la información que este ya obtiene. Este sistema contaba con una pantalla grafica propia, colocada dentro del vehículo para desplegar datos importantes como la velocidad y numero de vueltas de la pista al conductor. Asimismo poseía un pequeño módulo de transmisión de datos inalámbrico que permitía transmitir estos datos, pero no poseía una relación con la unidad de control (ECU).

Específicamente un módulo destinado únicamente para la transmisión de datos inalámbrico no existía previamente, y menos alguno que permitiera la transferencia de los datos del kit de inyección provisto por ecotrons.

En su momento el módulo que se elaboró en la fase uno, buscaba brindar una retroalimentación muy similar a la que brinda la información del ECU. Con la pequeña diferencia que este si lo hacía en tiempo real, a diferencia de la unidad de control que requería del uso de un cable serial constantemente. Es por esto que surge la necesidad de un módulo que permita transferir estos datos en tiempo real y de forma inalámbrica. De esta forma es posible obtener una mejor retroalimentación del comportamiento del vehículo sin tener que instalar sensores externos extras que el motor en su interior ya posee.

VI. METODOLOGÍA

A. MÓDULO SENSORES

1. Fases de trabajo

a. Fase inicial. Se realizó un análisis de los antecedentes de manera exhaustiva para poder realizar mejoras que sean determinantes para una mejora drástica del módulo existente. Además utilizar dispositivos que permitan la longevidad y validez de la tecnología a utilizar por una cantidad de años considerablemente larga, a manera que en un par de años no quede obsoleta la tecnología utilizada.

- Como primer paso, se seleccionó el microcontrolador o computador sobre el cual se montó este módulo, así mismo el módulo GPS, pantalla que se utilizara para ello.
- Una vez obtenido los dispositivos que se tendrían para el desarrollo del módulo, se investigó sobre cómo utilizarlos; códigos para control de interfaz gráfica, implementación GPS seleccionado, control de puertos de microcontrolador o computador seleccionado, programación eficiente para ello.
- Con dicha información y ya en posesión de los dispositivos seleccionados, se procedió en dos fases. La fase I desplegaba únicamente la información básica necesaria para el piloto (Velocidad, numero de vueltas, Tiempo). Dicho despliegue en una interfaz gráfica amigable al usuario. La fase II ya implementa todos los sensores del módulo y permite al piloto seleccionar tres diferentes modos de operación para desplegar diferentes datos en pantalla según el modo seleccionado.

b. Fase I. Como primer paso se procedió al diseño de bloques dentro del módulo y la estructura del mismo. Luego se programó el GPS y el manejo de tiempo en la Raspberry Pi B+.

- Una vez lista la programación se procedió al diseño de un PCB que permita dinamismo para cambios en el módulo e implementación de nuevos módulos al mismo.
- Realizado el diseño del PCB, se fabricó y se realizaron pruebas del mismo, para correcciones de la programación o instalación del hardware.
- Por último, se hizo el case del PCB y PCBs secundarios (Sub módulos). Esta fase se terminó dejando el módulo como producto final para un cliente, es decir para que fuese sencillo para los técnicos y en caso necesario incluso para el piloto la instalación y uso del mismo.

c. Fase II. Se procedió a la implementación de nueva programación para los sensores faltantes en la fase I. Así mismo a añadir diferentes modos de despliegue de datos en pantalla, según selección de un switch de tres posiciones.

- Una vez realizada esta programación, se procedió a cambiar la configuración del PCB de interconexiones, utilizando el diseño dinámico del mismo.
- Luego se procedió a realizar pruebas del mismo para su mejora.

2. Diseño, módulos y sub módulos. Se decidió estructurar por módulos acorde a la figura. En base a ello se decidió los requerimientos de señales y voltajes que necesitaría los módulos y sub módulos (Figura 63: Módulos de proyecto)

Figura 63: Módulos de proyecto

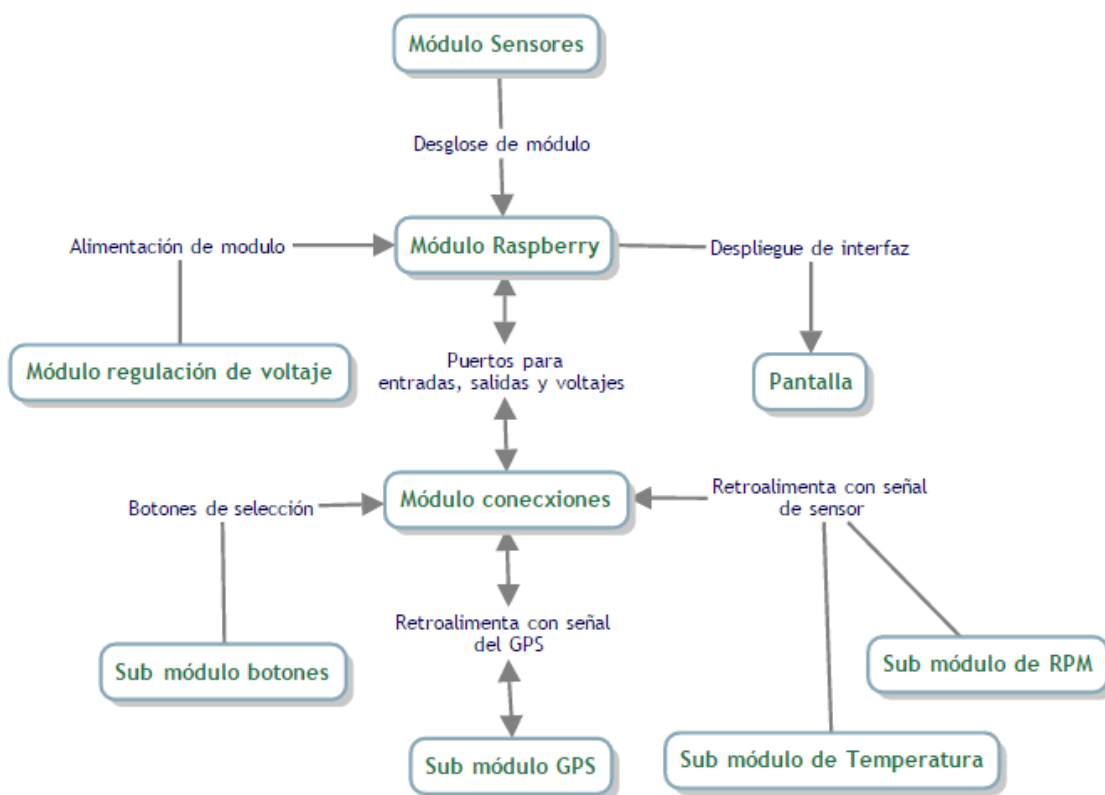
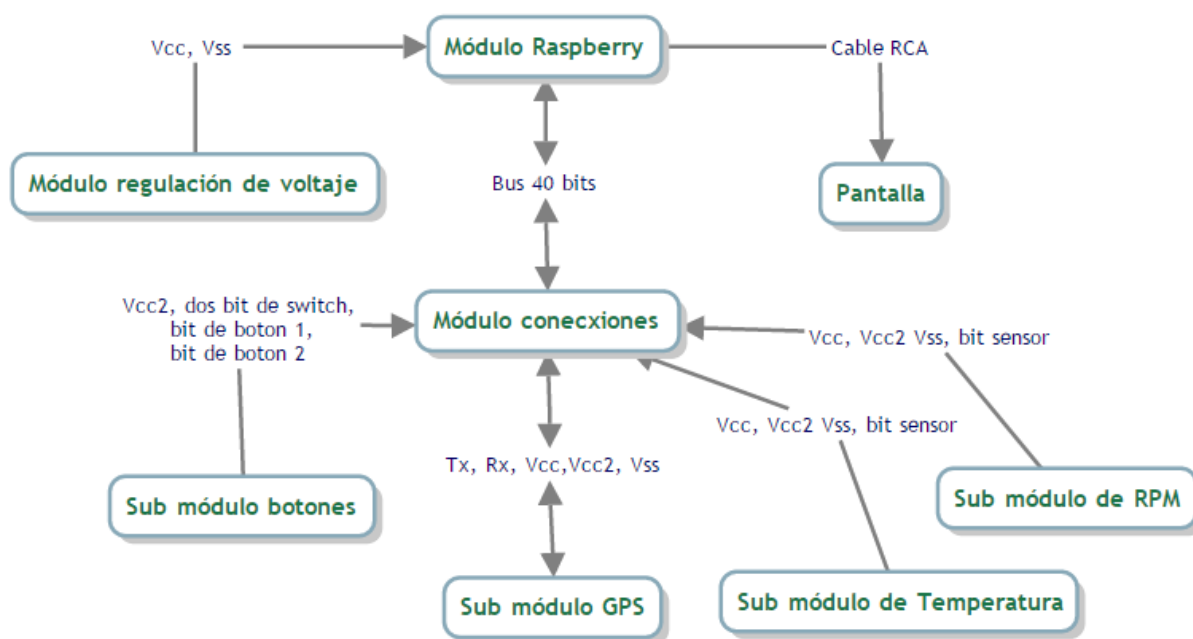


Figura 64: Definición de bits y voltajes por módulos.



a. Módulo Raspberry Pi. Es el módulo de la Raspberry Pi B+ con su encapsulado de fábrica, el cual por medio de un bus de 40 pines se interconecta con el módulo de conexiones. Las únicas conexiones directas en este módulo, son un módulo USB de internet inalámbrico CanaKit y un módulo convertidor de USB a EUSART TTL.

Figura 65: Módulo Raspberry Pi B+ con case transparente.



(CanaKit, 2014)

Figura 66: Módulo USB de Wi-Fi CanaKit para Raspberry Pi.



(CanaKit, 2014)

Figura 67: Módulo Convertidor USB a UART TTL serial CP2102.



Imagen obtenida de: ABC proyectos electrónicos.

b. Pantalla. La pantalla despliega la interfaz gráfica programada para presentar datos de los sensores y cálculos de interés del piloto, según el modo seleccionado de despliegue de datos. (mxgxw, 2013)

Figura 68: Pantalla LCD de 3.5 pulgadas, resolución 640x480.



Figura 69: Datos técnicos de pantalla LCD

Ítem	Rango	Unidad
Voltaje de operación	6-36 V DC	V
Consumo de potencia	< 3 W	A
Humedad del ambiente	10%-80%	%
Temperatura de operación	0°C - 60°C	°C
Temperatura de almacenamiento	-40°C - 85°C	°C
Tamaño de display	3.5"	"
Sistema	PAL/NSTC	-
Video	AV1/AV2	-
Tipo	Digital TFT LCD	-

c. Módulo de regulación de voltaje. Este módulo se diseñó para regular de 12 volts DC a 5 volts DC, para alimentar a la Raspberry Pi B+, capaz de suministrar hasta 4 amperios de corriente.

Figura 70: Esquemático de regulador de voltaje. Diseñado en Altium Designer.

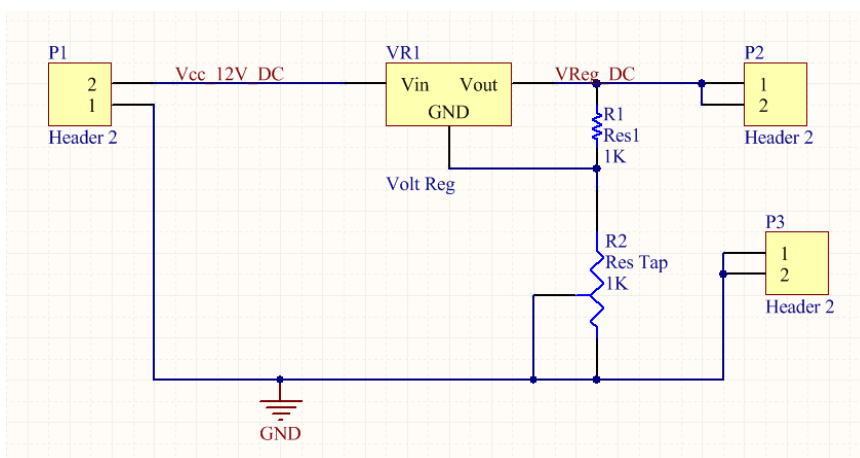
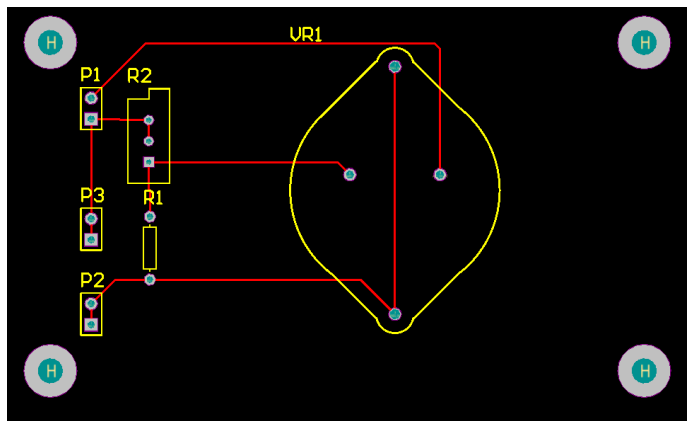


Figura 71: Diseño de PCB de módulo Regulador en Altium Design.



d. Sub módulo conexiones. Este es donde se conectan los sub módulos de los diferentes sensores que puede tener el módulo. Así mismo en este se conecta el GPS.

Este módulo tiene varias salidas tipo Ethernet con la peculiaridad que en cada salida hay pines libres para entradas o salidas, voltajes de 5.0 Volts (Vcc), 3.3 Volts (Vcc2) y 0 Volts (Vss). Cada puerto lleva a pines macho para que por medio de “Jumpers” este módulo permita hacer diferentes interconexiones con las salidas o entradas de las Raspberry B+ según la necesidad del desarrollador.

Primero se desarrolló las interconexiones entre los componentes de puestos para RJ-47 y los headers que para interconexión entre estos y los pines de la Raspberry Pi B+

Figura 72: Esquemático de módulo de interconexiones. Diseñado en Altium Designer.

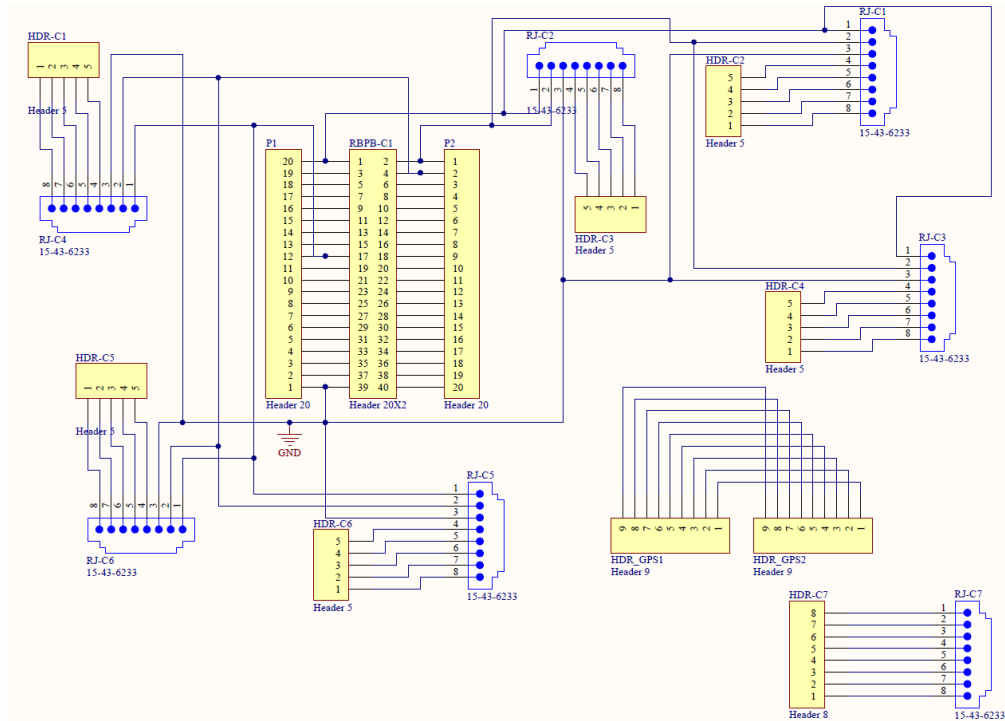
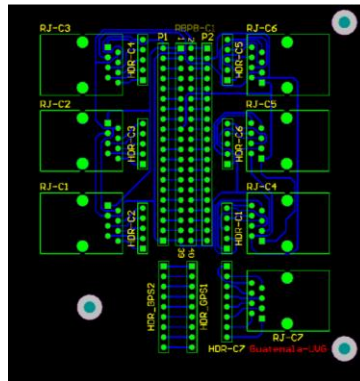
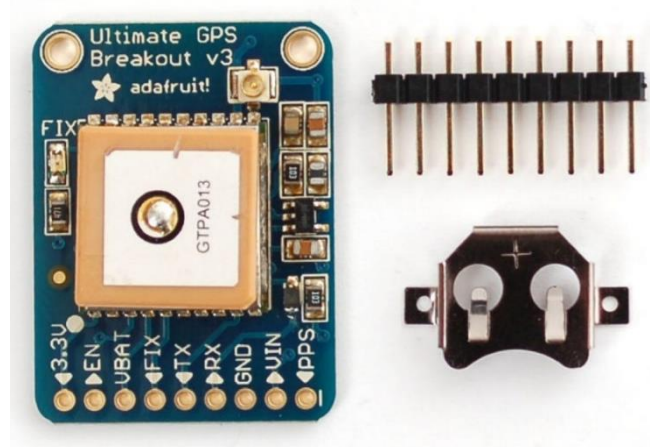


Figura 73: Diseño de PCB de módulo de interconexiones en Altium Design.



e. Sub módulo de GPS. Este sub módulo es una GPS adafruit (“Ultimate GPS breakout V3 - Adafruit”). Este tiene las siguientes características técnicas. (Townsend, 2014)

Figura 74: Ultimate GPS Adafruit.



(Adafruit, 2015)

Figura 75: Sub módulo GPS con su antena.



(Adafruit, 2015)

Figura 76: Datos técnicos de Ultimate GPS breakout V3

- -165 dBm sensitivity, 10 Hz updates, 66 channels
- 5V friendly design and only 20mA current draw
- Breadboard friendly + two mounting holes
- RTC battery-compatible
- Built-in datalogging
- PPS output on fix
- >25Km altitude
- Internal patch antenna + u.FL connector for external active antenna
- Fix status LED

(ada, 2014)

f. Sub módulo de RPM. Este módulo interconecta el sensor de RPM, un sensor inductivo de 12 Volts DC con el módulo de conexiones. Este permite que el sensor envíe un voltaje de 3.3 Volts a la Raspberry Pi B+ cada vez que el eje del motor realice una vuelta. A continuación se presentan los datos técnicos del sensor inductivo.

Figura 77: Esquemático de sub módulo de RPM. Diseñado en Altium Designer.

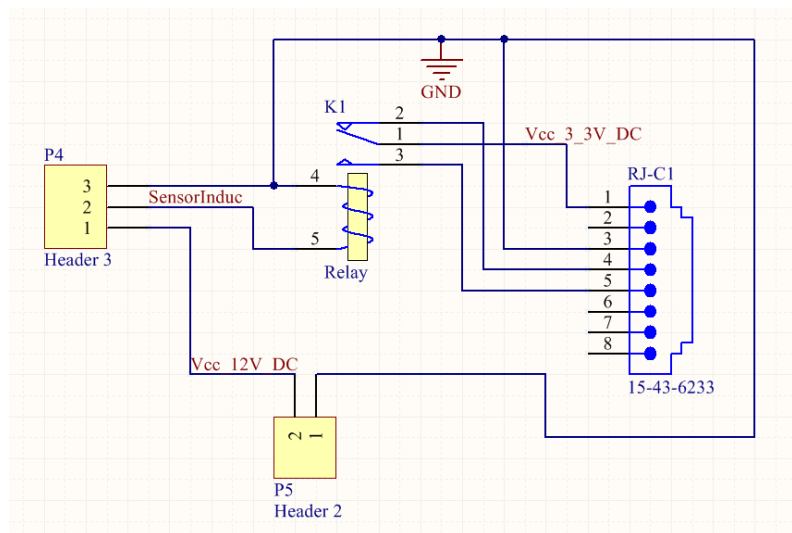
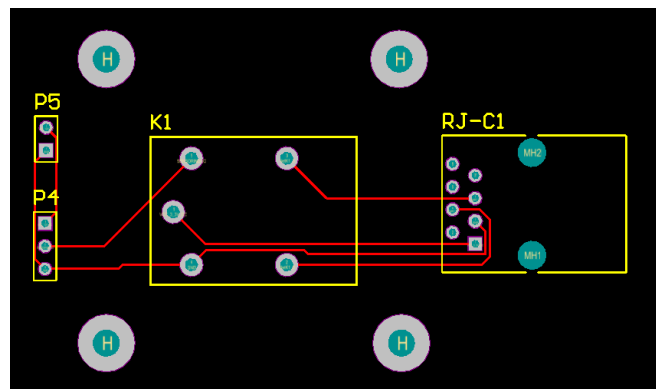


Figura 78: Diseño de PCB de módulo de RPM en Altium Design.



g. Sub módulo de temperatura. Este módulo interconecta el sensor de temperatura DS18B20 (Integrated M. , 2015; Integrated m. , 2015) de encapsulado metálico, de 3.0/5.0 Volts DC con el módulo de conexiones. Este permite una resolución de 9 a 12 bits. A continuación se presenta los datos técnicos del sensor DS18B20 (Monk, 2015)

Figura 79: Esquemático de sub módulo de temperatura. Diseñado en Altium Designer.

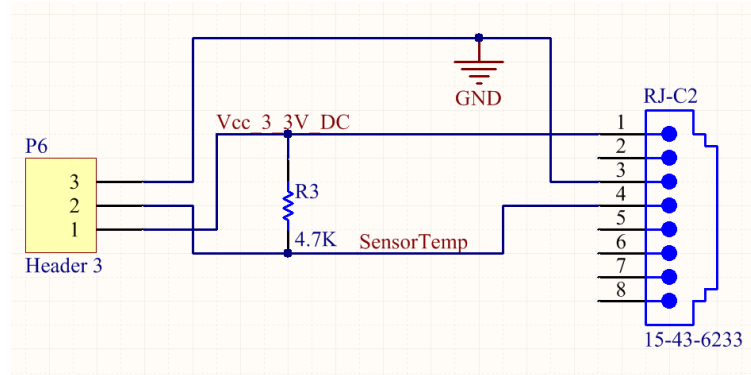
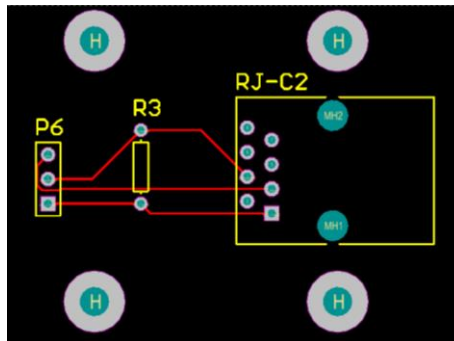


Figura 80: Diseño de PCB de módulo de temperatura en Altium Design



h. Sub módulo de botones. Este módulo tiene la interfaz de botones que mandan las señales que corresponden a una función específica según el modo en que se encuentres el sistema, seleccionado también por medio de una switch de tres posiciones en este mismo módulo.

Dicho módulo encapsulado con una caja plástica con un cable de interconexión con un RJ-45 acorde a especificaciones del módulo de conexión.

El módulo tiene un switch y tres botones con las siguientes funcionalidades:

- Switch de tres posiciones: Selecciona el modo a utilizar.
- Botón 3: Reinicio de Raspberry Pi B+

El sistema tiene dos botones con las siguientes funcionalidades según el modo que se encuentre:

i. Modo Competencia:

- Botón 1: Establecer punto de meta nuevo. Actualiza la posición GPS de la meta.
- Botón 2: Reinicia tiempo restante de competencia y numero de vueltas realizadas por el piloto.

ii. Modo Prueba:

- Botón 1: Establecer punto de referencia nuevo. Actualiza la posición GPS de un punto específico.
- Botón 2: Cambia si desea ver RPM numéricamente o con colores para indicar cambios de velocidad.

iii. Modo Normal:

- Botón 1 Reinicia Kms recorridos y tiempo transcurrido desde que inicio el sistema o se reinicio por última vez.
- Botón 2: Reinicia segunda variable de Kms recorridos y tiempo transcurrido desde que inicio el sistema o se reinicio por última vez.

B. MÓDULO TRANSMISIÓN DE DATOS INALÁMBRICO

Se analizara desde un inicio, la señal a transmitir, obteniendo información básica que permita seleccionar correctamente los transmisores inalámbricos a usar. Esto es debido a factores como la frecuencia de la señal o el baud rate que delimitan las capacidades de los dispositivos electrónicos a utilizar.

Se investigará sobre plataformas disponibles en el mercado que proporcionen un nivel aceptable de desempeño y procesamiento, y transmisores inalámbricos con un alto alcance, buscando llegar a una distancia de 1 kilómetro sin línea de vista, que se adapten lo mejor posible a las características de la señal.

Seleccionada la plataforma, se inicia con la caracterización de la señal proveniente de la unidad de control ECU. De tal forma que nos permita determinar los valores físicos que indican los sensores colocados en el motor. Siendo así posible, procesar la información obtenida correctamente, sin afectar posteriormente al software que interpreta los datos de forma gráfica.

Asimismo se busca tener información esencial de la señal a transmitir para no tener problemas con los transmisores inalámbricos seleccionados previamente.

Una vez obtenida toda la información requerida, se desarrollará el procesamiento de la señal que sea necesario para implementar el sistema de transmisión inalámbrico. Y finalmente se realizará pruebas con el mismo para determinar su alcance y funcionalidad.

1. **Selección de configuraciones.** La selección de configuraciones para el módulo de transmisión de datos inalámbrico se basó en la elección de componentes electrónicos, mediante la elaboración de un estudio comparativo. El cual evalúa aspectos importantes relacionados con los objetivos específicos del módulo y los objetivos del proyecto en general. Esto permite seleccionar el mejor sistema según sean los requerimientos. Por otro lado permite tomar una decisión en base a datos cuantitativos ya que se brinda una calificación para cada aspecto evaluado, según las capacidades del sistema en cuestión. En este caso, para el sistema de comunicación, se requería de un transmisor con un alcance grande, es el aspecto de mayor importancia, y de dimensiones pequeñas así como la posibilidad de transmitir datos provenientes de un puerto serial, ya que la información a transmitir proviene de un puerto RS-232. Es importante mencionar que se requiere un baud rate de 115200, dado que es el que posee la señal a transmitir. Por lo que se consideraron los módulos Xbee de largo alcance, y diversos tipos de antena. Tanto para el transmisor como el receptor. El transmisor se encuentra dentro del vehículo y es el que transmite los datos obtenidos de la unidad de control. Por otro lado el receptor se encuentra en la estación conectado a una computadora que interpreta los datos recibidos. La competencia no brinda una restricción específica en relación a un transmisor inalámbrico y tampoco posee requerimientos, por lo que únicamente está limitado a los objetivos de nuestro megaproyecto.

Dado que existe una amplia gama de modelos de Xbees, para este módulo de transmisión de datos, se evaluaron los modelos Xbee series 2, Xbee PRO 900 y Xbee Pro S2C. Los parámetros a evaluar fueron alcance, velocidad de transmisión y precio.

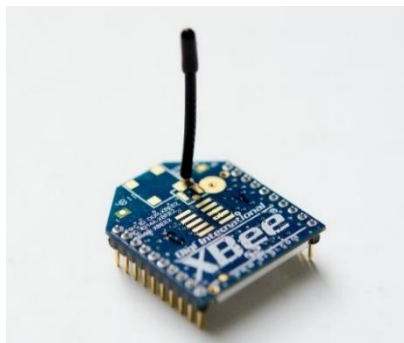
Cuadro 8. Ponderación para módulos Xbee evaluados.

Factor	Ponderación	Valor normalizado									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Alcance	5	500 metros					10 kilómetros				
Tasa de transmisión	4	9600 bps					250000 bps				
Precio	1	Bajo					alto				

Cuadro 9. Análisis de selección de módulos.

Xbee Serie 2		Xbee Pro 900		Xbee Pro S2C	
Normalizado	Total	Normalizado	Total	Normalizado	Total
1	5	10	50	7	35
10	40	9	36	10	40
7	7	3	3	9	9
Calificación	52		89		84

Figura 81. Xbee serie 2



(Xbee.cl, 2015)

Figura 82. Xbee Pro 900



(Xbee.cl, 2015)

Figura 83. Xbee Pro S2C



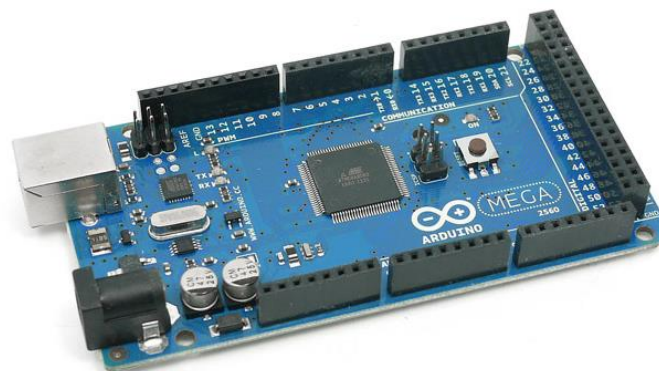
(Xbee.cl, 2015)

Figura 84. Módulo Xbee seleccionado-Xbee Pro 900



En cuanto a la selección de la plataforma para procesamiento de datos si la señal a transmitir lo requiere, únicamente se tomaron en consideración dos aspectos: dado que se necesita una conexión serial entre el Puerto serial RS232 de la unidad de control y los módulos Xbee, la plataforma debe tener más de 1 puerto serial disponible. Segundo debe existir una amplia disposición de contenido didáctico que permita facilitar su programación y manejo así como la disponibilidad de adaptadores para puertos y módulos extras. Por lo que la mejor opción es la plataforma Arduino. Sin embargo se disminuyen las opciones del mismo a uno, dados los puertos seriales que se requieren. Por lo que se termina escogiendo al Arduino Mega 2560 por su capacidad de procesamiento y disponibilidad de puertos. Agregando que posee todas las ventajas que la plataforma Arduino brinda.

Figura 85. Arduino Mega 2560



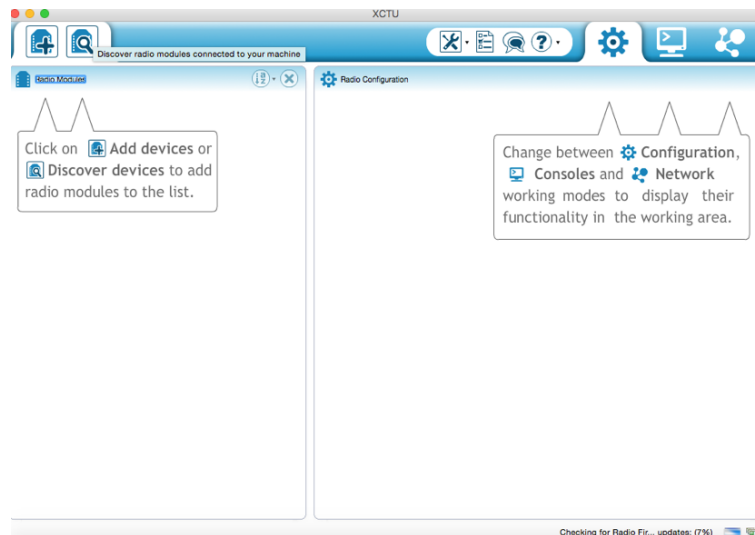
(Arduino, 2015)

2. Diseño, análisis y cálculos

a. Configuración. Una vez se tiene seleccionado el transmisor a utilizar, se inicia por el diseño del mismo, lo que requiere una configuración propia. Se inicia por los módulos Xbee utilizando la herramienta XCTU provista por el fabricante Digi la cual permite configurar y leer la configuración de los módulos, además de actualizar el firmware.

El módulo seleccionado fue Xbee Pro 900 MHz. Estos no presentaron ningún problema al iniciar su configuración. Dado que se está trabajando con el sistema operativo OS X Yosemite, se descargó la herramienta XCTU para el mismo, y al momento del reconcomiendo de los transmisores, no se presentó ninguna complicación. La siguiente imagen muestra la interfaz gráfica de este programa y lo amigable que resulta para el usuario.

Figura 86. Interfaz gráfica programa XCTU



Al tener el software de configuración de los módulos de transmisión, es necesario conectar los dispositivos con dicho sistema. Por lo que se requiere de un adaptador USB para Xbees. Ese adaptador establece una conexión entre el módulo y la computadora que posee el software XCTU. El utilizado para esta configuración se muestra en la siguiente imagen.

Figura 87. Adaptador USB para Xbees.



(UASLP, 2015)

Con este adaptador se conectan los módulos Xbee con el software de configuración, lo que da inicio a la modificación de los parámetros según los requerimientos de la aplicación.

Para iniciar con la configuración, es necesario definir ciertos identificadores propios de la red que se está creando. En este caso se tiene un identificador de red llamado NETID el cual establece que módulos pertenecen a la red y cuales pueden comunicarse unos con otros. Lo que nos da la posibilidad de crear redes más complejas. Este NETID también es llamado PANID y es una dirección de 16 bits, y forma parte de los parámetros que requiere la configuración de los módulos.

b. Protocolos para los módulos Xbee. Los protocolos que se analizaron fueron el protocolo DigiMesh y el protocolo Zigbee, debido a sus características. El protocolo Zigbee está diseñado para aplicaciones que requieren una velocidad de transferencia de datos baja con un bajo consumo de potencia. Por otro lado tenemos al protocolo DigiMesh que posee básicamente las mismas características que el protocolo Zigbee, baja tasa de envío de datos pero con un alcance superior. Esto es debido a la frecuencia en la que le es posible operar. Ambos protocolos poseen sus ventajas y desventajas y la elección de uno depende de los requerimientos del proyecto y sus limitaciones.

En este caso, para los objetivos de nuestro proyecto, requeríamos cubrir un área de 500 metros aproximándola a 1 kilómetro, ya que es el recorrido propio de la pista de la competencia, en donde nuestro vehículo ultra eficiente se moviliza. Ya que lo que deseamos es obtener una retroalimentación de los datos de los sensores que posee el motor, en tiempo real, buscamos cubrir el mayor rango de alcance posible. Siendo este último un factor crítico para nuestro transmisor. No poseemos limitantes de potencia o tamaño, delimitando nuestra elección a la distancia que le es posible cubrir, la tasa de transferencia de datos y el precio. La tasa de transferencia resulta importante debido a la señal que deseamos transmitir. Esta posee un Baud Rate de 115200 proveniente del puerto serial. Todos estos aspectos se tomaron en cuenta al

momento de elegir el protocolo y el módulo Xbee a usar. Bajo estos criterios el seleccionado fue el módulo Xbee Pro 900 el cual presenta el mayor alcance posible según los modelos comparados. Este le es posible utilizar el protocolo DigiMesh y funciona a la frecuencia de 900 Mhz. Posee una tasa de transferencia de 156kbps y le es posible operar a un baud rate de 115200.

c. Caracterización. Aparte de la configuración propia de los módulos transmisores se tiene la caracterización de la señal que deseamos enviar. Esta proviene de una unidad de control perteneciente a un sistema de inyección del proveedor Ecotrons. El que se utiliza en la competencia es el mostrado por la siguiente imagen:

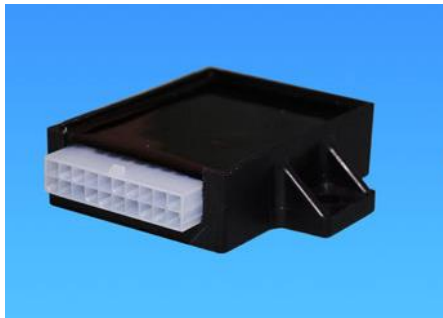
Figura 88. Kit de inyección.



(Ecotrons, 2015)

Para poder caracterizar la señal que proviene del Puerto serial RS232 que trae el kit, es necesario desconectar todos los sensores que tiene y dejar únicamente uno adherido a la unidad de control (ECU). Como se nota en la imagen, cada sensor es totalmente independiente lo que facilita, los cálculos, análisis y diseño de la misma operación. Estos sensores están conectados todos al ECU mostrado en la Figura 86, mediante las conexiones que se muestran en la Figura 87.

Figura 89. ECU



(Ecotrons, 2015)

Figura 90. Conexiones de sensores a ECU.



(Ecotrons, 2015)

Como se muestra en la Figura 86, el ECU cuenta con puertos independientes para cada sensor. Lo que permite desconectar y conectar los que se desean. Sin embargo, en la Figura 87, se nota que todos estos sensores se encuentran unidos al mismo puerto. Por lo que para poder separar cada sensor es necesario desacoplarlos del motor mismo, para que estos no identifiquen un valor cambiante. Con esto ya es posible caracterizar a la señal proveniente del puerto serial, que en esencia posee la información de todos los sensores que este tiene conectados. Asimismo se realiza una caracterización para cada sensor con el fin de obtener una función que determine el valor físico que éste, está midiendo, por ejemplo las revoluciones por minuto del motor.

Para determinar los valores físicos especificados por los sensores, desde la trama que se está transmitiendo a partir del puerto, se utilizó el software propio del sistema. Este es dado por el proveedor y es llamado ProCal. Con este sistema resulta bastante sencillo la obtención de estos valores.

Figura 91. Sistema ProCal

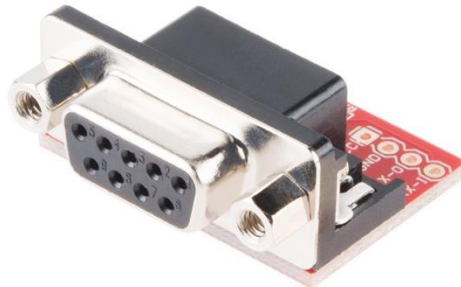


(Ecotrons, 2015)

Dada la interfaz gráfica del mismo, y manteniendo desconectado el resto de sensores, se determina el comportamiento de cada dispositivo y su representación física.

d. Interconexión. La información recopilada por la unidad de control, se obtiene a partir del puerto serial RS232. Estos datos deben ser ingresados ya sea a la unidad de procesamiento que se seleccionó, si es requerida, o bien directamente a los transmisores Xbee. Ambas plataformas requieren de una señal de entrada TTL. La diferencia básica entre ambas señales, RS232 y TTL son sus voltajes de operación. RS232 funciona a 15 volts y -15 volts, por otro lado la tecnología TTL funciona de 0 a 5 volts. Por lo que la señal del puerto serial debe ser acoplada, utilizando un adaptador. En este caso se utilizó el de la siguiente imagen:

Figura 92. Sparkfun Rs232 Shifter



(Sparkfun, 2015)

Este adaptador permite acoplar la señal del puerto RS232 y establecer una comunicación entre la unidad de control y los transmisores. Sin embargo, ambos puertos ya sea el adaptador o el del puerto serial, son conectores hembra. Esto requiere de un adaptador extra, que se muestra en la siguiente imagen:

Figura 93. Acople macho-macho serial.



(Xbee.cl, 2015)

Con este acople establecemos conexión entre el puerto serial y el transmisor. En cuanto al receptor, únicamente necesitamos otro adaptador como el que se muestra en la Figura 86. El cual transforma la señal de TTL a RS232. Es importante mencionar que este adaptador es capaz de hacer ambas conversiones de RS232 a TTL y viceversa.

C.MÓDULO EMBRAGUE CENTRÍFUGO

1. Requerimientos del módulo

a. Según el reglamento de la competencia Shell Eco-Marathon

- El vehículo debe contar con un embrague que le permita permanecer en reposo aún con el motor encendido.
- En caso de utilizar un embrague centrífugo, la velocidad de ralentí del motor debe estar por debajo de la velocidad de conexión del embrague.

b. De diseño

- El vehículo debe ser capaz de desplazarse a una velocidad máxima de 35 km/h.
- El vehículo debe poder desplazarse en una pendiente máxima de 4°.
- El sistema de transmisión debe ser diseñado considerando las condiciones de la pista en Detroit, Michigan.
- Se debe dar prioridad al peso y eficiencia del sistema, la masa de todo el sistema de embrague no debe ser mayor a 15 kg y su eficiencia debe ser mayor a 85%.
- Los componentes deben ser compactos.
- Se deben utilizar tornillos y piezas estándar para reducir la cantidad de herramientas necesarias.
- El sistema se debe diseñar para que funcione continuamente por 45 minutos.

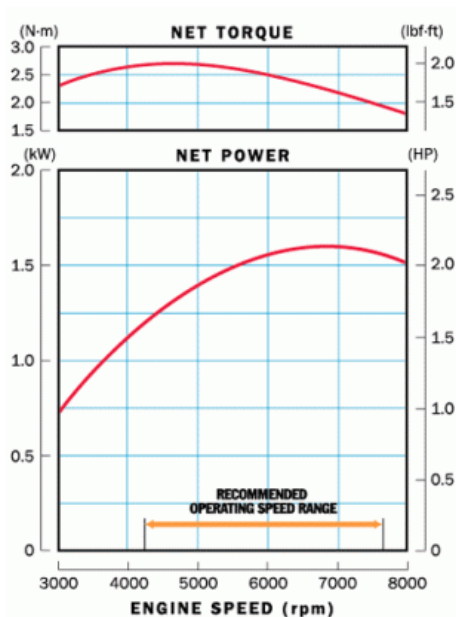
2. Datos del motor actual. La siguiente imagen muestra los datos más importantes sobre el motor que actualmente posee el vehículo. Es un motor honda GXH-50 de 49 centímetros cúbicos.

Figura 94. Datos técnicos del motor.

(PTO shaft type S)	
Length × Width × Height	225 × 274 × 353 mm (8.9 × 10.8 × 13.9 in)
Dry mass [weight]	5.5 kg (12.1 lbs)
Engine type	4-stroke, overhead valve, single cylinder
Displacement [Bore × Stroke]	49.4 cm ³ (3.01 cu-in) [41.8 × 36.0 mm (1.65 × 1.42 in)]
Net power <small>(in accordance with SAE J1349 ')</small>	1.6 kW (2.2 PS, 2.1 bhp) at 7,000 rpm
Max. Net torque <small>(in accordance with SAE J1349 ')</small>	2.7 N·m (0.28 kgf·m, 2.0 lbf·ft) at 4,500 rpm
Fuel tank capacity	0.77 L (0.203 US gal, 0.169 Imp gal)
Engine oil capacity	0.25 L (0.26 US qt, 0.22 Imp qt)
Cooling system	Forced air
Ignition system	Transistor magneto
PTO shaft rotation	Counterclockwise

(Honda Motor Co, 2009)

Figura 95. Gráfica de especificaciones técnicas del motor.



(Skyforce Racing, 2015)

3. Selección de tipo de embrague. Ya teniendo definidas las ventajas y desventajas de los distintos tipos de embragues definidas en el Capítulo IV, se procedió a realizar una matriz de decisión para realizar una selección objetiva del tipo de embrague más adecuado. En la matriz de decisión se asigna una nota a cada propiedad a tomar en cuenta en el producto final, siendo: 10 bueno, 5 medio, y 1 malo. Cada propiedad posee un porcentaje de importancia en el diseño (siendo la suma de todos los porcentajes 100%), este porcentaje se multiplica por la nota colocada para obtener el porcentaje obtenido (P.O). Por ultimo, se suman todos los P.O y la opción con el valor mas alto será la utilizada. A continuación se muestran la matriz de decisión con los valores asignados:

Cuadro 10. Matriz de decisión.

Tipo de embrague	Espacio que ocupa el mecanismo (40%)	P.O	Costo de manufactura (15%)	P.O	Tiempo de manufactura (15%)	P.O	Calculos involucrados (10%)	P.O	Embrague y desembrague automático (30%)	P.O	Porcentaje total
De Plato	1	4	10	10	10	15	10	5	1	3	37
Cónico	1	4	5	5	5	7.5	10	5	1	3	24.5
Magnéticos	10	40	1	1	1	1.5	1	0.5	5	15	58
Hidráulicos	5	20	1	1	1	1.5	5	2.5	10	30	55
Centrífugos	10	40	5	5	5	7.5	10	5	10	30	87.5

4. Mecanismo centrífugo.

El embrague seleccionado tiene las siguientes características:

- Número de zapatas: 3.
- R.p.m a las que inicia el accionamiento: 4,000 r.p.m.
- Material: Aluminio.
- Material de fricción: Asbesto.
- Diámetro en reposo: 75 mm.
- Masa: 168.2 g

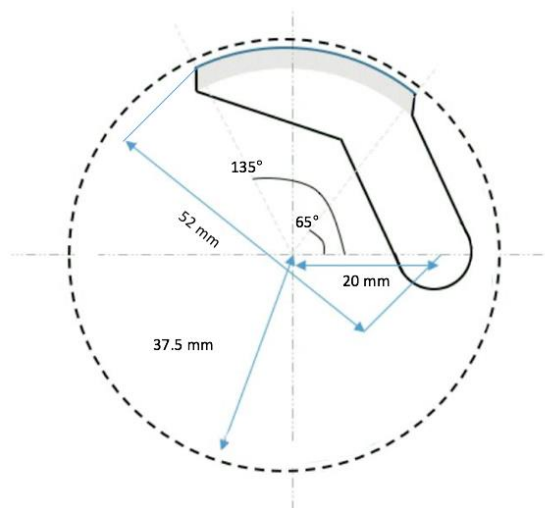
Propiedades del asbesto:

- Coeficiente de fricción: 0.45
- Presión máxima: 1000 kPa
- Temperatura máxima: 500°F ó 260 °C

Figura 96: Mecanismo centrífugo elegido.



Figura 97: Esquema de mecanismo centrífugo con medidas.



5. **Peso de la zapata.** El embrague centrífugo debe transmitir 1.4 kW a 5,000 r.p.m según la gráfica de la Figura 95, la cual muestra las especificaciones del motor utilizado en el vehículo ultra eficiente.

La velocidad a la que debe iniciar el accionamiento es de 4000 r.p.m y la velocidad óptima 5,000 r.p.m. El interior del tambor no puede sobrepasar los 77 mm. El material de fricción utilizado es asbesto, con un coeficiente de fricción de 0.45 y presión aplicable máxima de 1000 kPa.

De los datos anteriores sabemos que:

- $P=1.4\text{kW}= 1400 \text{ W}$
- $N=5,000 \text{ r.p.m}$
- $n=3$
- $D=77\text{mm}$
- $\mu=0.45$
- $p_a=1000 \text{ kPa}$

La velocidad angular óptima del mecanismo es

$$w = \frac{2\pi N}{60} = \frac{2 \pi 5000 \text{ r.p.m}}{60} = 523.598 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

La velocidad angular a la que empieza el accionamiento es igual a

$$w_1 = \frac{2\pi N}{60} = \frac{2 \pi 4000 \text{ r.p.m}}{60} = 418.879 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

El centro de gravedad de la zapata esta a 2 cm del centro por lo que $r=0.02 \text{ m}$ por lo que se tiene que la fuerza centrífuga y la del resorte son

$$F_c = m w^2 r = m \left(523.598 \frac{\text{rad}}{\text{s}}\right)^2 0.02\text{m} = 5483.113m \text{ N}$$

$$F_r = m w_a^2 r = m \left(418.879 \frac{\text{rad}}{\text{s}}\right)^2 0.02\text{m} = 3509.192m \text{ N}$$

El torque transmitido a la velocidad óptima es

$$T = \frac{H * 60}{2\pi N} = \frac{1400 W * 60}{2 * \pi * 5,000 r.p.m} = 2.6738 N * m$$

usando

$$T = T_f n$$

$$T_f = f r$$

$$f = \mu(F_t)$$

$$F_t = F_c - F_r$$

sustituyendo cada valor en la primera fórmula

$$T = \mu(F_c - F_r) r n$$

donde

$$r = \frac{D}{2} = 38.5 mm = 0.0385 m$$

$$\mu = 0.45$$

$$n = 3$$

$$T = 2.67 N m$$

sustituyendo y despejando para "m"

$$2.67 Nm = 0.45 (5483.113m - 3509.19m) \frac{rad}{s} * 0.0385 m * 3$$

$$2.67 Nm = 0.050 * 1973.92 \frac{rad * m}{s} m$$

$$m = \frac{2.67}{102.59} kg$$

$$m = 0.026 kg = 26 g$$

Tenemos que el peso la zapata es de 26 g, por motivos de corroboración se midió la masa de la zapata del mecanismo comprado, siendo este de 28 g incluyendo la unión del mecanismo al soporte central. Con base en los datos obtenidos se puede decir que el mecanismo seleccionado posee el peso correcto para transmitir el torque necesario.

Ahora se calcula la fuerza total máxima mediante:

$$F_t = F_{cmax} - F_r$$

Donde F_{cmax} es igual a la fuerza centrífuga a las r.p.m máximas del motor (7000rpm)

$$F_{cmax} = mw^2 r = 0.026 \text{ kg} \left(733.03 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right)^2 0.02\text{m} = 279.41 \text{ N}$$

$$F_r = mw_a^2 r = 0.026 \text{ kg} \left(418.879 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right)^2 0.02\text{m} = 91.23 \text{ N}$$

$$F_t = 279.41 - 91.23 = 188.18 \text{ N}$$

6. Área de contacto de la zapata con el tambor. El ángulo de contacto de la zapata con el tambor se encuentra por $\theta_2 - \theta_1 = 70^\circ$ que en radianes equivale a 1.2217, dato con el que se encuentra el largo de la zapata.

$$\text{Perimetro} = 2\pi r = 2 * \pi * 37.5 = 235.6194 \text{ mm}$$

$$\%de \text{ contacto} = \frac{70}{360} = 0.1944 = 19.44\%$$

$$l = \text{Perimetro} * \%de \text{ contacto}$$

$$l = 235.6194 * 0.1944 = 45.81 \text{ mm}$$

$$\text{Areadecontacto} = l * b = 17 * 45.81 = 778.77 \text{ mm}^2$$

b= ancho de zapata

7. Presión sobre el tambor. Partiendo que $P=F/A$, y sabiendo el área, se calcula P. Esta fuerza se multiplicará por un factor de seguridad "fs" de 1.5, para asegurar el diseño.

$$F = 188.18 \text{ N}$$

$$\text{Área de contacto} = 778.77 \text{ mm}^2 = 0.00077 \text{ m}^2$$

$$P = \frac{F}{A} * fs = \frac{188.18}{0.00077} (1.5) = 366,584.41 \text{ Pa} = 366.58 \text{ kPa}$$

Como se observa, la presión que aplica la zapata no supera la máxima permisible por el material de fricción (1,000 kPa).

8. Espesor del tambor. Conociendo la presión aplicada (366.58 kPa ó 53.16 psi), se procede a calcular t_m :

$$t_m = \frac{53.16 \text{ psi} * 3.071 \text{ in}}{120,000 \text{ psi} * 2 + 2 * 0.4 * 45.19} + 0.05 = 0.00068 + 0.05 = 0.0506 \text{ in} = 1.28 \text{ mm}$$

Aplicando un factor de seguridad de 2 el espesor final del tambor será de:

$$1.29 \text{ mm} * 2 = 2.56 \text{ mm}$$

El tambor tiene que tener una medida mayor a 2.58mm, por motivos de maquinado, ya que maquinar paredes muy delgadas se puede volver complicado, se utilizará un espesor de 5 mm.

9. Tiempo de sincronía

$$t = \frac{I_c I_t (w_c - w_t)}{T(I_c + I_t)}$$

Los datos que se tiene son:

$$w_c = 523.59 \text{ rad/s}$$

$$w_t = 0 \text{ rad/s}$$

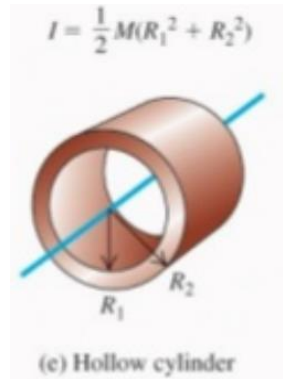
$$T = 1.5 \text{ Nm}$$

$$I_c, 0.0055 \text{ kg m}^2. \text{ Por medio de software de diseño.}$$

$$I_t, 0.0069 \text{ kg m}^2. \text{ Por medio de software de diseño.}$$

Debido a que los momentos de inercia son datos críticos en la fórmula, se calculó el momento inercia del tambor por medio de sus respectivas fórmulas y así comprobar que la magnitud del los momento de inercia que proporciona el software y la que se obtiene por medio de los cálculos sea similar, para tomar el dato de I_c proporcionado por el software. En este caso únicamente se tomó el cilindro con agujero en el centro ya que es la geometría de mayor tamaño y por ende una buena representación de la pieza.

Figura 98: Cálculo de momento de inercia de un cilindro.



(Budynas & Nisbett, 2008)

$$R_2 = 0.082 \text{ m}$$

$$R_1 = 0.077 \text{ m}$$

$$M = 0.75 \text{ kg}$$

$$I_t = \frac{1}{2}(0.75)(0.077^2 + 0.082^2) = 0.0047 \text{ kg m}^2$$

Como se puede ver, la diferencia entre el momento de inercia calculado y el que proporciona el software es mínima. Esta diferencia pudo ser ocasionada por las geometrías a las que no se les calculó el momento de inercia.

$$t = \frac{0.0055 * 0.0069(523.59 - 0)}{1.5(0.0055 + 0.0069)} = 1.011 \text{ segundos}$$

10. Aumento de temperatura en un accionamiento. Se inicia calculando la energía que se pierde en un solo accionamiento mediante:

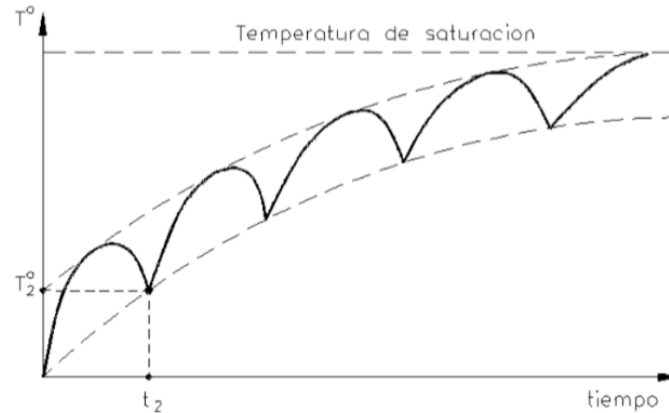
$$E = \frac{0.0055 * 0.0069(523.59 - 0)^2}{2(0.0055 + 0.0069)} = 419.51 \text{ J}$$

Luego

$$\Delta T = \frac{419.51}{500 (0.168kg)} = 4.99^\circ C$$

Como se puede observar no hay gran cambio de temperatura en el embrague por un único accionamiento, el problema de calentamiento en estos embragues se da cuando hay accionamientos repetidos ya que el embrague no logra enfriarse lo suficiente antes de ser accionado nuevamente, lo que causa que alcance la temperatura de saturación del material de fricción y no transmita eficazmente el torque. La siguiente gráfica explica visualmente lo recién mencionado.

Figura 99: Temperatura del embrague en accionamientos repetidos.



(Camarena, 2000)

11. Aumento de temperatura en accionamientos múltiples

$$T_{max} = T_a + \frac{\Delta T}{1 - e^{-\beta \cdot t}}$$

$$\beta = \frac{(h_r + f_v h_c) A}{m C_p}$$

$T_a = 60.8^\circ F$.

$\Delta T = 4.99^\circ C$ ó $40.98^\circ F$. Calculado anteriormente.

$t = 270$ s. Es el tiempo entre accionamientos.

$h_r = 2.5 \cdot 10^{-6}$. Según la Figura 34, asumiendo un incremento de temperatura = $122^\circ F$.

$h_c = 1.8 \cdot 10^{-6}$. Según la Figura 34 con, asumiendo un incremento de temperatura = 122 °F.

$f_v = 3.8$. Según la Figura 35.

$m = 0.37 \text{ lb}$

$C_p = 0.12 \text{ Btu/lbm } ^\circ\text{F}$

$A = 3.57 \text{ in}^2$

Sustituyendo los datos en las ecuaciones se tiene

$$T_{\max} = 223.85 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Incremento de temperatura = 223.85 °F

Luego se realizaron iteraciones calculando h_r y h_c con el nuevo incremento de temperatura obtenido. Esto se realiza para ver donde converge el valor de la temperatura de incremento.

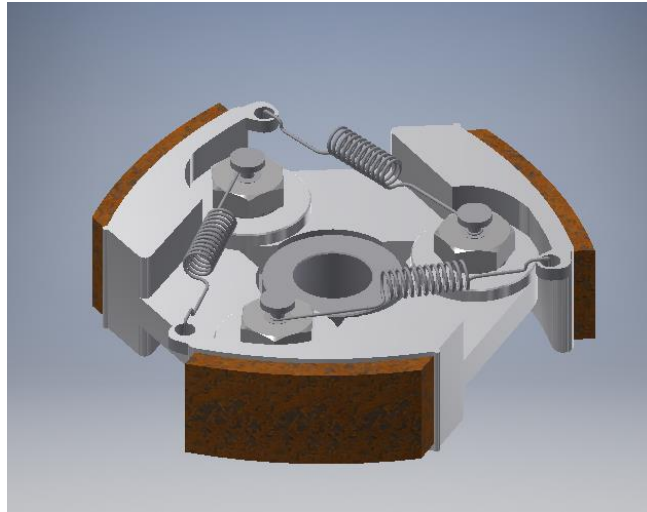
Cuadro 11. Resultados de iteraciones.

Iteración	Temperatura de incremento (°F)	T_{\max} (°F)
#1	223.85	223.85
#2	186.26	247.06
#3	201.584	262.38
#4	199.89	260.69
#5	201.584	262.38

Como se puede observar en el Cuadro 11, la temperatura de incremento converge en 201.58 °F. Temperatura a la cual el asbesto puede seguir trabajando con normalidad ya que su límite de temperatura es 500°F por lo que se puede decir que el embrague trabajará en temperaturas óptimas.

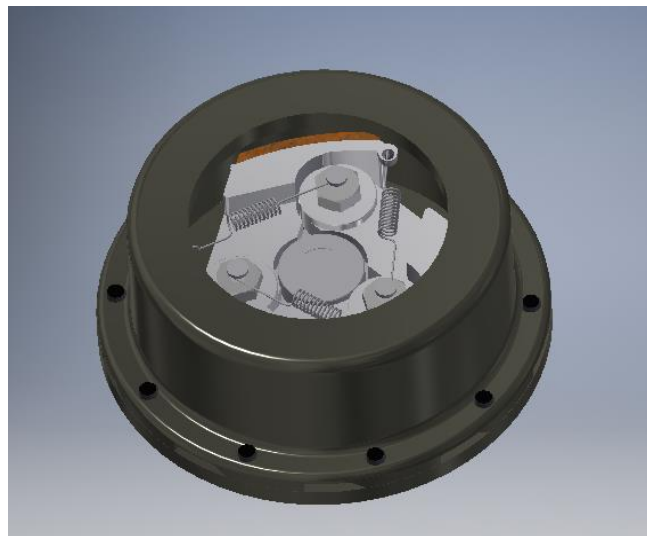
12. Diseño del mecanismo. Conociendo todos los datos requeridos para el diseño del mecanismo se procede a representarlo en el software de diseño Inventor. El resultado es el siguiente:

Figura 100: Mecanismo centrífugo.



El tambor se diseño con un espesor de 5 mm y de acero rolado en frío.

Figura 101: Mecanismo centrífugo dentro del tambor



También se diseño el eje, el cual conecta el mecanismo centrífugo con el motor. A continuación se muestra el diseño del eje.

Figura 102: Eje para mecanismo centrífugo.



Figura 103: Mecanismo centrífugo completo visto a la mitad.

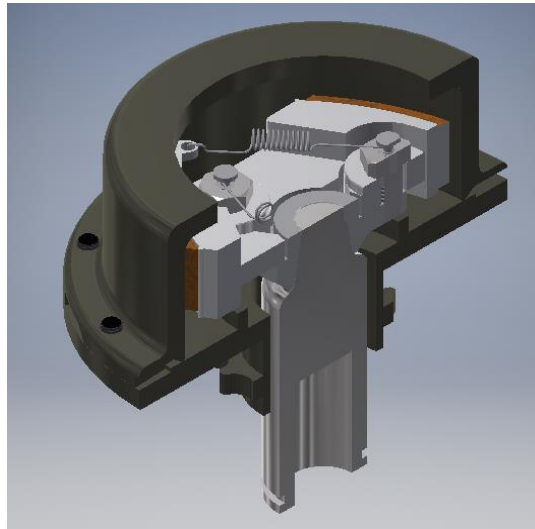
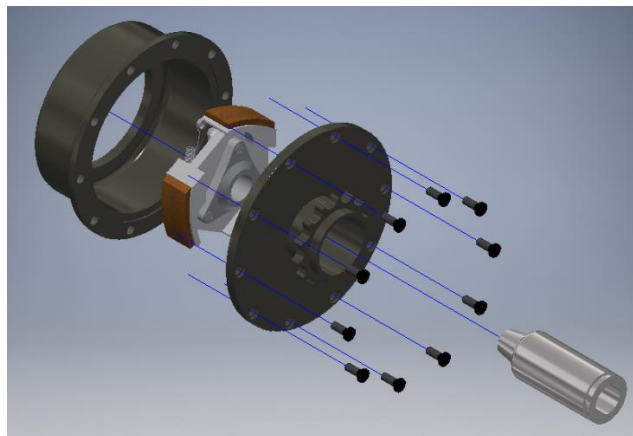


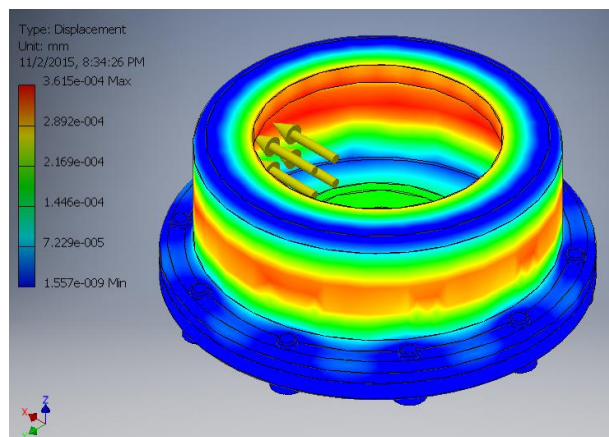
Figura 104: Explosión del ensamblaje.



*Los planos de cada pieza se pueden ver en anexos.

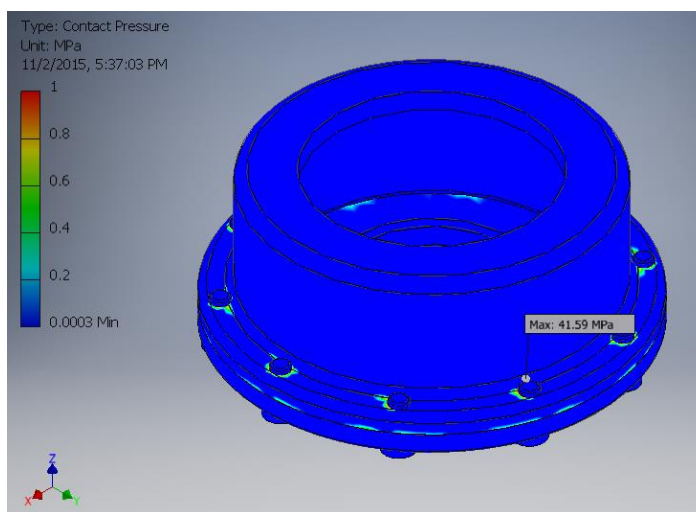
13. Análisis mediante software. Ya teniendo el mecanismo digitalizado se procedió a realizar un análisis con ayuda del software. Primero se calculó el desplazamiento de las paredes al someterlas a una presión de 366.58 kPa (presión que ejercen las zapatas sobre el tambor).

Figura 105. Desplazamiento de las paredes del tambor.



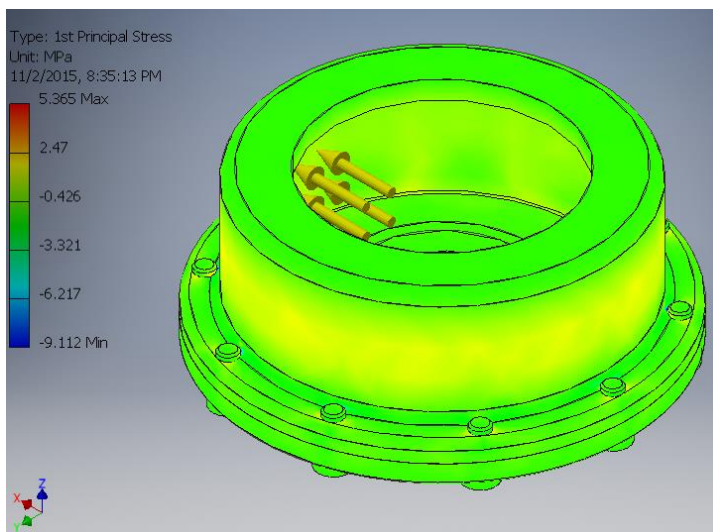
Como se observa en la imagen el desplazamiento es muy pequeño, del orden de 10^{-4} , por lo que corrobora el buen dimensionamiento del tambor.

Figura 106: Presión de contacto en los tornillos del tambor.



Como se puede observar en la imagen anterior la presión de contacto en los tornillos es de aproximadamente 0.5 MPa. Lo cual es aceptable, ya que los tornillos son de acero al carbono 1090, con un límite elástico de 2050 MPa y una tensión de rotura de 841 MPa.

Figura 107: Cálculo de los esfuerzos principales.

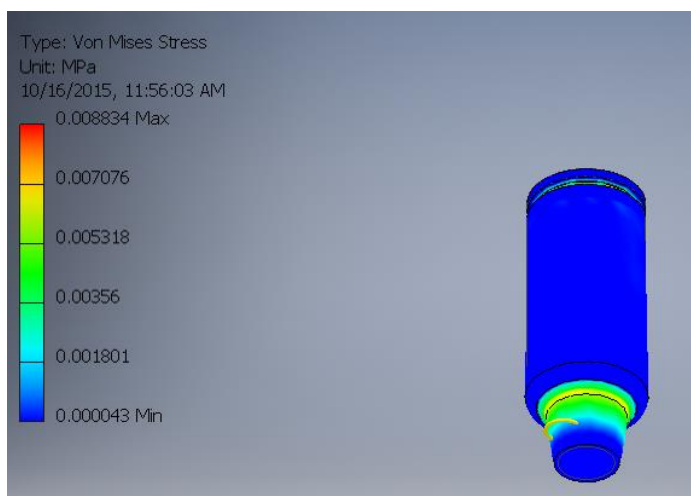


En la imagen anterior se observan los esfuerzos principales, que son de una magnitud muy pequeña en comparación con los esfuerzos de rotura y de límite de elasticidad del acero rolado en frío, 448 MPa y 538 MPa respectivamente.

Ahora, se muestran los cálculos de software para el eje con un torque de 2.7 N*m aplicado en la punta.

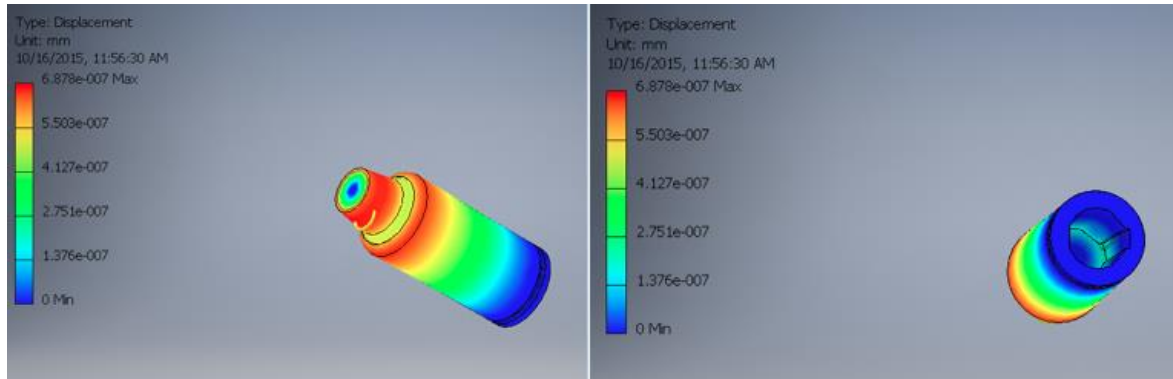
El esfuerzo Von mises, están mayormente concentrados en los cambios de sección. Aunque se le aplicó un radio al cambio de sección este sigue siendo un concentrador de esfuerzos. El esfuerzo von mises en el eje posee la siguiente magnitud:

Figura 108: Calculo de esfuerzos Von Mises en el eje.



Los desplazamientos, al igual que en el tambor, son de magnitudes muy pequeñas. Se concentran mayormente en los cambios de sección y en donde se aplica el torque.

Figura 109: Análisis de desplazamiento en el eje.



Los resultados obtenidos fueron calculados también mediante fórmulas, y como era de esperarse, los resultados son muy parecidos a los que el software proporcionó. La diferencia en los resultados se debe a que, cuando se trabaja con fórmulas se tienen que excluir simetrías y aproximar otras. Los cálculos realizados se muestran en anexos.

D. MÓDULO CONVERTIDOR CATALÍTICO

1. Materiales y equipo

a. Materiales. Los materiales empleados se detallan a continuación.

1) Construcción

- 1 tijera para cortar metal
- 1 remachadora
- 1 barreno
- 1 lima metálica
- 1 destornillador plano
- 1 alicate puntiagudo
- 1 broca para metal
- 1 abrazadera metálica
- 1 presentación de silicón rojo para alta temperatura
- 1 lámina de acero galvanizado calibre 18 y 20
- 1 catalizador cerámico

- Remaches de acero galvanizado de cabeza corta
- Papel de aluminio
- Tela de fibra de vidrio

2) Experimentación

- 2 corchos
- 4 viales de vidrio con rosca marca Agilent de 2 mL
- 1 jeringa de vidrio de 10 mL
- 2 agujas metálicas desechables
- 4 pinzas metálicas
- Manguera plástica transparente de ½ in
- Botellas plásticas PET

b. Equipo

1) Experimentación. Los equipos utilizados fueron:

- Motor Honda RXH-50
- Cromatógrafo de gases marca Agilent Technologies modelo 6850
- Cromatógrafo de gases marca Agilent Technologies modelo 6890N con detector de conductividad térmica incluido.
- Detector de espectrómetro de masas marca Agilent Technologies modelo 5975C VL-MSD.
- Columna marca Agilent Technologies modelo HP-5MS
- Columna marca Agilent Technologies modelo DB-WAX
- Columna marca Agilent Technologies modelo HP-PLOT Q
- Detector de temperatura digital marca Extech modelo EA15
- Termocupla Extech tipo K
- Analizador de gases portátil marca Enerac, Inc. modelo 700
- Anemómetro digital marca CE

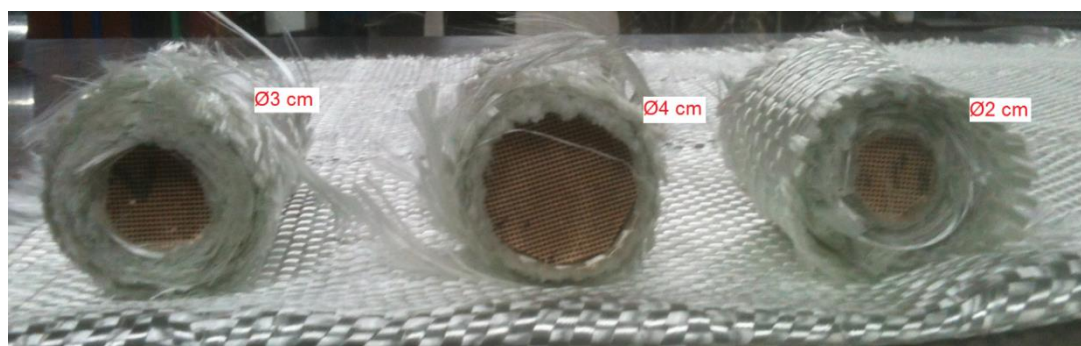
2. **Diseño, construcción e instalación.** El diseño del convertidor catalítico fue llevado a cabo considerando las limitaciones físicas y geométricas del sistema para el flujo adecuado de los gases de combustión. Su construcción también tomó en cuenta los materiales adecuados para su funcionamiento. Estos incluyen: la carcasa de acero galvanizado, el aislante de fibra de vidrio y la cerámica que constituye el sustrato del convertidor catalítico, y otros como el sellador de silicón de alta temperatura.

El acero galvanizado se eligió debido a que es un material ligero y resistente a las altas temperaturas. Este material se utilizó para la carcasa completa del convertidor, así como otras piezas y accesorios del escape. La fibra de vidrio se eligió como material aislante, debido a su baja conductividad térmica y su resistencia a altas temperaturas. La cerámica del sustrato, se eligió debido a las propiedades fisicoquímicas necesarias para la conversión de los gases de combustión. Al ser parte de un convertidor original de automóvil, posee las especificaciones adecuadas para su utilización. Este material se adaptó a tres distintos diámetros, 2, 3 y 4 cm, para ser parte de los convertidores a utilizar en la investigación. El sellador de silicón se eligió puesto que funciona para temperaturas elevadas, y es capaz de sellar todas las uniones metálicas para evitar fugas de los gases de combustión.

a. **Diseño de convertidor catalítico.** El diseño del convertidor fue realizado con base en las necesidades de temperatura mínima y presión máxima, para su correcto funcionamiento. Se analizó la teoría involucrada respecto a su funcionamiento, composición y tipos de los convertidores. Además se realizó las cotizaciones de los materiales a comprar para su construcción. Los pasos generales seguidos fueron: la investigación previa respecto a los convertidores catalíticos, análisis del motor a utilizar y de las dimensiones dentro del vehículo para implementar el convertidor, y finalmente la realización de cotizaciones para el convertidor catalítico y el resto de materiales a emplear.

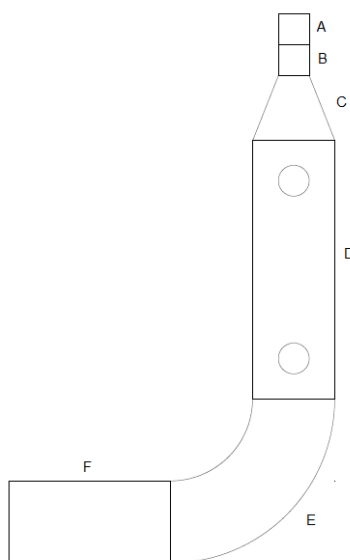
b. **Construcción, adaptación e instalación de convertidor catalítico.** Esta parte consistió en el trabajo realizado para construir el sistema de escape adaptado al convertidor catalítico y los requerimientos del sistema, utilizando los materiales y el convertidor catalítico original. Sus pasos incluyeron: primero, el corte y reducción de tamaño del convertidor catalítico original hasta el diámetro de diseño. En este caso en particular, el convertidor original fue cortado para obtener tres convertidores de menor diámetro, de 2, 3 y 4 cm cada uno. Esto se muestra en la siguiente imagen:

Figura 110. Corte de cerámica de catalizador.



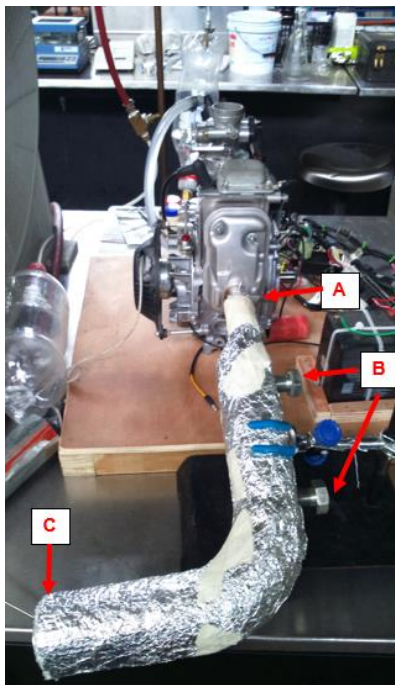
Luego se realizó la construcción de las piezas principales del sistema, como se describe en la siguiente figura. Se procedió a continuación a instalar las tuercas a la entrada y salida del convertidor, para poder instalar los sensores lambda de oxígeno. Una vez instalados éstas, se aisló el sustrato cerámico con fibra de vidrio y se unió con remaches la carcasa principal. Se unió el resto de las piezas por medio de remaches, para formar el sistema de escape completo. Se selló todas las uniones con silicón de alta temperatura. Finalmente, se recubrió el sistema de escape con fibra de vidrio y papel de aluminio para aislarlo por completo. El sistema completo se muestra en la Figura 111 y Figura 112.

Figura 111. Partes principales del sistema de escape.



Las partes principales del sistema son: entrada a escape (A), codo de 45° (B), expansor de campana (C), carcasa de convertidor (D), codo de 90° (E), y salida de escape (F).

Figura 112. Sistema de catalizador instalado en motor Honda GXH50.



Donde: entrada (A), entrada y salida para toma de muestras (B), salida (C).

3. Pruebas de funcionamiento. Estas pruebas consistieron en la medición de las variables involucradas para asegurar el correcto funcionamiento del convertidor al sistema, comprobando además que no existen problemas para la posterior recolección de muestras. Se pondrá a prueba tres aspectos principales para este propósito, que incluye:

a. Prueba de fugas en el sistema de escape. Esta prueba consistió en el aseguramiento de la hermeticidad del sistema y el flujo correcto de los gases de emisión hacia la salida del escape. Los pasos seguidos fueron: se prepara una mezcla con agua y jabón en un recipiente, para obtener espuma. Se recubre con espuma y jabón el área requerida. Se observa la formación de burbujas, como la señal de fuga de gases en el sistema. Al no observar esta formación de burbujas, se considera hermético y listo para la medición de los gases de combustión. Al verificar la formación de burbujas, se seca el sistema y se aplica nuevamente silicón, a manera de sellar por completo el área. Se vuelve a repetir el procedimiento hasta no haber formación de burbujas.

b. **Medición de temperatura.** Esta medición busca asegurar que la temperatura se encuentra en el rango aceptado para el funcionamiento del convertidor catalítico. La temperatura mínima requerida para el funcionamiento del catalizador es de 200 °C, por lo que debajo de este límite no habrá conversión de los gases. Además, si la temperatura se encuentra por encima los 800 °C, se puede dañar irreversiblemente el convertidor. Por esta razón, se utiliza una termocupla a la salida del sistema de escape para verificar la temperatura de los gases. Se arranca el motor y se deja estabilizar de 3 a 10 min. Se observa el aumento de la temperatura de los gases y se anota la temperatura en grados Celsius (°C).

Para el caso en que la lectura no alcance los 200°C, el sistema no está listo y se puede acelerar el motor para calentar el convertidor catalítico hasta cerca de los 150°C, posteriormente se deja trabajando a ralentí hasta llegar al rango de trabajo. Para el caso en que la temperatura siga aumentando, se procede a utilizar un ventilador para enfriar el sistema y evitar también que el motor se dañe. En caso de ser necesario, se apaga el motor y se enfría a la máxima capacidad del ventilador. Además, una vez frío, se debe desmontar el convertidor del sistema y verificar que no haya sufrido daños.

c. **Medición de presión.** La medición de la presión se realiza para verificar que la contrapresión hacia el motor no lo perjudique, causando la reducción de su eficiencia o incluso detenerlo. Se construyó un manómetro en u, para la medición del diferencial de altura entre la entrada y salida en el convertidor. Se coloca el medidor de presión en el sistema y se enciende el motor. Se establece el flujo de aire y se anota la diferencia de altura en cm de agua. Al estar la lectura por debajo de 1 psi, se establece que la presión de los convertidores es adecuada para su uso con el motor.

Figura 113. Manómetro diferencial.

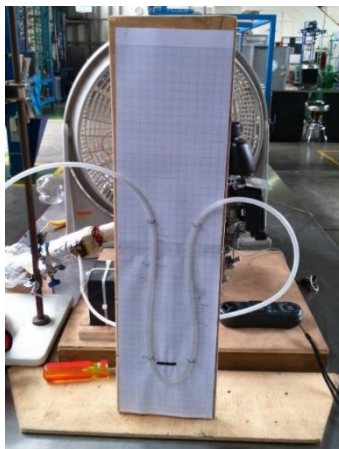
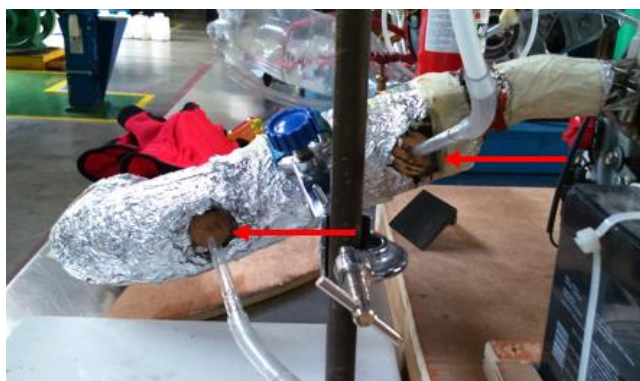


Figura 114. Entradas de mangueras de manómetro diferencial.



4. **Recolección y análisis de datos.** La recolección de las muestras para la obtención de datos por medio de la cromatografía de gases, se realiza por medio de estos procedimientos:

a. **Recolección de muestras de gases de combustión.** El sistema original de muestreo consistió en la realización de un sistema de recolección de gases. Se realiza utilizando una botella PET y un tapón plástico con dos agujeros. En cada agujero se coloca una manguera plástica rígida, teniendo una diferencia de longitud de aprox. 5 cm para cada una. Se unen mangueras plásticas flexibles a cada una de las mangueras instaladas en el tapón y a ellas se les coloca una pinza para poder cerrar la entrada y salida de los gases.

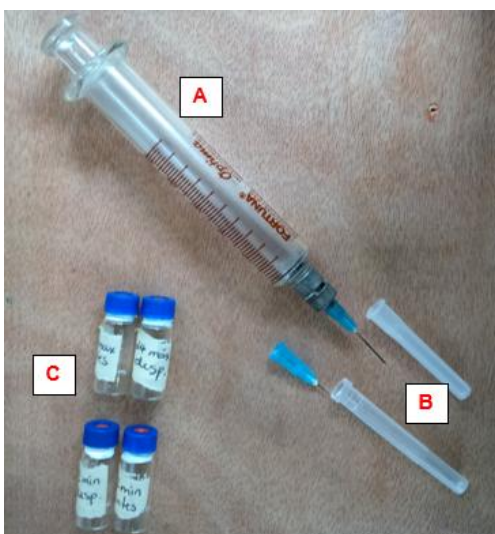
Para su recolección, se conecta una manguera de $\frac{1}{2}$ pulgada a la manguera de mayor longitud de la botella PET. Estando encendido el motor, se ajusta el flujo de aire en el motor, esto se realiza dando el número de vueltas deseadas al tornillo que regula este parámetro. Luego, se verifica que la temperatura de operación sea adecuada (aprox. 150 a 200 °C) y se inserta la manguera plástica de mayor grosor directamente a la salida del motor o la salida del convertidor catalítico. Esto dependiendo si la muestra es previa o posterior al convertidor catalítico. Se deja fluir los gases en todo el sistema por aprox. 30 s a 1 min, para evacuar el aire en la botella. Se asegura que los gases estén saliendo por la manguera de salida de la botella. Y finalmente, para capturar la muestra, se cierra rápidamente la pinza a la salida del sistema de recolección, y luego la pinza a la entrada del sistema. Se verifica que no haya fugas en la botella. Para esto, una prueba rápida consiste en verificar que la presión dentro de la botella se mantenga por 1 min, y al apretarla no pierda dicha presión o se apache.

Figura 115. Sistema original de captura de gases de combustión.



El sistema mejorado de captura de gases, consistió en la colocación de corchos a la entrada y salida hechas para el sensor lambda en el convertidor. Utilizando una jeringa de 10 mL y 2 viales de 2 mL, se recolectó la muestra antes y después del convertidor de la siguiente manera. Primero, se purgan los viales de recolección, insertando una aguja abierta al vial e inyectando aire con la jeringa. Luego, se enciende el motor y se establece el flujo de aire deseado en la marca establecida. Los niveles bajo, medio y alto, se establecieron de manera que el motor trabaje sin demasiado esfuerzo en el modo ralentí con el flujo de aire máximo. Se verifica que la temperatura de operación sea adecuada (aprox. 150 a 200 °C). Se procede entonces a insertar la jeringa en el corcho y succionar los gases de combustión. Una vez en la jeringa se procede a purgar, ahora con los gases de combustión, el vial. Se inyecta el contenido de la jeringa en el vial y se remueve la aguja abierta. Se vuelve a introducir la jeringa y succionar nuevamente los gases. Se inyecta el contenido de la jeringa en el vial 2 o 3 veces, a modo de llenar por completo el vial y dejarlo a presión.

Figura 116. Sistema mejorado de captura de gases de combustión.



El sistema de muestreo incluye: jeringa (A), agujas (B) y viales de recolección (C).

b. Análisis de los gases de combustión. El análisis original de los gases de combustión se realizó por medio de un cromatógrafo de gases (GC-MSD) marca Agilent Technologies modelo 6850 con detector espectrómetro de masas marca Agilent Technologies modelo 5975C VL-MSD.

Los parámetros de operación fueron el uso de una columna tipo DB-WAX, cuyas dimensiones son 30 m de largo, 0.25 mm de diámetro interno y 0.25 μm de recubrimiento. El gas acarreador utilizado fue helio (He) con un flujo de 1.4 mL/min. Se utilizó una temperatura de 200°C en el inyector y la muestra fue ingresada en modo splitless. En el horno se utilizó una rampa isotérmica a 30°C por 5 min. El detector utilizado fue de tipo espectrómetro de masas con detección de 10-500 unidades de masa, a una temperatura de 280°C.

Para la inyección de la muestra al cromatógrafo primero se lava o purga la jeringa, succionando y vaciándola 2 o 3 veces con aire. Luego se perfora la botella con la jeringa, se abre la llave de paso de la jeringa y se llena por completo, luego se cierra la llave y retira la jeringa. Se cierra la perforación utilizando cinta adhesiva (masking tape). Se inserta la jeringa en la septa de inyección, se abre la llave de paso de la jeringa y rápidamente se vacía su contenido al cromatógrafo. Se presiona el botón de inicio justo después de haber inyectado la muestra.

El análisis mejorado para los gases de combustión, utiliza un cromatógrafo de gases marca Agilent Technologies modelo 6890N con detector de conductividad térmica incluido. Las condiciones del método utilizadas fueron el uso de una columna tipo HP-PLOT Q de 30 m de largo, 0.32 mm de diámetro interno y 20 μm de recubrimiento. El gas acarreador utilizado fue nitrógeno (N_2) con un flujo de 8.0 mL/min. El inyector se trabajó a 100°C y el volumen de la muestra inyectada fue de 500 μL de modo splitless. El horno se utilizó con una rampa de temperatura de 60°C por 2 min, luego 30°C/min hasta 240°C y por último 240°C por 1 min. El detector utilizado fue de tipo conductividad térmica (TCD) y se trabajó a 250°C.

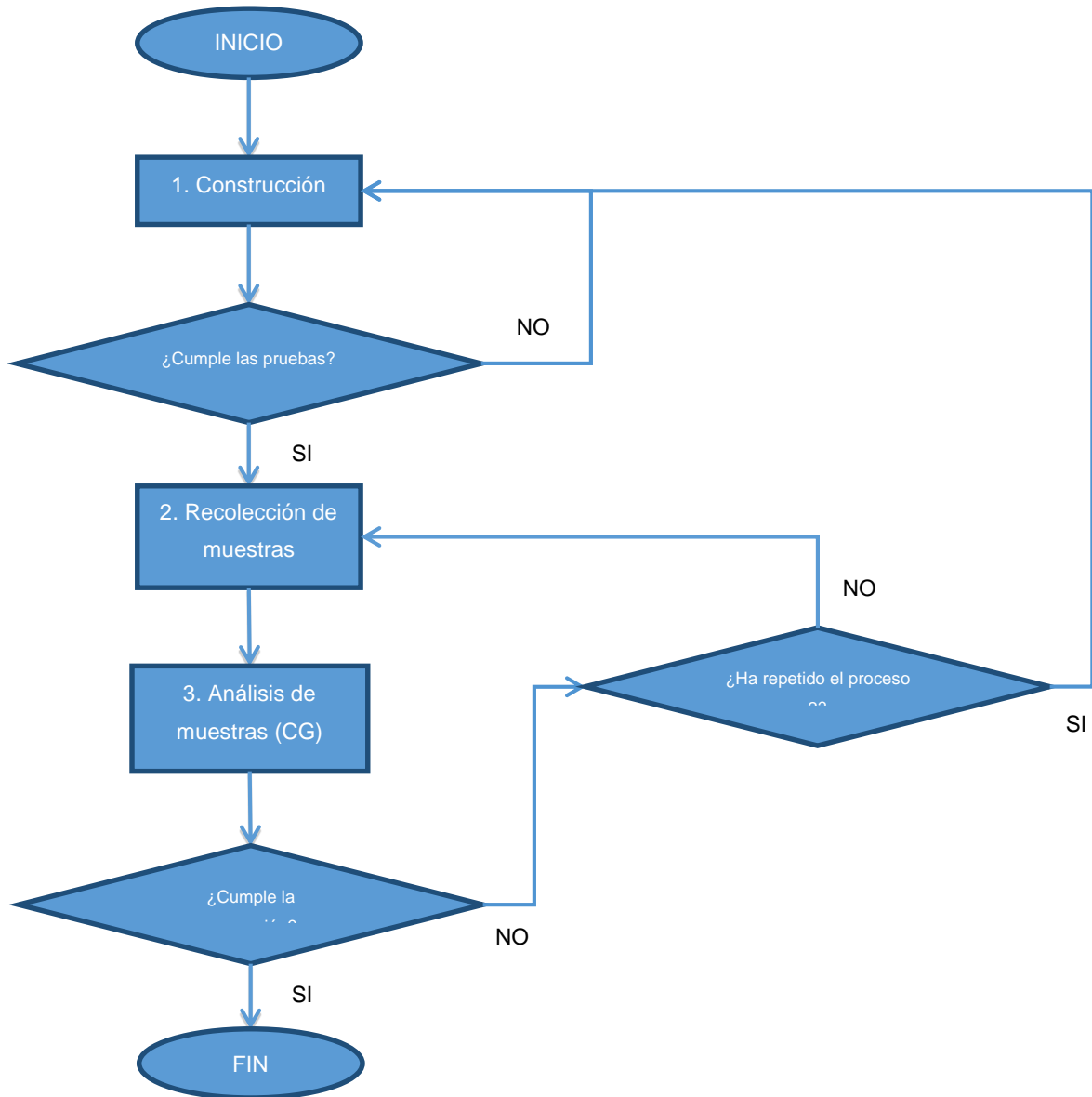
Para ingresar la muestra al cromatógrafo se lava la jeringa con aire, succionando y vaciándola 2 o 3 veces, luego se perfora el vial, se abre la llave de paso de la jeringa y se llena el volumen completo, luego se cierra la válvula. Se perfora la septa de inyección y se abre la llave de paso de la jeringa vaciando toda la muestra. Inmediatamente después se presiona el botón de inicio del cromatógrafo para iniciar el análisis.

5. **Diseño de experimento.** El análisis de resultados consistió en la realización de un diseño factorial de dos factores y dos niveles por cada factor, por medio del software The Unscrambler versión 10.3. Para esto se utilizaron los resultados obtenidos por medio del método de cromatografía de gases, para evaluar la eficiencia de conversión del convertidor para los gases del sistema. El resumen de las pruebas realizadas de forma aleatoria según el diseño realizado se muestra a continuación en la siguiente tabla. Los dos factores corresponden a la eficiencia de conversión para los picos 1 y 2 de los gases analizados, y los dos niveles a las variables de diseño que son el diámetro del catalizador y el flujo de aire en el motor. Todas las pruebas fueron llevadas a cabo en duplicado.

Cuadro 12. Condiciones de diseño factorial

No. prueba	Diámetro de convertidor (in)	Flujo de aire
1	3	medio
2	4	mínimo
3	4	máximo
4	2	mínimo
5	2	máximo
6	2	máximo
7	4	máximo
8	3	medio
9	2	mínimo
10	4	mínimo
11	3	medio

Figura 117. Diagrama de flujo para la metodología de la implementación del sistema de conversión de los gases de combustión.



VII. RESULTADOS

A. MÓDULO SENSORES

1. Diseño y módulos. Resultados de implementación de diseño.

a. Módulo Raspberry Pi

Figura 118: Módulo Raspberry Pi, armado. Implementación final. A la derecha sale el bus de 40 bits.



En la parte superior izquierda del módulo se aprecia el módulo de Wi-Fi.

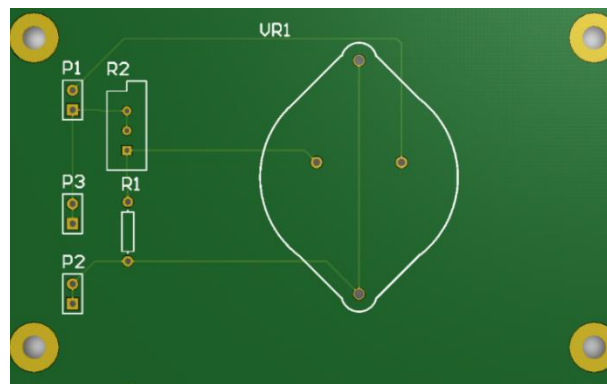
b. Pantalla. La pantalla despliega la interfaz gráfica programada para presentar datos de los sensores y cálculos de interés del piloto, según el modo seleccionado de despliegue de datos. La pantalla seleccionada tiene los siguientes datos técnicos.

Figura 119: Implementación final de pantalla LCD. Despliegue de datos en pantalla. Se puede apreciar el módulo de competencia.



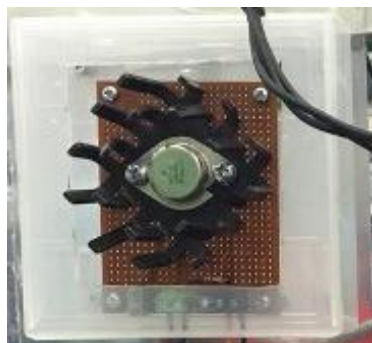
c. Módulo de regulación de voltaje. Este módulo regula de 12 volts DC a 5 volts DC, para alimentar a la Raspberry Pi B+, capaz de suministrar hasta 2 amperios de corriente.

Figura 120: Implementación final de módulo de regulación de voltaje.



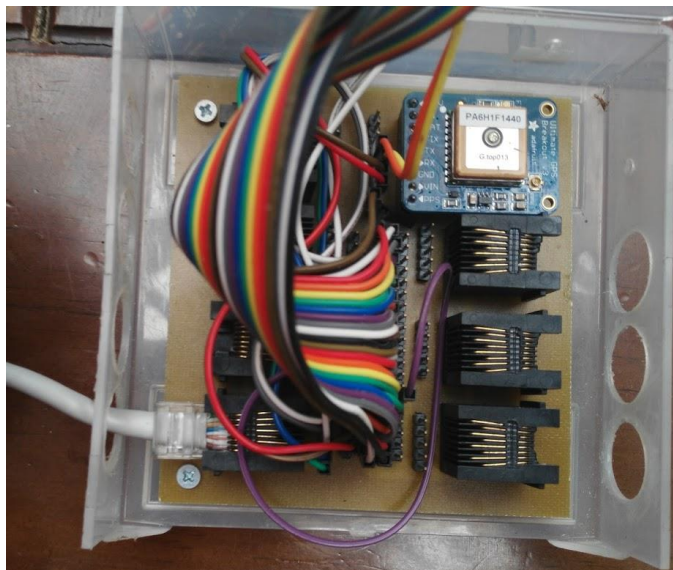
En la bornera P1 se conecta 12 Volts DC y 0 Volts DC. En la bornera P3 es salida de 0 Volts DC y en la bornera P2 es salida de 5 Volts DC.

Figura 121: Módulo regulación implementado. En un encapsulado plástico, con un disipador de calor.



d. Sub módulo conexiones

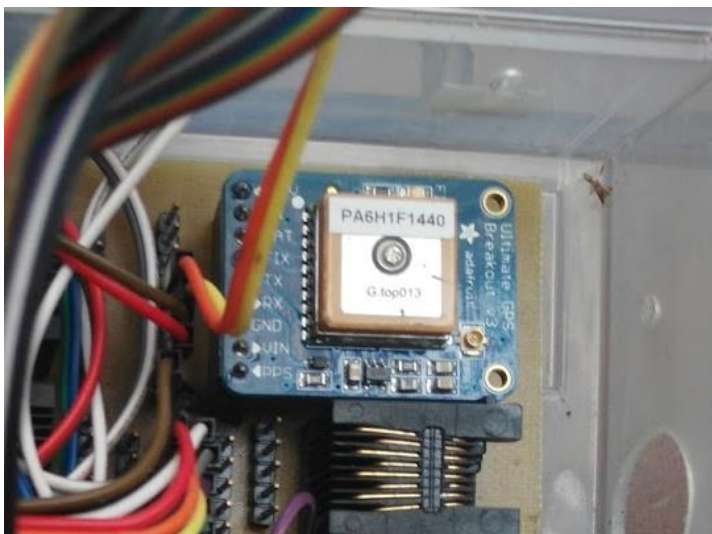
Figura 122. Implementación final de módulo de conexiones.



Se observa el bus de 40 pines (el bus de varios colores), un cable Ethernet proveniente de un sub módulo, el módulo GPS en la esquina superior derecha y varios puertos Ethernet para interconectar otros módulos. Los jumpers en la imagen interconectan las entradas de los puertos Ethernet con los pines del bus de 40 bits de la Raspberry pi.

e. Sub módulo de GPS

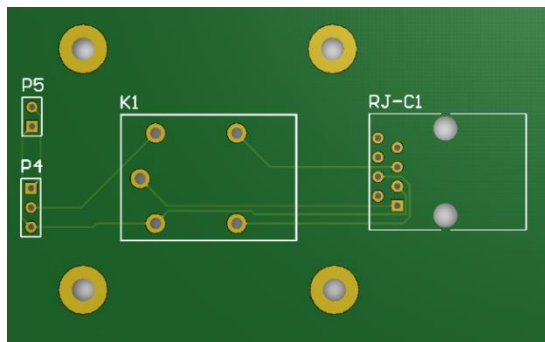
Figura 123: Módulo GPS, "Ultimate GPS Breakout V3" instalado en módulo de interconexiones.



Los pines del PCB se interconectan con el módulo de USB a EUSART TTL instalado en el módulo de la Raspberry.

f. Sub Módulo de RPM. Este módulo interconecta el sensor de RPM, un sensor inductivo de 12 Volts DC con el módulo de conexiones. Este permite que el sensor envíe un voltaje de 3.3 Volts a la Raspberry Pi B+ cada vez que el eje del motor realice una vuelta.

Figura 124. Implementación final de sub módulo de RPM.



Este tiene en la bornera P5 entradas para 12 Volts DC y 0 Volts DC. Y en la bornera P4 salidas de 12 Volts DC, 0 Volts DC y una entrada para la señal del sensor NO.

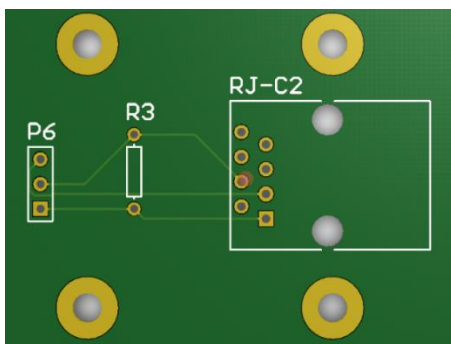
Figura 125. Sensor inductivo implementado, sensor NPN normalmente abierto de 12mm.



El sensor implementado tiene dos salidas, una NO y otra NC, se implementó la salida NO. Si alimentación es de 12 Volts DC.

g. Sub módulo de temperatura. Este módulo interconecta el sensor de temperatura DS18B20 (Integrated M. , 2015; Integrated m. , 2015) de encapsulado metálico, de 3.0/5.0 Volts DC con el módulo de conexiones. Este permite una resolución de 9 a 12 bits.

Figura 126. Implementación final de sub módulo de sensores.



Las borneras tienen salida de 3.3 Volts DC, 0 Volts DC y una entrada para la señal serial del sensor.

Figura 127: Sensor de temperatura DS18B20 en un encapsulado metálico.



Este se conecta a las borneras P6 de la figura.

h. Sub módulo de botones

Figura 128: Sub módulo de botones.



Con dos botones NO, un botón NC y un switch de tres posiciones NO. Todo encapsulado en una caja plástica. Teniendo de salida un cable con un conector RJ-45.

Figura 129: Sub módulo de botones.



Con dos botones NO (verdes), un botón NC (Rojo) y un switch de tres posiciones NO (negro).

2. Implementación final del módulo completo

Figura 130. Interconexión de módulo de interconexiones y módulo Raspberry.



Se aprecia la interconexión del módulo GPS en el módulo de interconexiones y su conexión con el módulo de USB a EUSART TTL instalado en el módulo Raspberry.

Figura 131: Especificaciones técnicas del módulo.

Ítem	Rango	Unidad
Voltaje de operación	12 V DC	V
Consumo máximo	3 A	A
Consumo mínimo	900 mA	mA
Humedad del ambiente	10%-80%	%
Temperatura de operación	0°C - 60°C	°C
Temperatura de almacenamiento	-40°C - 85°C	°C

Figura 132. Módulo de sensores fase I instalado en el automóvil.



Primero se aprecia el módulo de regulación, luego el módulo de interconexión y por último el módulo Raspberry.

Figura 133: Módulo de sensores completo.

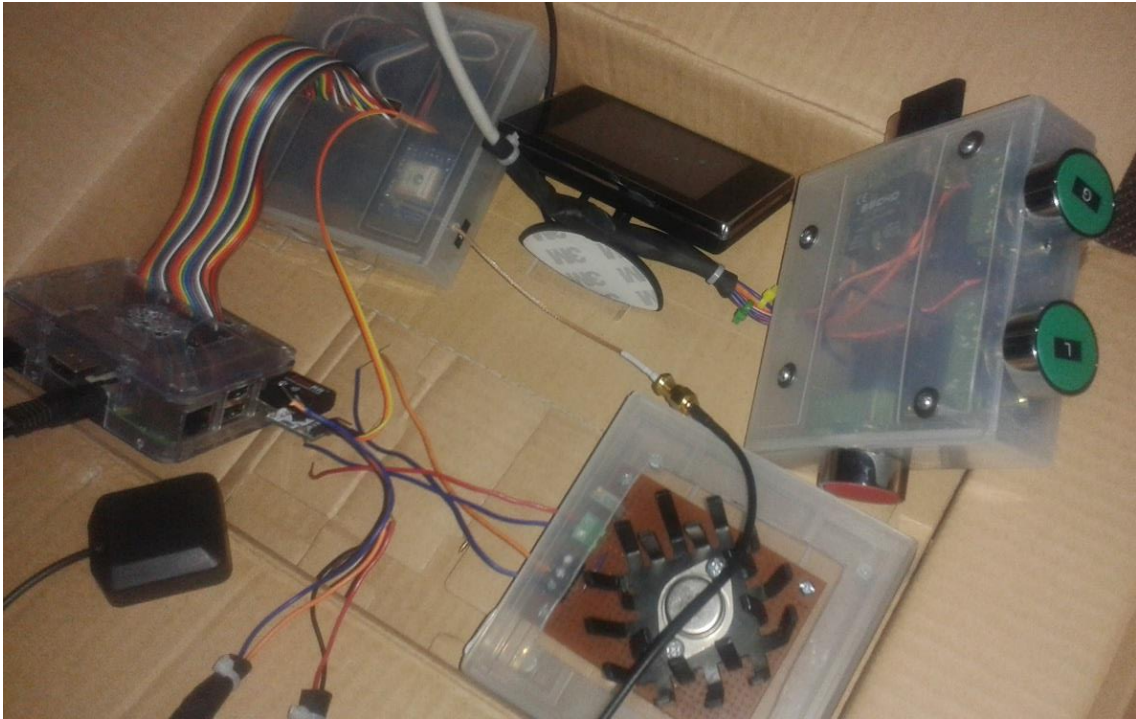
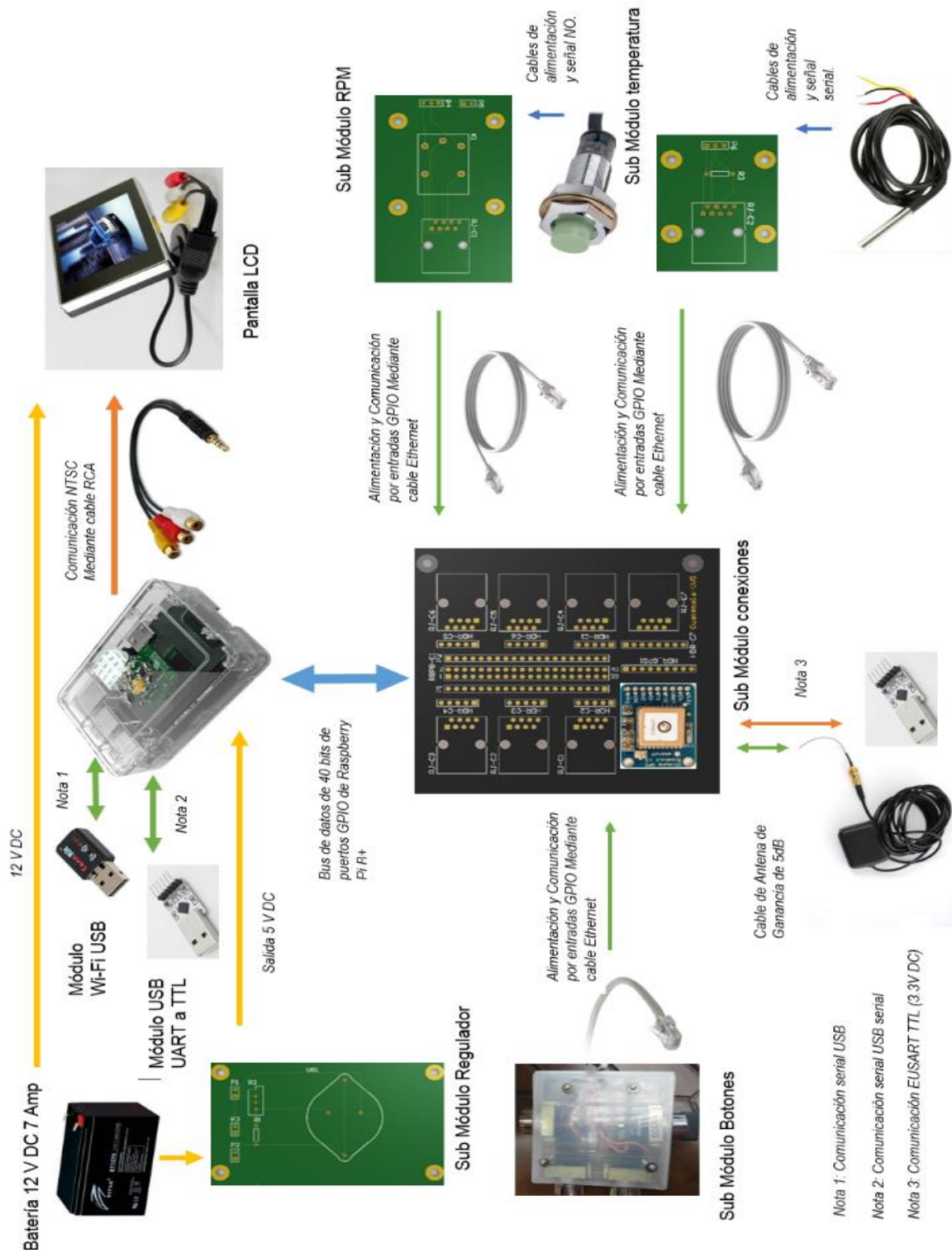


Figura 134: Módulos y sub módulos implementados, con sus respectivos sensores.



Se puede apreciar que en el sub módulo de conexiones está instalado el módulo GPS. Se puede apreciar mejor su interconexión con el módulo de Raspberry en la figura.

B. MÓDULO TRANSMISIÓN DE DATOS INALÁMBRICO

1. Caracterización de la señal a transmitir. La caracterización brinda las características esenciales sobre los 10 sensores que posee la unidad de control así como la señal final que proviene del puerto Rs232. A continuación se presenta una tabla con la información obtenida.

Cuadro 13. Información sobre la señal de salida del puerto RS232 de la unidad de control ECU.

Descripción	Especificación
Formato de la señal proveniente del puerto RS232	Hexadecimal
Baud Rate de la señal proveniente del puerto RS232	115200
Bit de paridad	No posee bit de paridad
Numero de bits por información	8 bits
Stop bit	1 Stop bit
Intervalo de tiempo	100 ms

Se brinda un ejemplo con un paquete de información enviado por la unidad de control a través del puerto RS232. Se utiliza para determinar su estructura y los valores que genera cada uno de los sensores.

El paquete de información es (Buf[27]):

80 8F EA 16 50 08 00 00 6D 90 0F 00 0A 00 0A C0 00 5C 00 28 00 00 00 00 08 6F 42

Cuadro 14. Datos específicos de los paquetes enviados por la unidad de control, incluyendo los 10 sensores que este posee.

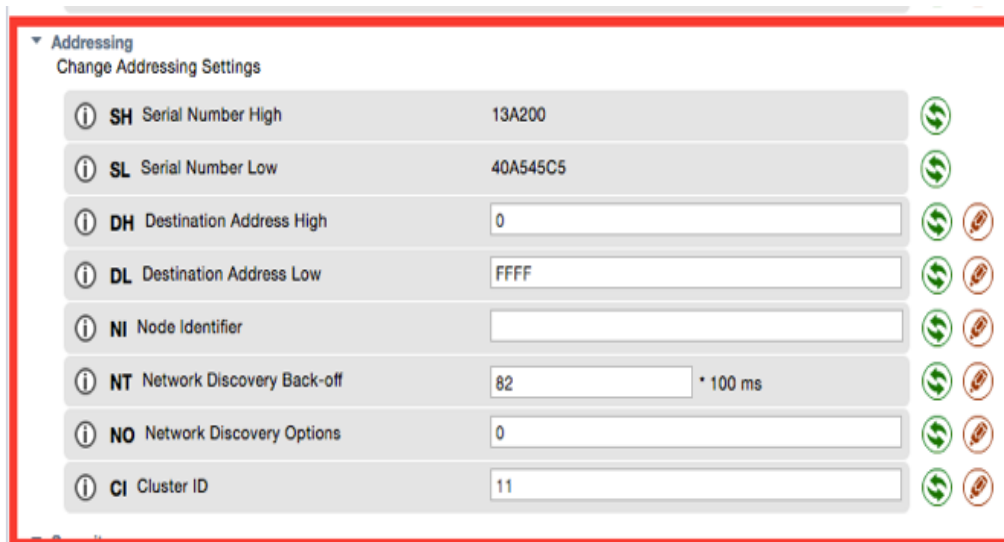
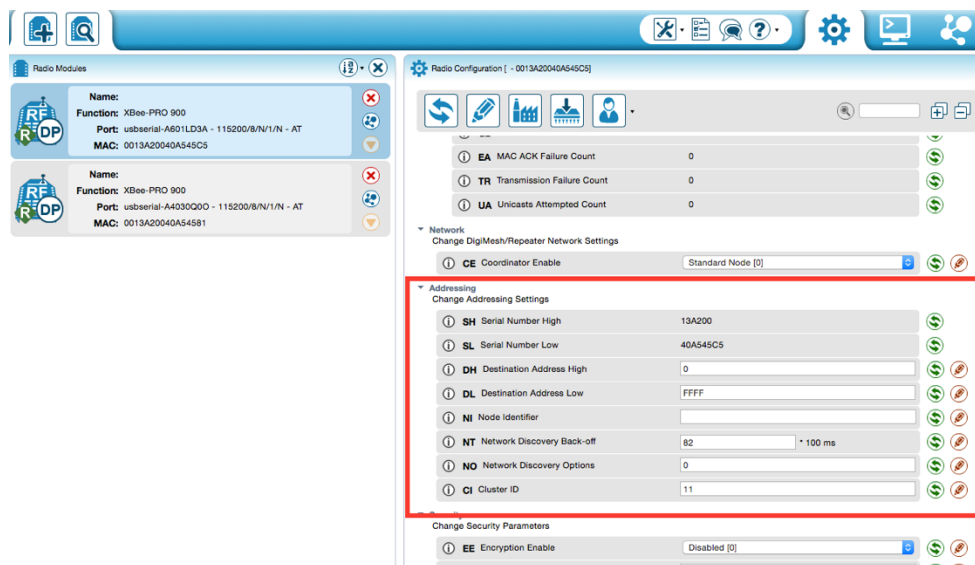
Rojo: Encabezado	80 8F EA 16 50 08(Buf[0]--Buf[5])
Azul: Los datos(word) Byte alto primero	<p>00 00 (RPM)Buf[6] Buf[7] Valor físico = ((high byte)*256 + low byte)/4</p> <p>6D 90 (MAP) Buf[8] Buf[9] Valor físico = ((high byte)*256 + low byte)/256</p> <p>0F 00 (TPS) Buf[10] Buf[11] Valor físico = ((high byte)*256 + low byte)/655.36</p> <p>0A 00 (ECT) Buf[12] Buf[13] Valor físico = ((high byte)*256 + low byte) - 40</p> <p>0A C0 (IAT) Buf[14] Buf[15] Valor físico = ((high byte)*256 + low byte) - 40</p> <p>00 5C (O2S) Buf[16] Buf[17] Valor físico = ((high byte)*256 + low byte)/204.8</p> <p>00 28 (SPARK) Buf[18] Buf[19] Valor físico = ((high byte)*256 + low byte)/2</p> <p>00 00 (FUELPW1) Buf[20] Buf[21] Valor físico = ((high byte)*256 + low byte)/1000</p> <p>00 00 (FUELPW2) Buf[22] Buf[23] Valor físico = ((high byte)*256 + low byte)/1000</p> <p>08 6F (UbAdc) Buf[24] Buf[25] Valor físico = ((high byte)*256 + low byte)/160</p> <p>(Buf[6]--Buf[25])</p>
Green: the checksum	Checksum = Buf[26] =Buf[0]+Buf[1]+...+Buf[25]

(Ecotrons, 2015)

Con esta información de la señal proveniente del puerto serial y los valores físicos correspondientes a cada sensor, es posible realizar modificaciones a la misma si se llegara a requerir. Asimismo es posible interpretarla y por ende procesarla y transmitirla inalámbricamente.

2. Configuración final módulos Xbee

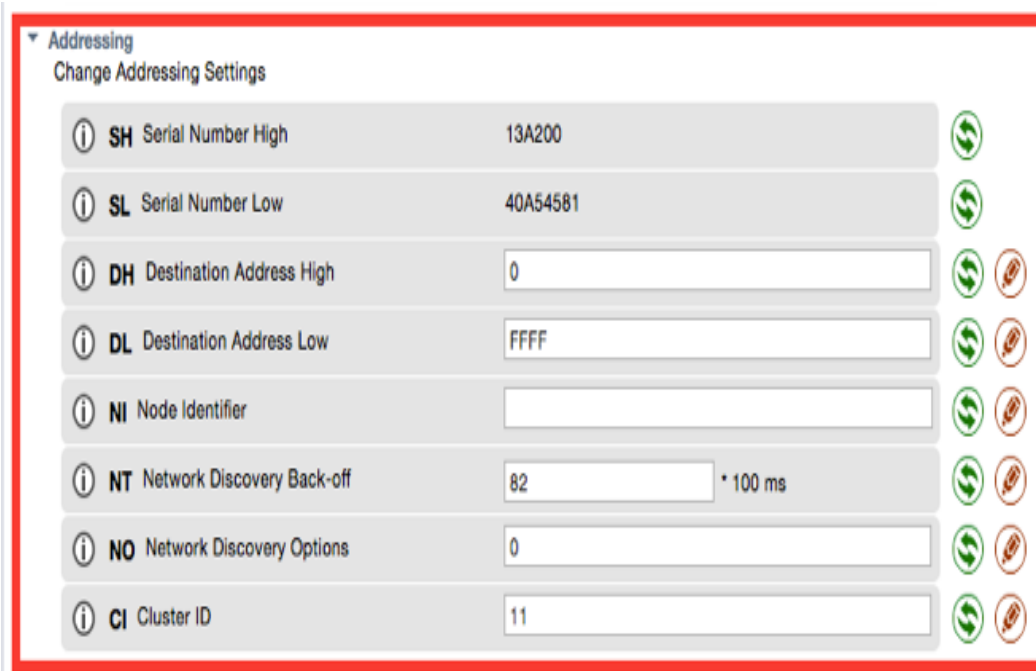
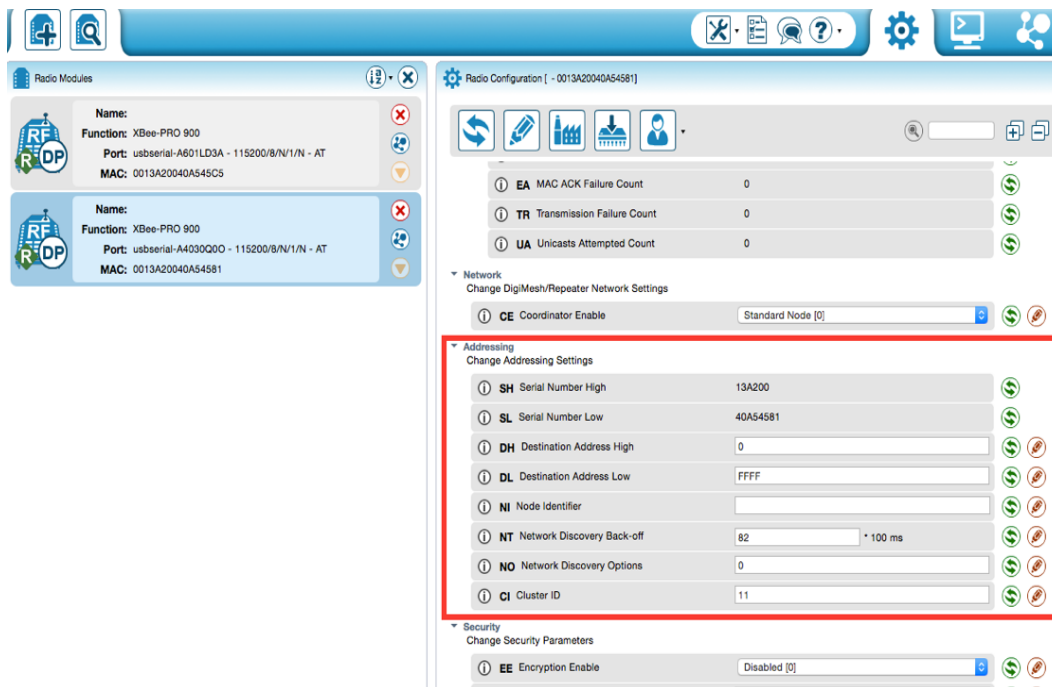
Figura 135. Configuración de direcciones para los módulos Xbee transmisor⁵



⁵ La primera imagen muestra la configuración de direccionamiento para el módulo transmisor, la imagen inferior únicamente es un zoom de los datos mostrados por el rectángulo rojo.

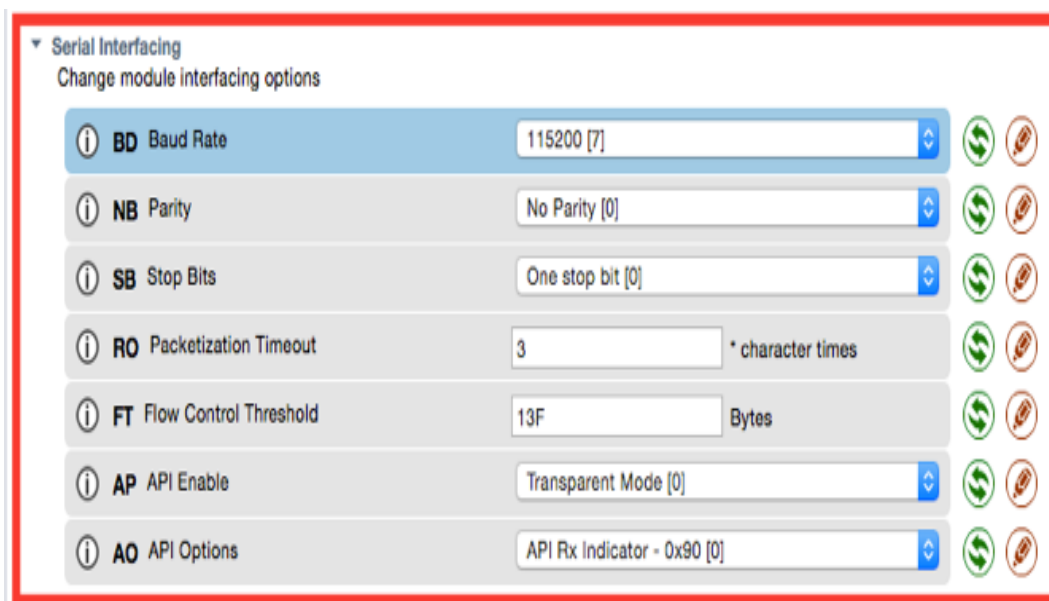
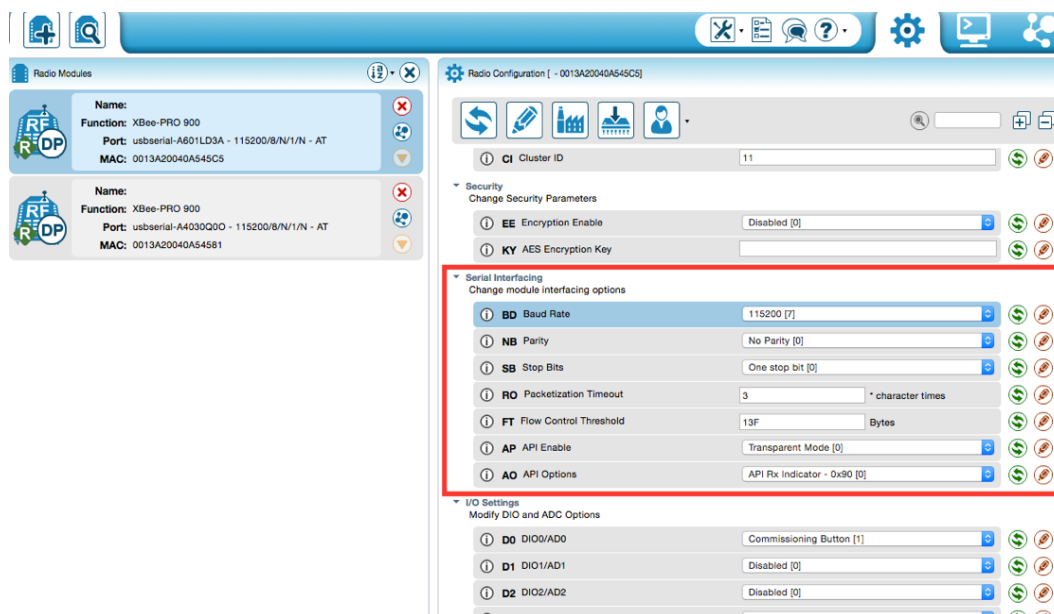
El rectángulo rojo resalta la configuración de direccionamiento.

Figura 136. Configuración de direcciones para módulos Xbee receptor⁶



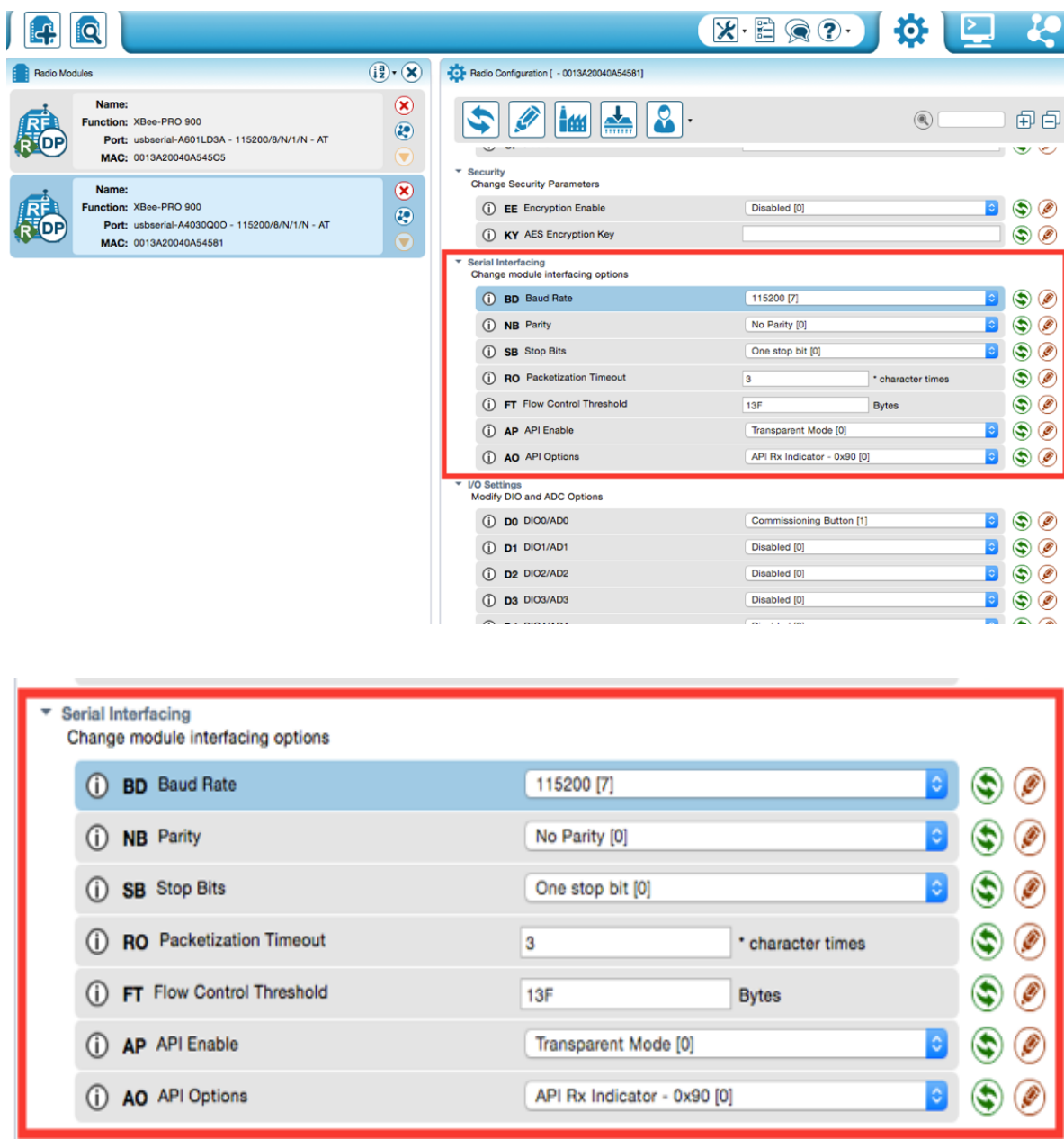
⁶ La primera imagen muestra la configuración de direccionamiento para el módulo receptor, la imagen inferior únicamente es un acercamiento de los datos mostrados por el rectángulo rojo.

El rectángulo rojo resalta la configuración de direccionamiento.

Figura 137. Configuración interfaz serial para módulos Xbee transmisor⁷

⁷ La primera imagen determina la configuración propia de interfaz serial para el módulo transmisor, la imagen inferior únicamente es un acercamiento de los datos mostrados por el rectángulo rojo.

El rectángulo rojo resalta la configuración de interfaz serial en donde sobresale el baudrate a 115200 y el tiempo de paquetización.

Figura 138. Configuración interfaz serial para módulos Xbee receptor⁸

⁸ La primera imagen determina la configuración propia de interfaz serial para el módulo receptor, la imagen inferior únicamente es un acercamiento de los datos mostrados por el rectángulo rojo.

El rectángulo rojo resalta la configuración de interfaz serial en donde sobresale el baudrate a 115200 y el tiempo de paquetización.

Figura 139. Configuración identificador de red para módulos Xbee transmisor⁹

The image displays the configuration interface for Xbee modules. The top section shows two radio modules with their respective details:

- Module 1:** Name: XBee-PRO 900, Function: XBee-PRO 900, Port: usbserial-A601LD3A - 115200/B/N/1/N - AT, MAC: 0013A20040A545C6
- Module 2:** Name: XBee-PRO 900, Function: XBee-PRO 900, Port: usbserial-A4030Q00 - 115200/B/N/1/N - AT, MAC: 0013A20040A54581

The main configuration area is titled "Radio Configuration [- 0013A20040A545C6]". It includes a "Firmware information" section and a "MAC/PHY" section. The "MAC/PHY" section is expanded to show "Change MAC/PHY Settings".

The "MAC/PHY" settings are as follows:

Setting	Value	Status
HP Hopping ID	0	Written and default
ID Network ID	7FFF	Written and not default
MT Broadcast Multi-Transmits	3	Changed but not written
RR Unicast Retries	A	Changed but not written

The "Diagnostic - MAC Statistics and Timeouts" section shows the following values:

Statistic	Value	Status
BC Bytes Transmitted	21A0	OK
DB Last Packet RSSI	0	OK
ER Receive Error Count	0	OK
GD Good Packets Received	0	OK
EA MAC ACK Failure Count	0	OK
TR Transmission Failure Count	0	OK
UA Unicasts Attempted Count	0	OK

The bottom image is a zoomed-in view of the "MAC/PHY" settings, highlighting the "ID Network ID" field with a red rectangle, showing the value "7FFF".

⁹ La imagen superior muestra la configuración de identificador de red para el módulo transmisor, la imagen inferior únicamente es un acercamiento de los datos mostrador por el rectángulo rojo.

El rectángulo rojo resalta la identificación propia de la red.

Figura 140. Configuración identificador de red para módulos Xbee receptor¹⁰

The screenshot displays the 'Radio Configuration' window for a specific Xbee module (ID: -0013A20040A54581). On the left, under 'Radio Modules', two modules are listed:

- Module 1: Name: Xbee-PRO 900, Function: XBee-PRO 900, Port: usserial-A601LD3A - 115200/8/N/1/N - AT, MAC: 0013A20040A545C5
- Module 2: Name: Xbee-PRO 900, Function: XBee-PRO 900, Port: usserial-A4030Q00 - 115200/8/N/1/N - AT, MAC: 0013A20040A54581

The right pane shows the configuration for the selected module. Under 'Firmware information', the details are:

- Product family: XBPO9-DP
- Function set: XBee-PRO 900
- Firmware version: 1067

Under 'MAC/PHY' settings, the 'ID Network ID' field is highlighted with a red rectangle and contains the value '7FFF'. Other settings include:

- HP Hopping ID: 0
- MT Broadcast Multi-Transmits: 3
- RR Unicast Retries: A

Below these settings, a 'Diagnostic - MAC Statistics and Timeouts' section shows various metrics, all with values of 0 or 418, and status icons indicating they are written and default.

This is a close-up view of the 'MAC/PHY' settings section. The 'ID Network ID' field is highlighted with a red rectangle and contains the value '7FFF'. The other settings are:

- HP Hopping ID: 0
- MT Broadcast Multi-Transmits: 3
- RR Unicast Retries: A

¹⁰ La imagen superior muestra la configuración de identificador de red para el módulo receptor, la imagen inferior únicamente es un acercamiento de los datos mostrador por el rectángulo rojo.

El rectángulo rojo resalta la identificación propia de la red.

3. Pruebas de transmisión

Figura 141. Prueba de alcance del módulo de trasmisión en Colonia Monserrat I Mixco, Guatemala, vehículo, estación

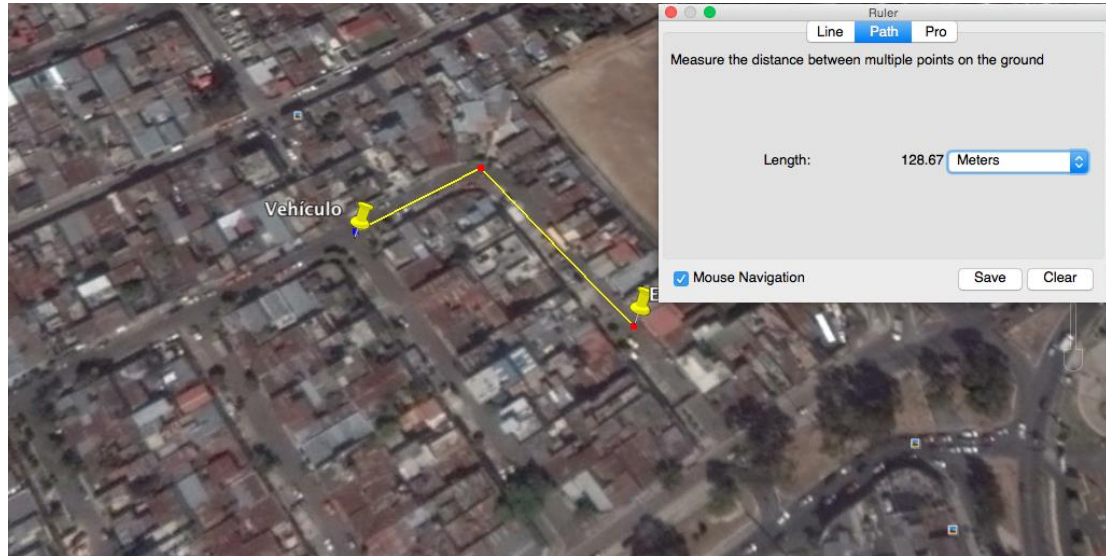


Figura 142. Prueba en Antigua Guatemala

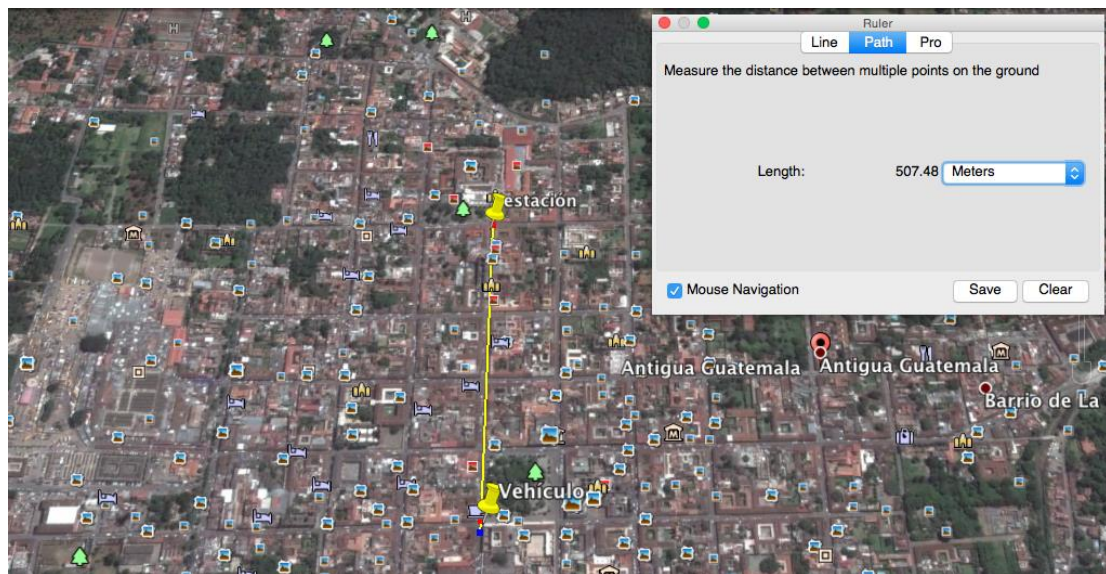


Figura 143. Imagen de la prueba en Antigua Guatemala desde la aplicación de Waze. ¹¹



Figura 144. Ensamble de sistema motor-ECU



¹¹ La calle de color rojo determina el lugar en donde se realizó la prueba.

Figura 145. Unidad de control acoplada al motor



Figura 146. ECU conectado directamente

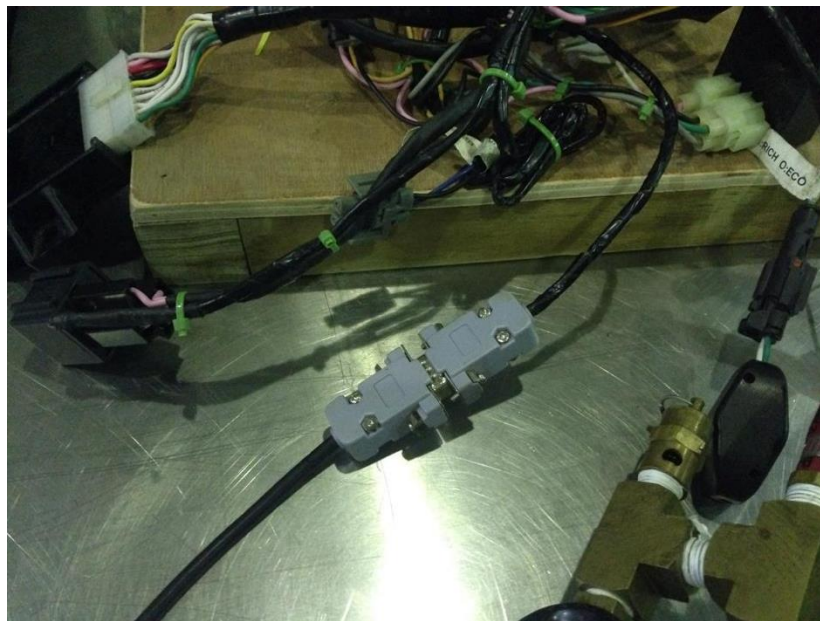


Figura 147. Conexión a computadora con software de interpretación



Figura 148. Adaptadores para transmisor conectados al ECU.

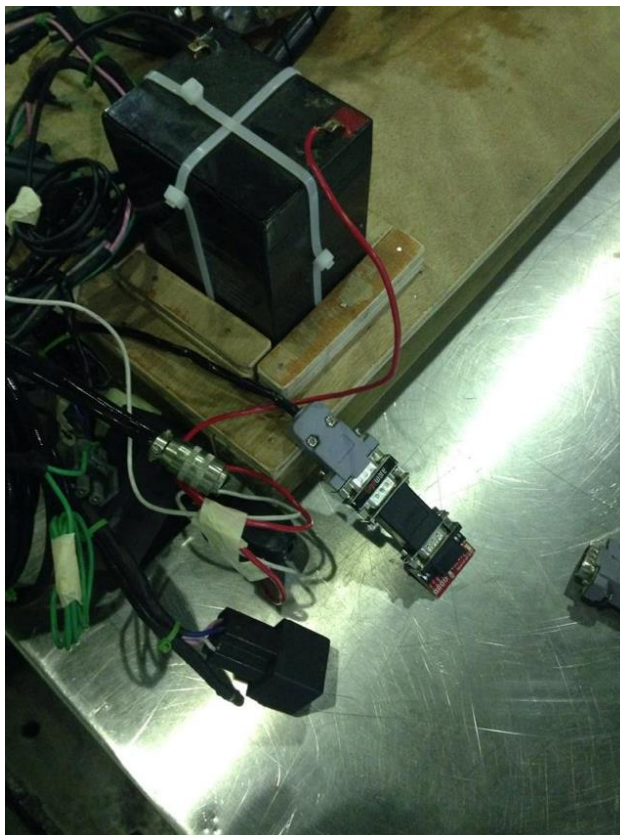
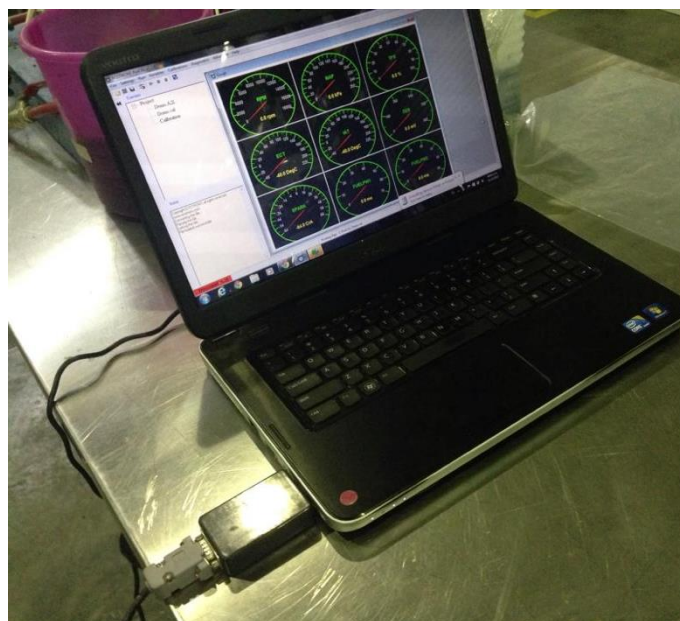
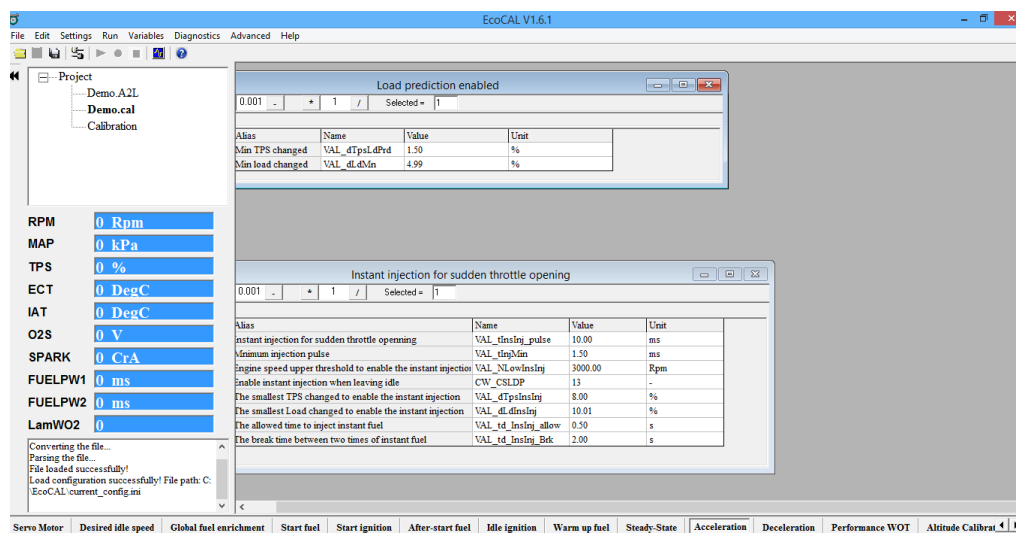


Figura 149. Acople conectado a receptor

Figura 150. Inicio de transferencia de datos¹²

¹² La imagen despliega la interfaz gráfica del software de interpretación de la unidad de control, al momento de iniciar la transferencia de datos inalámbrica.

Figura 151. Nueva interfaz gráfica¹³

C. MÓDULO EMBRAGUE CENTRÍFUGO

A continuación se presenta un resumen de los datos obtenidos del mecanismo centrífugo.

Cuadro 15. Características obtenidas del mecanismo centrífugo.

Dato	Valor
Torque teórico a 5000 r.p.m	2.67 N*m
Masa teórica de zapata	26 g (real 28 g)
Área superficial de la superficie de fricción	778.77 mm ²
Fuerza que ejerce la zapata sobre el tambor	188.18 N
Presión que ejercen las zapatas sobre el tambor.	366.58 KPa
Espesor del tambor	5 mm
Tiempo de sincronía	1.011 segundos
Energía disipada hasta las r.p.m optimas	419.51 J

¹³ La imagen muestra la nueva interfaz gráfica del software de interpretación. La figura 37 despliega la interfaz vieja, ambas pueden ser utilizadas y despliegan la misma información únicamente cambia el aspecto visual.

Aumento de temperatura en un accionamiento	4.99 °C
Aumento de temperatura en accionamientos múltiples	201.58 °F ó 93.88 °C

Basado en los datos mencionados en el cuadro anterior, es importante destacar algunos aspectos:

- I. La masa de la zapata es muy similar a la que se requiere para transmitir el torque y la potencia del motor utilizado de 28 gr (incluyendo el mecanismo de unión).
- II. Las presiones que ejercen las zapatas sobre el tambor no ocasionan esfuerzos críticos y los esfuerzos que ocasionan están muy por debajo del esfuerzo máximo de flexión del material.
- III. El espesor del tambor fue determinado con un factor de seguridad de 2, lo que condujo a un diseño seguro y que no sufre de altas deformaciones.
- IV. El tiempo de sincronía es muy pequeño lo que causa que la energía disipada en el accionamiento sea muy pequeña y por ello se aumenta la eficiencia del vehículo.
- V. El aumento de temperatura en un único accionamiento es de aproximadamente 5°C el cual es un valor muy pequeño y no afecta al rendimiento del vehículo.
- VI. El aumento de temperatura en accionamientos múltiples se calculó suponiendo que el embrague se acciona 10 veces en 45 minutos, este dato es debido a que en la competencia los vehículos únicamente aceleran para ganar una velocidad considerable y así apagar el motor para movilizarse únicamente con el impulso ganado, lo que reduce significativamente el consumo de combustible. También es importante resaltar que el aumento de temperatura esta muy por debajo del máximo permisible por el asbesto (500°F).

A continuación se muestran algunas imágenes del proceso de maquinado del tambor y del eje, cada una con una breve explicación del proceso.

Figura 152. Izquierda: Proceso de corte del material para tambor. Derecha: material del tambor luego de realizar un taladrado y un vaciado en el interior.



Figura 153. Izquierda: tambor completamente maquinado vista superior. Derecha: tambor completamente maquinado vista inferior.



Figura 154. Izquierda: desbastado para obtener la cabeza cónica. Derecha: proceso de manufactura de cuña.



El proceso de manufactura fue realizado en el taller de maquinas y herramientas de la Universidad del valle de Guatemala.

El mecanismo comprado desarmado se presenta en la siguiente imagen. Este mecanismo como se mostro en los cálculos es ideal para trabajar en este motor.

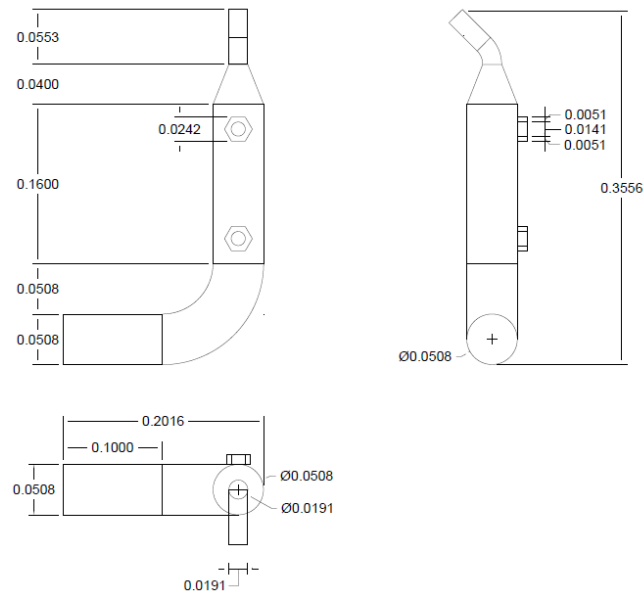
Figura 155. Mecanismo centrífugo desarmado.



D. MÓDULO CONVERTIDOR CATALÍTICO

1. Diseño y construcción de convertidor catalítico. Se muestran a continuación los planos 2D y 3D para el diseño del convertidor. Así como los valores típicos de presión y temperatura del sistema.

Figura 156. Diseño final de convertidor catalítico en sistema de escape, vistas de planta, alzado y lateral.



*Unidad de medidas en metros.

Figura 157. Diseño final de convertidor catalítico, vista de planta en modelo 3d.

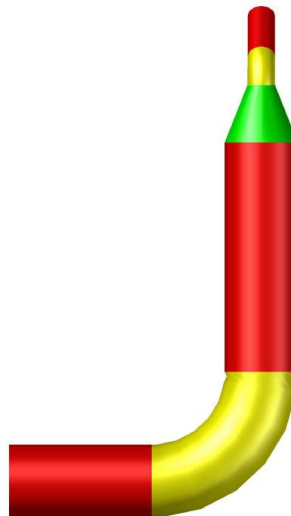
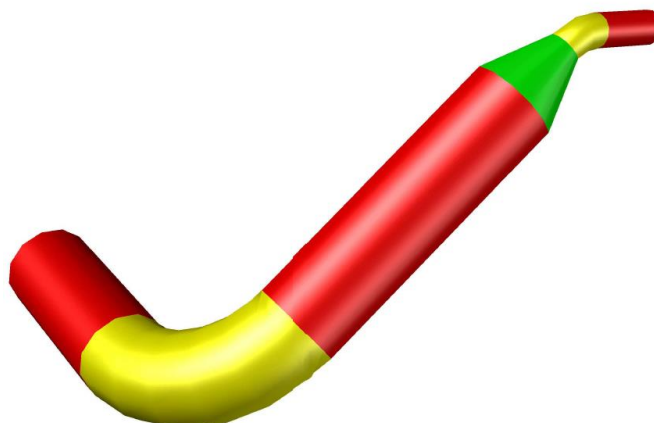


Figura 158. Diseño final de convertidor catalítico, vista en perspectiva de modelo 3d.



Cuadro 16. Temperaturas promedio de muestras analizadas por gc-tcd para el sistema carburado con gasolina.

Diámetro (cm)	Flujo de aire (posición)	T gases (°C)
2	Mínimo	255.0
	Máximo	217.5
3	Medio	235.0
4	Mínimo	233.7
	Máximo	203.7

Cuadro 17. Presiones para muestras analizadas por gc-tcd para el sistema carburado con gasolina.

Diámetro (cm)	Flujo de aire (posición)	P gases (psig)
2	Mínimo	0.14
	Máximo	0.17
3	Medio	0.05
4	Mínimo	0.05
	Máximo	0.12

2. **Conversión de gases de combustión.** Los resultados mostrados en el Cuadro 18 fueron obtenidos con el analizador de gases Enerac para el sistema carburado con gasolina, que buscó identificar los compuestos presentes en los gases de combustión. Las conversiones pueden tomar un valor negativo, debido a la convención de su cálculo (mostrado en la sección XII de Anexos). Un valor negativo, corresponde a una disminución de la concentración del gas después del catalizador (salida) respecto a su valor antes del catalizador (entrada). Por lo tanto, un valor positivo corresponde a un aumento.

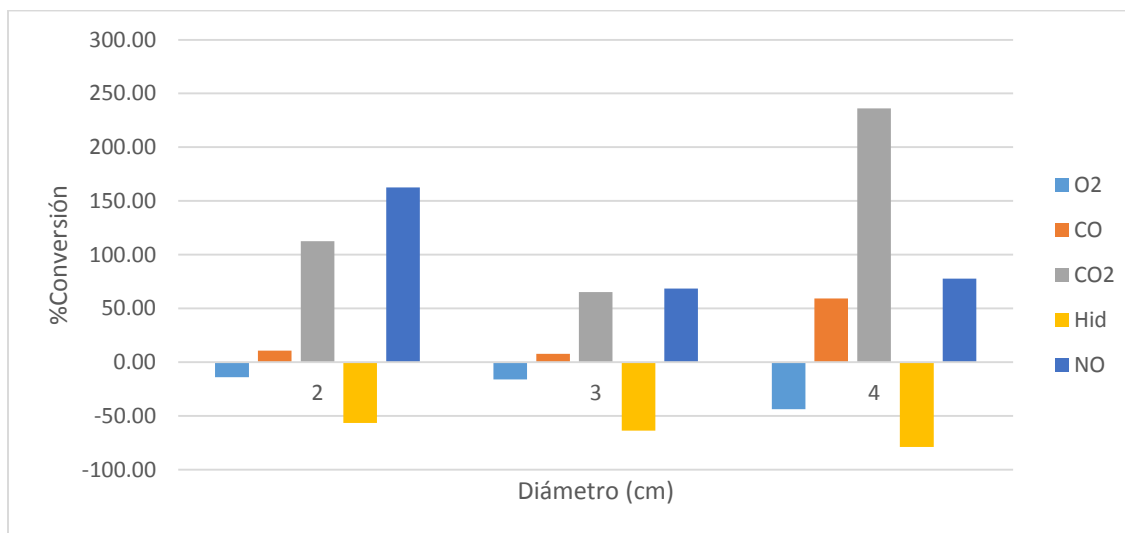
Cuadro 18. Resultados de conversión de los gases de escape con analizador de gases Enerac para el sistema carburado con gasolina.

Diámetro de catalizador (cm)	Flujo de aire (posición)	%Conv.* O ₂	%Conv. CO	%Conv. CO ₂	%Conv. HID**	%Conv. NO
2	Mínimo	-13.88	10.75	112.50	-56.47	162.50
	Máximo	-0.82	-18.44	24.49	-41.15	52.50
3	Medio	-15.98	7.73	65.22	-63.57	68.42
4	Mínimo	-43.75	59.17	236.00	-78.93	77.78
	Máximo	-1.87	-26.41	40.00	-73.68	62.50

*%Conv: porcentaje de conversión del compuesto analizado.

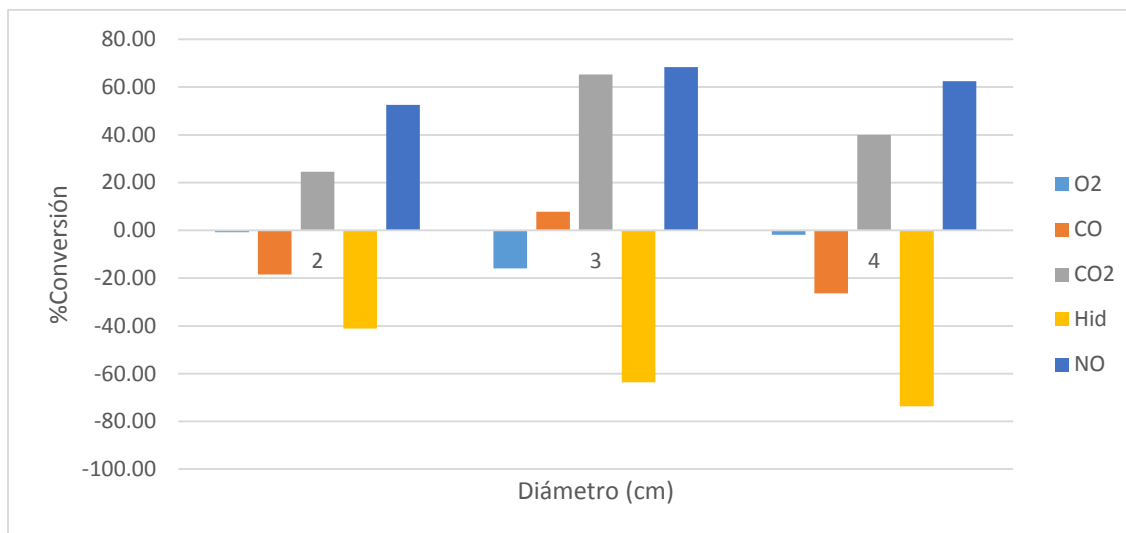
**Hid: hidrocarburos.

Figura 159. Porcentaje de conversión de G.C.T. con flujo mínimo y medio para los 3 CC con analizador de gases.



*CC: convertidor catalítico. **G.C.T.: gas de combustión tóxico analizado.

Figura 160. Porcentaje de conversión promedio de G.C.T. con flujo máximo y medio para los 3 CC con analizador de gases.



La conversión de los gases de combustión se muestran a continuación por cada uno de los gases de combustión tóxicos (G.C.T.) analizados por cg-tcd para el sistema carburado con gasolina. Las conversiones pueden tomar un valor negativo, debido a la convención de su cálculo (mostrado en la sección XII de Anexos). Un valor negativo, corresponde a una disminución del área porcentual relativa (A.P.R) después del catalizador (salida) respecto a su valor antes del catalizador (entrada). Por lo tanto, un valor positivo corresponde a un aumento.

Cuadro 19. Resultados promedio de conversión del G.C.T. 1 con cg-tcd para el sistema carburado con gasolina.

Diámetro de catalizador (cm)	Flujo de aire (posición)	A.P.R.* de G.C.T.+ 1 antes de CC ⁺⁺	A.P.R. de G.C.T. 1 después de CC	%Conversión G.C.T. 1
2	Mínimo	92.7611	93.9311	1.26
	Máximo	93.7358	89.3474	-4.70
3	Medio	92.9316	94.5482	1.74
4	Mínimo	91.4066	96.5694	5.65
	Máximo	91.7640	90.9040	-0.93

*A.P.R.: área porcentual relativa del pico correspondiente a un compuesto.

+G.C.T.: gas de combustión tóxico analizado.

**CC: convertidor catalítico

Cuadro 20. Resultados promedio de conversión del G.C.T. 2 con cg-tcd para el sistema carburado con gasolina.

Diámetro de catalizador (cm)	Flujo de aire (posición)	A.P.R. de G.C.T. 2 antes de CC	A.P.R. de G.C.T. 2 después de CC	%Conversión G.C.T. 2
2	Mínimo	3.1699	4.8592	53.34
	Máximo	3.9784	9.0416	123.40
3	Medio	3.30602	4.2347	28.85
4	Mínimo	4.0052	2.7558	-30.95
	Máximo	5.1419	7.7484	51.03

Figura 161. Porcentaje de conversión promedio de G.C.T. 1 con flujo mínimo y medio para los 3 CC.

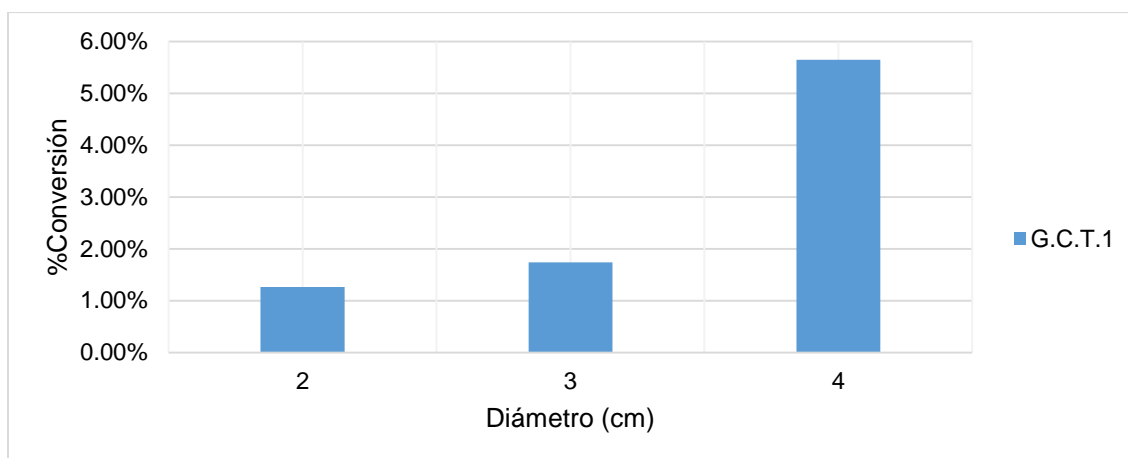


Figura 162. Porcentaje de conversión promedio de G.C.T. 1 con flujo máximo y medio para los 3 CC.

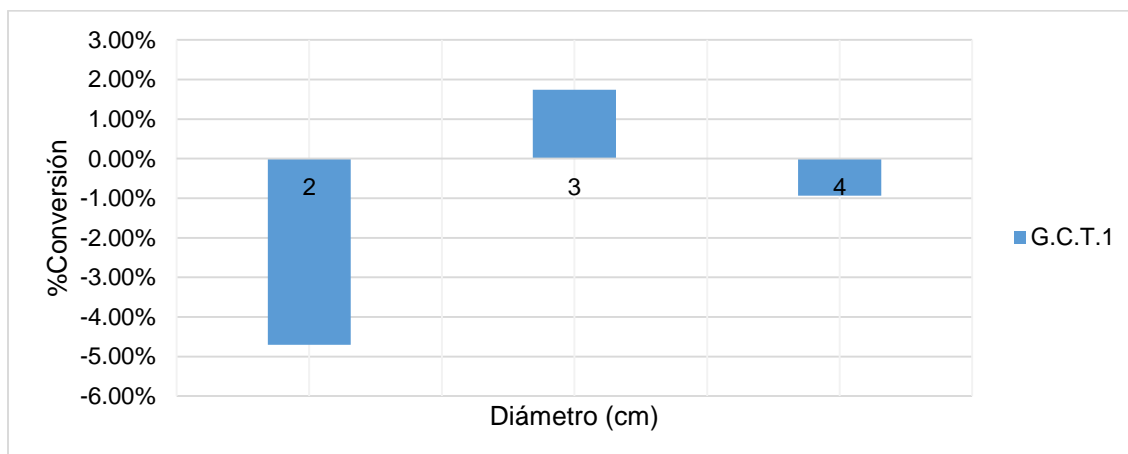


Figura 163. Porcentaje de conversión promedio de G.C.T. 2 con flujo mínimo y medio para los 3 CC.

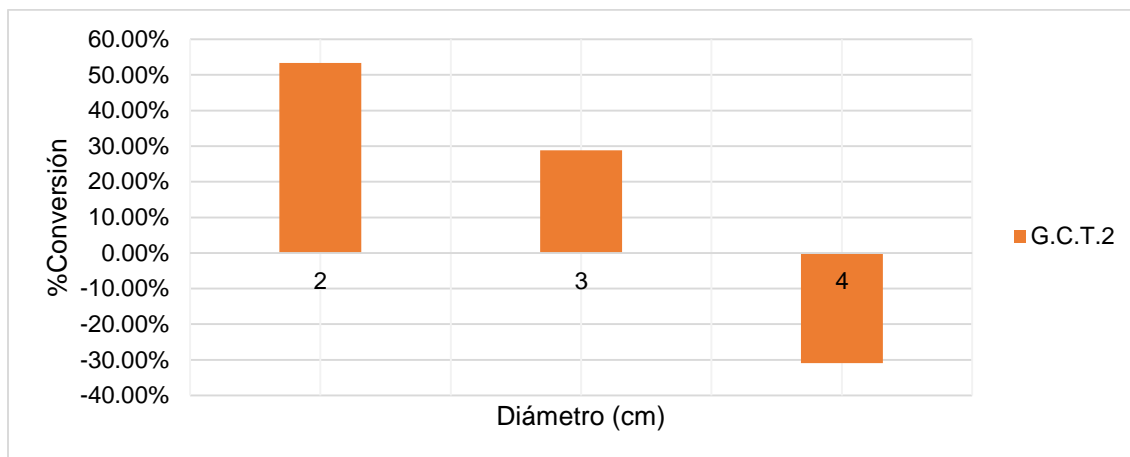
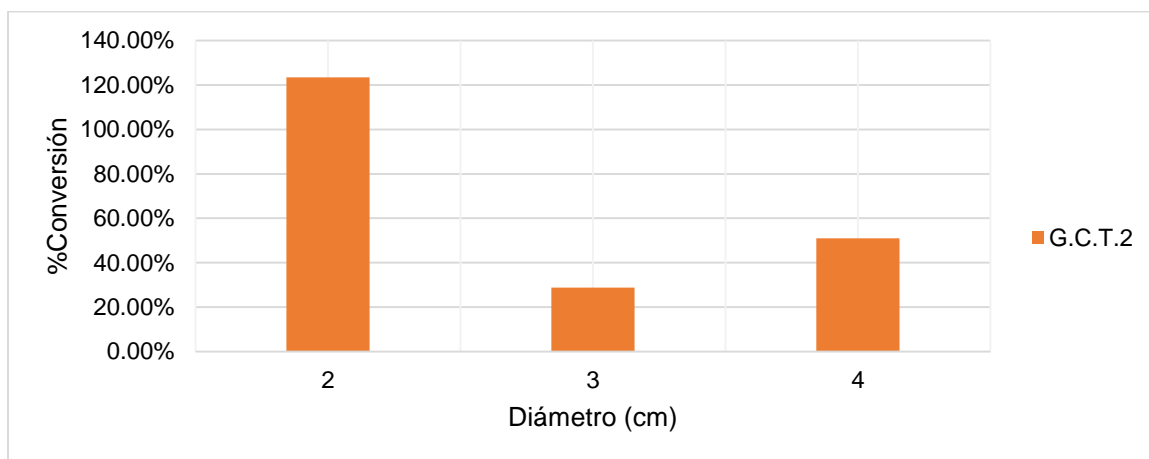


Figura 164. Porcentaje de conversión promedio de G.C.T. 2 con flujo máximo y medio para los 3 CC.



Los resultados del análisis del diseño experimental se muestran en la tabla a continuación, por medio de los valores-p del análisis estadístico realizado por el software The Unscrambler X. Se muestra la significancia de cada variable independiente del diseño.

Cuadro 21. Resultados diseño experimental, valores-p para cada respuesta en función de la variable analizada.

Variable	Respuesta	
	Conversión 1	Conversión 2
Diámetro	0.8650	0.9139
Flujo de aire	0.0028	0.0038

VIII. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A. MÓDULO SENSORES

Lo primero se realizó un análisis del módulo existente. Dicho módulo utilizaba un Arduino y tenía un PCB que únicamente tenía entradas con RJ-45 y borneras para una cantidad muy limitada de sensores. La pantalla que utilizaba era una LCD a colores, dicha pantalla además de ser muy pequeña, impedía que el piloto pudiera ver de manera fácil los datos desplegados en ella. También tenía el inconveniente de tener un LAG para presentar datos en pantalla y estaba quebrada la misma. Este módulo integraba el Arduino, el GPS, memoria SD, regulador de voltaje y puertos RJ-45 en un solo PCB. Al momento de querer mejorar alguna parte de este módulo se tenía que hacerse un nuevo PCB, tanto para cambiar alguno de los componentes como para utilizar otros GPIO del Arduino. Este sistema estaba instalado en el área del motor.

Al momento de querer hacer mejoras no se puede re utilizar el módulo existente. Por lo cual se empezó el proceso de diseño de un nuevo módulo. Este diseño se empezó realizado un diagrama de bloques de como estaría estructurado el módulo completo. Como se puede apreciar en la Figura 63. Se estructuro de tal manera hubiera sub módulos que se interconectarán con el módulo de procesamiento, en este caso una Raspberry Pi B+.

Se decidió utilizar un SBC para realizar el proyecto, dado que este no solo ocupa poco espacio, sino además proporciona mucha capacidad de procesamiento y despliegue de datos en una pantalla grafica LCD o similar. Se escogió específicamente la Raspberry Pi B+ (Figura 10) (Adafruit, 2015) debido a que cuando se analizó el proyecto era el modelo más avanzado de Raspberry Pi. Teniendo una amplia variedad de otras marcas de SBC en el mercado, incluso algunas con mayor capacidad de procesamiento, se escogió este dado que tiene capacidad suficiente para desarrollar programación de un módulo que pudiera incluir desde programación para comunicación de datos como el procesamiento de estos y además dentro de la universidad se ha utilizado modelos previos de la Raspberry Pi, teniendo más familiaridad con esta marca de SBC. Otro factor importante para la elección de este SBC fue su disponibilidad en el mercado de Guatemala, otros SBC no se encuentran con facilidad mientras que la Raspberry Pi sí. Además comparado con el Arduino más potente (Arduino DUE) que tiene un reloj de 84 MHz (Figura 9) versus los 700 MHz de la Raspberry Pi B+ le superan por mucho. Además que la Raspberry Pi B+ tiene su propia unidad de procesamiento de gráficos (GPU) que le permite desplegar cualquier interfaz gráfica con más rapidez que un microcontrolador de cualquier tipo.

Una vez escogido el SBC, se procedió a analizar que requería el piloto en la pantalla. Él requería RPM, velocidad, conteo de vueltas en la pista, temperatura en la cabina y en el área del motor, cronometro para tiempo máximo de competición e indicador de cambio de velocidad. Además se requirió conexión de sistema eléctrico de la bocina y alimentación del automóvil mediante una batería de 12 Volts.

El GPS "Ultimate GPS Breakout V3" se escogió debido al tamaño del mismo y dado que hay bastante documentación de la Raspberry Pi con este modelo de GPS. Además las características técnicas del mismo son idóneas para el proyecto. Al momento de adquirir el mismo se escogió agregarle una antena de ganancia de 5dB para no tener problemas de conexión en la ciudad. Como puede apreciarse en la figura 2, la competencia se realizó en medio de una ciudad de Detroit, Estados Unidos. Fue necesario el uso de un convertidor USB a EUSART TTL para la utilización del módulo GPS (Figura 66).

Se procedió a programar la Raspberry Pi obteniendo los datos del GPS para obtener la velocidad y el conteo de vueltas. Todo el sistema se programó utilizando el lenguaje de programación Python.

Durante esta primera fase se realizó un módulo de regulación de voltaje, el cual regula de 12 volts DC a 5 volts DC que alimenta a la Raspberry Pi B+ (Figura 67, Figura 68 y Figura 80). Se diseñó el módulo de regulación a manera de tener la capacidad de alimentar la Raspberry Pi B+ sin problema (requiere dos amperios máximo) y poder utilizarse este módulo para alimentar otros módulos de ser necesario, para lo cual se dejaron borneras que permiten conexión para varios dispositivos. Un problema que se encontró al momento de fabricar el módulo fue que al requerir más amperaje el integrado se calienta, lo cual es normal, pero sin un disipador de calor este se apaga por protección. La temperatura de operación de este impide que se pueda obviar el uso de este, además que es ideal una ventilación en el área de instalación. La competencia al realizarse en un estado de temperaturas bajas, es ideal sin embargo es importante considerar que la ventilación es importante para este módulo.

Para terminar con la primera parte del módulo se diseñó el módulo de interconexiones. Es importante hacer notar que dicho diseño se realizó a manera que quedaran en cada puerto RJ-45 3 pines con los voltajes de 3.3 Volts, 5.0 Volts y 0 Volts. Y los otros 5 pines destinados a uso de un sub módulo, según diseño del sub módulo y/o implementación del código. Estos 5 pines del RJ-45 terminan en headers para interconectar con los pines de la Raspberry pi B+ mediante Jumpers, según la necesidad del diseñador. El bus que interconecta el módulo de la Raspberry Pi B+ con el módulo de interconexión (Figura 119), el cual tiene pines para cada uno de los pines de

la Raspberry Pi B+ que interconecta el bus de 40 pines. Es decir, en el PCB quedan los pines GPIO de la Raspberry Pi (Figura 11) en el módulo de interconexiones permitiendo que los pines de los headers se interconecten con los pines de los headers de los puertos RJ-45 mediante Jumpers. Futuros desarrolladores podrán modificar la interconexión de estos pines mediante Jumpers, permitiendo desarrollo de este módulo sin necesidad de eliminar el módulo existente.

Este módulo se diseñó a manera de ocupar el menor espacio posible dentro del automóvil y dado que el Megaproyecto de la Shell Eco Marathon que sigue en desarrollo este módulo de interconexiones permite continuar sin desechar los módulos existentes como se tuvo que hacer en esta segunda fase del Megaproyecto. Permitiendo que no solo se utilice este módulo en este proyecto, sino que es un módulo que permite acoplarse a cualquier tipo de proyecto y se acopla a las necesidades del mismo. Teniendo salidas genéricas en puertos RJ-45. Que permiten la interconexión de sub módulos a este. Sub módulos que se pueden rediseñar o crear según las nuevas necesidades que se le presenten, sin necesidad de Rediseñar el PCB que interconecta el SBC con los sub módulos. Una vez, en el futuro, se escoja no cambiar más el diseño del módulo de sensores se podría optar por rediseñar un PCB fijo y final que quedaría estático a la configuración de cada sub módulo.

Los sub módulos de temperatura y RPM acoplan el sensor inductivo y de temperatura con por puestos RJ-45. Los cuales por medio de un cable con conectores RJ-45 se conectan al módulo de conexiones. Al igual que el módulo de botones realizado.

El PCB de conexiones es el centro del módulo, el que permite la interconexión de cualquier sub módulo que incluya el módulo de sensores, como puede apreciarse en la Figura 130.

Una vez teniendo el módulo de conexiones y botones se procedió a realizar el modo de competencia. Dicho módulo se realizó sin el uso de interrupciones en la fase I, pero una vez iniciada la fase II (cálculo de RPM y temperatura mediante sub módulos) se implementó interrupciones para tener un código más eficiente, puesto que el refrescamiento de la pantalla se hizo lento, impidiendo que el piloto tuviera los datos en tiempo real. El módulo Wi-Fi en el módulo Raspberry es para futuras implementaciones usando una red Wi-Fi o bien para una conexión a internet durante el desarrollo de la programación para el módulo.

La complicación más grande de la implementación del proyecto fue el acople con las estructura del automóvil, puesto que este es tan reducido que no tenía muchas opciones donde colocar el módulo, como puede apreciarse en la Figura 12 y Figura 62. El módulo en la fase I, se instaló en un lateral del vehículo donde tenía espacio suficiente y buena ventilación, sin embargo el vehículo

debe desarmarse para su traslado y durante inspecciones en la competencia lo cual requerían, provocando que el módulo se golpeará constantemente. Debido a esto el módulo se instaló en la parte baja del asiento del piloto, sin embargo por estar muy cerca del suelo, está expuesta a vibraciones mecánicas más fuertes y además tiene un espacio más reducido, sin ventilación. La ventilación es un factor importante, puesto que afecta directamente la electrónica y además el módulo de regulación lo requiere.

Un problema con la implementación es al momento de perder conexión con el GPS, puesto que se debe mejorar la forma de re conexión a los satélites, dado que tarda demasiado en re conectar, al punto que en ocasiones es necesario reiniciar el sistema.

Un factor importante a considerar es la forma de despliegue de datos al piloto, se decidió utilizar varios modos para presentar los datos, para que el piloto no tuviera todas las variables que puede manejar este módulo simultáneamente. Todas las variables distraen al piloto y pierde funcionalidad el módulo de despliegue gráfico. No se debe sobre cargar que se le muestra al piloto, en especial por tener tan poco espacio dentro del vehículo.

B. MÓDULO TRANSMISIÓN DE DATOS INALÁMBRICO

1. **Caracterización de la señal.** La caracterización como se mencionó anteriormente, es brindarle características específicas al elemento que se está estudiando. En este caso se caracterizó la señal proveniente del puerto serial de la unidad de control ECU. Este posee 10 sensores conectados a una pequeña computadora la cual procesa la información recopilada y la empaqueta en una señal serial que posee un baud rate de 115200. Este baud rate fue brindado por el proveedor de la unidad de control.

Asimismo, los 10 sensores que posee la computadora conectados, fueron medidos individualmente para realizar las pruebas respectivas. Para poder determinar el valor físico que el sensor obtuvo durante su medición, fue necesario desconectar todos los sensores y dejar únicamente uno conectado. Esto también permitió determinar el orden del empaquetado de cada trama de datos para cada sensor. Cada paquete de datos que es enviado por la unidad de control (ECU) posee 27 sub paquetes los cuales representan los valores de cada sensor, el encabezado y el checksum. Cada sub paquete está compuesto por 2 valores hexadecimales cada uno de 4 bits, es decir que cada sub paquete tiene 8 bits o un byte. Cada sensor tiene asignado 2 bytes para representar su valor físico. Clasificándolo como el byte de la parte alta y el byte de la parte baja. El encabezado tiene 6 paquetes asignados de la trama completa y el checksum únicamente 1, si los elimináramos de la trama quedaríamos con 20 paquetes que corresponden a los sensores que

tiene conectados. Para determinar el orden de estos paquetes y cuales corresponden a cada sensor, fue necesario desconectar todos e ir probando uno por uno. Con esto la trama no obtenía datos para el resto de sensores y únicamente enviaba información para el que se encontraba conectado. De esta forma se verifico los bits correspondientes para el encabezado, el checksum, los sensores y el orden para estos.

Para verificar el valor físico se utilizó el software de interpretación propio del proveedor. Este es llamado ProCal el cual posee una interfaz relativamente sencilla, y brinda una representación gráfica sobre el valor según los datos de cada sensor. Con esto fue posible interpretar cada dato obtenido desde su valor hexadecimal, y permitir su modificación si fuese necesario al momento de transmitir la trama serial. Por lo que al tener conocimiento sobre datos específicos de la trama serial proveniente del puerto, brindaba la posibilidad de modificar esta misma señal si la configuración para los transmisores lo requería.

Dadas las características específicas de los transmisores seleccionados, estos poseen la capacidad para transmitir la señal sin ningún problema. La plataforma que se seleccionó en su momento para procesar la información (Arduino Mega) resulta innecesaria. Esto debido a que dicho dispositivo electrónica iba a ser utilizado para manipular la señal proveniente del puerto RS232 para disminuir su velocidad de transmisión, esto a causa de encontrar una limitante en esta misma velocidad en los transmisores que fueran a ser electos. Al determinar que los módulos Xbee no presentan problemas al transmitir datos a un baud rate de 115200, resulta innecesario procesar la información saliente de la unidad de control. Esto dadas las características determinadas por la caracterización de la señal a transmitir.

2. Configuración módulos Xbee. La competencia de la Shell Eco Marathon no brinda una restricción respecto al uso de transmisores dentro de los vehículos implementados. Tampoco posee requerimientos para los mismos. Para evitar posibles conflictos únicamente se realizó una configuración de direccionamiento punto a punto, de esta forma únicamente existe transferencia de datos del vehículo a la estación y viceversa. Para realizar esto se coloca una dirección específica de destino tanto para el transmisor como el receptor.

Por otro lado se tiene la configuración de dirección de red NETID, la cual tampoco tiene restricciones en la competencia por lo que únicamente se estable la misma para ambos dispositivos ya que pertenecen a la misma red. Se trató de colocar una dirección poco común por si otro equipo llegara a tener este tipo de dispositivos y existiera alguna confusión.

A parte de las direcciones propias de la configuración de la red se tienen otros parámetros importantes que deben ser establecidos en la configuración de los módulos. Uno de estos es el baud rate del transmisor. En este caso luego de caracterizar la señal a transmitir, se determinó que el baud rate de esta era de 115200 por lo que los módulos Xbee deben tener este mismo valor. Siendo así, la velocidad de transferencia para la comunicación UART entre la unidad de control (ECU) y el módulo de comunicación Xbee fue de 115200 bps. De forma predeterminada el módulo Xbee trae configurado un baud rate de 9600, valor que tuvo que ser modificado. Es importante mencionar que estos módulos de transmisión poseen una interfaz de comunicación serial. Por otro lado se debe agregar que la señal que sale del puerto RS232 debe ser adaptada para ser ingresada al módulo de transmisión, ya que por venir de este puerto, esta posee un voltaje mayor al que soporta la configuración de los Xbees, es decir convertir de RS232 a TTL.

Por otro lado se tiene la configuración del tiempo de paquetización, el cual es en definición, el tiempo que necesita el módulo Xbee para procesar y preparar la información que recibe de la unidad de control del puerto serial para ser transmitida inalámbricamente hacia el receptor. Este valor se configuró en 3, lo que implica que la unidad de control debería esperar 3 veces el tiempo que tarda el transmisor en enviar la cantidad de bytes que posee el paquete, antes de volver a enviar información al Xbee. En este caso se tiene un paquete de 27 bytes, que provienen de la unidad de control. La velocidad a la que se transmiten datos entre el módulo Xbee y el ECU es de 115200 bps, según la caracterización y lo configurado. Esto quiere decir que el paquete completo de 27 bytes tarda 1.875 ms en ser transmitido. Lo que implica que la unidad de control debe esperar aproximadamente 3 veces este valor, es decir 5.625 ms. Ya que el ECU espera 100ms entre cada paquete enviado, no resulta problema la configuración empleada.

Por otro lado resulta importante mencionar que el tiempo de paquetización es otra variable que ayuda a determinar que no se requiere el uso de una plataforma para procesamiento de señales. Dado que los Xbees por sí solos son capaces de recibir, empaquetar y transmitir la información antes de que la unidad de control vuelva a enviar datos. Como se mencionó en el párrafo anterior, la unidad de control únicamente debe esperar 5.625 ms antes de volver a transmitir y esta espera, según la caracterización, 100 ms antes de hacerlo.

3. Pruebas de transmisión. La primera prueba de transmisión que se realiza, se hace en un ambiente totalmente urbano. En una colonia del municipio de Mixco. En donde se obtiene un alcance máximo de 120 metros. Siendo posible verificar que la existencia de obstáculos entre el emisor y el receptor disminuye considerablemente el alcance de los transmisores.

Para esta prueba se emplea la herramienta XCTU que es un software propio del proveedor de los transmisores Xbee. Es utilizado para realizar configuraciones a los módulos y pruebas de alcance. En este caso se usó para transmitir datos y verificar la intensidad de la señal. Como se puede notar esta prueba determina que la existencia de obstáculos entre los módulos inalámbricos, afecta drásticamente su alcance ya que atenúa las señales a transmitir.

La segunda prueba se realizó en un ambiente más abierto, para permitirle a los transmisores tener mejores condiciones de funcionamiento y alcanzar distancias mayores entre módulos. Esta prueba se hizo en la Antigua Guatemala y como se muestra en los resultados, se obtuvo un alcance de aproximadamente 500 metros. Esta actividad se llevó a cabo dentro del área urbana de este lugar, aun con la existencia de obstáculos mínimos. Se considera que las condiciones climáticas del momento y lugar así como las condiciones del terreno, provocaron limitaciones a la transmisión. Lo que impidió el alcance del objetivo establecido que es de 1 kilómetro.

Finalmente la última prueba se lleva a cabo en un lugar que permita tener una línea de vista entre el transmisor y el receptor, pero sin obstáculos existentes. Para esto se busca idealmente una montaña o cerro con vista entre sí. Esta prueba se llevó a cabo tanto en la antigua Guatemala como cerca de Chimaltenango. Se obtiene una distancia mayor al kilómetro, esto bajo condiciones "ideales".

Por otro lado se llevaron a cabo pruebas dentro del laboratorio de pruebas unitarias únicamente para verificar la correcta transmisión de los datos, dejando por un lado el alcance del transmisor. En este caso como se muestra en las Figura 150 y Figura 64, se inicia con la transmisión de datos desplegando valores en la interfaz gráfica del software de interpretación de la unidad de control. Como se nota existen 2 interfaces graficas distintas. Esto se debe a una actualización por parte del desarrollador del software. Sin embargo ambas despliegan los mismos datos.

Es importante mencionar que en las Figura 149 y Figura 149 se puede observar el uso de los acoples para permitir la comunicación entre el transmisor y la unidad de control, y el receptor y la computadora.

Para todas estas pruebas, se utilizaron los módulos Xbee Pro 900. Con antenas diseñadas para trabajar a frecuencias de 900 MHz. Es importante agregar que estos módulos por ser transmisores de largo alcance tienen un consumo de potencia mayor. Por lo que su fuente de alimentación debe ser la correcta si se desea tener alcances de esta magnitud. Por otro lado si se llegara a alimentar al módulo con un voltaje menor al que requiere, la distancia que llegara a obtener en términos de transmisión, será menor ya que enviara la señal con una magnitud inferior,

lo que impedirá al receptor recibirla correctamente. Por lo que la fuente de alimentación debe proveer la energía necesaria al transmisor del vehículo el tiempo necesario durante la competencia para no tener problemas durante la misma.

4. **Resultados en la competencia.** El día de la competencia se sufrieron diversos problemas técnicos en torno al vehículo, relacionados con módulos que se crearon en la etapa anterior del proyecto. Esto mismo impidió la participación final de nuestra propuesta. Únicamente se logró aprobar la etapa técnica, sin embargo luego de esta aprobación se sufrió de un problema irreparable en el sistema de frenos lo que evitó el ingreso a la pista. Por esta razón no fue posible probar correctamente el módulo de transmisión el día del evento.

C. MÓDULO CONVERTIDOR CATALÍTICO

El objetivo principal del estudio fue la implementación de un convertidor catalítico al sistema de escape del motor Honda GXH50 para reducir las emisiones tóxicas generadas. Para cumplir con este objetivo, se planteó un diseño factorial para evaluar la eficiencia de conversión en función de dos variables de diseño, que fueron el diámetro del convertidor y flujo de aire ingresado al motor. Para las pruebas experimentales, se construyeron tres convertidores catalíticos de diferente diámetro, un sistema de recolección de muestras gaseosas y se estableció un método por cromatografía de gases para el análisis semicuantitativo de la conversión de los gases de combustión. Con esto se pudo determinar la eficiencia del convertidor catalítico y la influencia de las variables de diseño propuestas.

1. **Diseño y construcción de convertidor catalítico.** La primera parte del estudio consistió en el diseño del catalizador, el resultado final se muestra en la Figura 156 en la página 147. Para esto se realizó una investigación acerca de los tipos de catalizadores, su funcionamiento, dimensiones, forma y partes principales. De esta investigación se decidió utilizar y comprar un convertidor de tipo tres vías.

Este catalizador posee en su estructura cerámica metales preciosos (platino, rodio y paladio) capaces de reducir y oxidar simultáneamente los gases tóxicos de la combustión. Además, se utilizó un diseño de acuerdo a las dimensiones físicas del vehículo ultra eficiente de la competencia Shell Ecomarathon. Para ello se disponía de una longitud máxima de 40 cm. Debido a la colocación del motor y del respaldo del conductor, fue necesaria una inclinación de 45° del catalizador y la colocación de la salida hacia el costado del vehículo.

Estas limitaciones físicas también tuvieron influencia sobre el cuerpo central del catalizador. Por esta razón la compra del catalizador original consideró un largo máximo de 12 centímetros (cm), teniendo el catalizador obtenido 10 cm de largo y 8 cm de diámetro. Debido a su alto costo, se decidió obtener 3 catalizadores del sustrato original. Por esta razón, se dividió el catalizador para obtener catalizadores con diámetros de 2, 3 y 4 cm. Debido a que el largo era una limitante, se propuso experimentar con el diámetro como una variable de diseño del catalizador a implementar en el sistema.

El funcionamiento de los catalizadores requiere de ciertos parámetros mínimos para lograr la conversión de los gases. Para alcanzar la energía de activación mínima para las reacciones de oxidación y de reducción con los catalizadores metálicos, se requiere una temperatura mínima de 200 °C. Por esta razón, se decidió aislar el sustrato con fibra de vidrio para evitar la pérdida de energía hacia el exterior. Al final de las pruebas con el catalizador, se observó que la temperatura no era suficiente, por lo que se decidió recubrir el sistema de escapa completo. Esto permitió alcanzar la temperatura mínima, con un valor promedio en las pruebas de 229.0°C (Corvalán, y otros, 1999)

Debido a la utilización de un convertidor de tres vías, es necesario contar con un sistema de control lambda. Este es un sensor de oxígeno, que puede ser colocado previo o posteriormente al catalizador, o incluso en ambos sitios. Este sensor indica la relación aire/combustible para la combustión, tomando un valor de uno (1) para una relación igual que el valor estequiométrico del tipo de combustible.

El funcionamiento del catalizador debe mantenerse alternando entre una mezcla rica (<1) para oxidar a los compuestos presentes y una mezcla pobre (>1) para reducirlos. Por esto se decidió colocar dos entradas en el cuerpo del catalizador, para la colocación de sensores de oxígeno tanto a la entrada como a la salida del convertidor. Estas entradas, se aprovecharon posteriormente para la toma de muestras gaseosas para el análisis de la eficiencia de conversión.

El control con el sensor lambda no se realizó en las pruebas hechas para el diseño experimental, debido a que el motor aún se encuentra en una etapa de calibración. Éste será uno de los principales módulos a mejorar en la siguiente etapa del megaproyecto. Por esta razón, el control de la relación aire/combustible utilizando los sensores lambda queda fuera del alcance de este estudio. Sin embargo, como se discutirá posteriormente, se recomienda que este parámetro sea considerado para el ajuste de las condiciones del convertidor catalítico cuando se encuentre en operación en el vehículo.

La construcción completa del convertidor fue realizada con lámina de acero galvanizado debido a su bajo costo y peso, lo cual es un requerimiento del vehículo puesto que se busca añadir la menor carga al motor. Así como su resistencia a altas temperaturas. Esto hizo necesaria la utilización de un material para sellar el sistema y evitar la pérdida de los gases de combustión. Para esto se utilizó silicón de alta temperatura, ya que soporta esta condición y resiste la vibración del motor sin producir resquebrajamiento o separarse de la superficie, además de su bajo costo y fácil obtención. Sin embargo, debe tenerse cuidado con este material, puesto que al superar la máxima temperatura de operación puede llegar a combustionar por su naturaleza química inflamable. Por esto, se recomienda buscar un material sustituto para lograr la misma función sin tener este riesgo.

2. Sistema de muestreo de gases de combustión. Posteriormente, se diseñó la forma de recolectar las muestras de gases para evaluar la eficiencia de conversión de los catalizadores. Para esto fue necesario diseñar un sistema capaz de retener los gases. Se utilizó un sistema de mangueras conectadas a una botella con una entrada y una salida y pinzas metálicas, por donde se dejaba correr los gases hasta tomar la muestra.

En esta etapa se obtenía una muestra con una botella antes del catalizador, conectando la botella directamente a la salida del motor. Y la muestra después del catalizador se tomaba a la salida del sistema de escape con otra botella. El sistema de muestreo fue modificado para la obtención de los resultados finales, como se discutirá posteriormente en la sección de la eficiencia del convertidor catalítico en el inciso de experimentación con sistema carburado.

3. Diseño experimental por el sistema factorial completo. Pudiendo realizar la toma de las muestras gaseosas, se realizó el diseño experimental. Para esto se escogió un diseño factorial completo de dos factores y dos niveles por cada factor.

Se utilizó el software The Unscrambler X versión 10.3. Este se utilizó debido a que es el software que brinda el departamento de Ingeniería Química a sus estudiantes, y que es un programa creado específicamente con estos propósitos de investigación.

Se escogió como factores de diseño, el diámetro del catalizador y el flujo de aire ingresado al motor para la combustión. Estas variables fueron elegidas ya que, debido a las condiciones del vehículo y del motor, eran las más fáciles de manipular para observar el funcionamiento del catalizador. Los niveles para cada factor fueron tomados como los valores máximos y mínimos, con la utilización de un valor medio para mejorar la precisión del diseño a sugerencia del programa.

En el caso del diámetro, se probó a 2 y 4 cm de diámetro, siendo 3 cm el valor medio. Estos valores se establecieron debido a que únicamente se podía obtener estos tamaños del catalizador original que fue comprado, el cual tenía un diámetro de 8 cm. Para el flujo, se adoptó un valor mínimo de 6 vueltas para la apertura de la entrada de aire, un valor medio de 8 vueltas y un máximo de 10 vueltas. Estos valores se eligieron basados en que brindaron el mejor funcionamiento del motor en la primera etapa del megaproyecto. (López, y otros, 2014)

Este control se realiza con el número de vueltas que se da un tornillo encargado de regular el flujo de entrada de aire, ya que el punto de salida del flujo de aire es prácticamente inaccesible para cualquier medidor de flujo. Además, que su tamaño es prácticamente despreciable, lo que hace que sea muy difícil de tomar un valor adecuado. En este caso sería adecuado adaptar al sistema electrónico del motor, un sensor capaz de tomar esta medición, De igual manera, por medio del sistema de control lambda, se podría establecer su valor de manera indirecta. Ya que este mide la relación aire/combustible inyectada al motor y existe un control de la cantidad de combustible que ingresa por medio del inyector. Esta es otra de las razones de la importancia del control de este parámetro.

4. **Analizador de gases Enerac 700.** Para conocer el comportamiento de los gases presentes en la mezcla de combustión, se utilizó un analizador de gases Enerac modelo 700, estos resultados tenían el fin de servir como medio de comparación entre los resultados obtenidos por cromatografía de gases.

Se realizó la serie de pruebas según el diseño factorial realizado y en el Cuadro 18, se muestran los resultados para 5 compuestos diferentes que puede analizar el equipo (O_2 , CO, CO_2 , Hidrocarburos y NO). Se calculó de la misma manera el porcentaje de conversión para cada uno de ellos. Estos resultados fueron obtenidos para el sistema carburado con gasolina.

De estos resultados se puede analizar que el oxígeno (O_2), que no es un gas de combustión ni tóxico, muestra que existe una conversión en el catalizador. Debido a la variación de su concentración, ya que todos los valores muestran resultados negativos. Por lo tanto, su concentración se está disminuyendo. Esto demuestra que los compuestos están siendo oxidados y tiene una fuerte relación con la disminución de la concentración de CO y de los hidrocarburos para la formación de CO_2 como se muestra en el cuadro. Sin embargo, esto también favorece la formación de NO, lo cual se muestra en los resultados.

Con base en estos resultados, se puede afirmar que los compuestos principales de la combustión incompleta del sistema, en base seca, son el dióxido de carbono (CO_2) y los

compuestos nitrogenados (NO_x). Como se esperaba para una combustión de este tipo según la teoría analizada. Estos compuestos serán entonces los principales gases de combustión tóxicos a analizar para en el método por cromatografía de gases para el sistema de inyección con etanol. Esto con base a la reacción incompleta del etanol, el cual por ser un combustible mucho más simple en cuanto a su estructura química, deberá presentar el mismo comportamiento. Donde posiblemente, el único compuesto que podría variar sería el contenido de hidrocarburos, que sería nulo o mínimo debido a los lubricantes presentes en el motor.

5. Método de análisis de gases por espectrometría de masas. Debido a que el sistema de recolección de muestras funcionó adecuadamente, y habiendo analizado el comportamiento de la combustión con el analizador de gases Enerac, se procedió a determinar el método de análisis de los gases de combustión por cromatografía de gases. Este debía ser capaz de detectar los compuestos presentes y poder determinar si el sistema permitía la conversión de los gases de combustión.

Para esto, se eligió utilizar el análisis de cromatografía de gases con detector de espectrometría de masas. Se decidió principalmente por la capacidad de este equipo para identificar los gases presentes en la mezcla. Ya que también se analizó el uso de los detectores de conductividad térmica y de ionización de llama, TCD y FID, por sus siglas en inglés respectivamente. Sin embargo, estos detectores no son capaces de identificar los compuestos presentes debido a la falta de un banco electrónico de referencia.

Habiendo elegido el equipo a utilizar se procedió a establecer un método adecuado de análisis. Para esto fue necesario realizar pruebas en distintos tipos de columnas cromatográficas para poder analizar cuál de ellas permitía una mejor separación de los componentes y con ello un buen análisis. Se probó la utilización de la columna HP-PLOT Q y la DB-WAX de carácter polar, y la columna HP-5MS de carácter no polar, todas de marca Agilent Technologies. Sin embargo, la columna especializada en este tipo de análisis, la HP-PLOT Q, no se puede instalar en el equipo con detector de masas, debido a que no se posee un embobinador que reduzca su tamaño, para ingresarla en el horno del equipo. Por esta razón, se comparó los resultados entre la HP-5MS y la DB-WAX, los mejores resultados fueron obtenidos por ésta última, logrando la separación de los compuestos y llegando a identificar compuestos de interés del estudio. Las condiciones de temperatura y flujo también fueron parámetros importantes en el método. Los valores finales de estos parámetros se muestran en la sección de metodología.

Establecidas las condiciones del método antes mencionadas, se evaluó la existencia de un cambio significativo de las áreas representadas por los cromatogramas entre las muestras

tomadas antes y después del catalizador. Esta sería la última condición para establecer un método de análisis válido para el estudio. Debido a que se logró observar esta variación, se estableció que el método era válido y útil para determinar la eficiencia de conversión requerida.

Además, con este método se logró identificar dos compuestos principales y característicos de los gases de combustión, que fueron el dióxido de carbono (CO_2) y el óxido nitroso (N_2O), como se muestra en la Figura 190 de la página 208. Se decidió utilizar ambos compuestos para representar los dos tipos de conversiones capaces de realizar el catalizador, oxidación y reducción, y determinar así su eficiencia.

Para determinar la conversión de los gases identificados es necesario utilizar patrones estándares de grado analítico. Esto se debe a que los patrones, al tener una concentración conocida, permiten establecer por medio de alguno de los métodos cuantitativos, la concentración de las muestras. En este caso, tanto en la entrada como en la salida del convertidor catalítico. Sin embargo, no se pudo trabajar con estos patrones, debido a que su costo es bastante elevado. Esto se debe a que son compuestos gaseosos de alta pureza. Esto hizo imposible cuantificar las concentraciones de estos gases. Es por esto que el análisis se catalogó como semicuantitativo, debido a que aún se pudo cuantificar un cambio relativo a la composición de la muestra total, mas no respecto a una concentración específica para cada gas.

Posteriormente, se realizaron pruebas para determinar qué tan repetibles eran los resultados que se estaban obteniendo, debido que para muestras gaseosas la variación de la composición podría ser significativa entre cada muestra. Esto ocasionaría una limitación para el estudio, ya que los resultados no serían confiables. Por esto se realizó una serie de pruebas, para determinar la variación de las concentraciones para cada muestra a diferentes condiciones de operación, y entre cada una de ellas, al realizarse en duplicado. Se observó que la variación entre los resultados no era significativa y no afectaría el análisis de la eficiencia de conversión.

Además, a pesar de todos los esfuerzos y controles realizados, este método no puede catalogarse como una validación del método, debido a la falta de controles estadísticos para cumplir con los requerimientos de repetibilidad y reproducibilidad, precisión, exactitud, límite de detección, estabilidad, linealidad y demás parámetros relacionados. Además, de la necesidad de contar con patrones estándar para lograr estos requerimientos.

Luego de analizar el método de análisis y la confiabilidad de las muestras gaseosas obtenidas, se comenzó con las pruebas para las muestras antes del catalizador. Sin embargo, se obtuvo un problema con la separación de los compuestos con el primer método de análisis utilizado. Como

se puede observar en las figuras, Figura 180 y Figura 181, existe una diferencia entre ambos cromatogramas. La primera muestra la detección de dos compuestos diferentes, identificados como pico 1 y pico 2, en el intervalo de tiempo de 1.05 y 1.10 min. Mientras que la Figura 181, muestra un solo pico para el mismo intervalo de tiempo. Esto demostró que existe una mala separación por parte de la columna con el método utilizado, lo que posiblemente hizo que existiera un traslape entre estos compuestos.

6. Método de análisis de gases por conductividad térmica. Debido al traslape de los picos y la imposibilidad de identificar cada compuesto por separado, se tomó la decisión de cambiar el método de análisis, ya que de continuar sucediendo este traslape, el análisis de resultados no sería posible de realizar. Se evaluó la posibilidad de utilizar nuevamente el detector de conductividad térmica (TCD), puesto que lograba una mejor separación de los compuestos. Y debido a que la identificación de los compuestos presentes en las muestras, ya se había logrado mediante el método anterior por espectrometría de masas.

La mejor separación de los compuestos probablemente se deba por el tipo de columna que utiliza el sistema de conductividad térmica y las condiciones del método de análisis. Ya que la columna que utiliza el sistema de detección por espectrometría de masas es la Agilent modelo DB-WAX, que es de tipo polar. Sin embargo, el CO_2 no es una molécula polar, y esto podría dificultar su separación. Además, ambos compuestos son moléculas muy similares en su tamaño, por lo que son más fácilmente arrastrados por la fase móvil en la cromatografía, lo que empeora la separación de cada uno. Además, esta columna se especializa en separaciones de compuestos orgánicos volátiles, especialmente fragancias, que incluyen aromáticos, ácidos grasos, ésteres, entre otros. Mientras que la columna que utiliza el sistema de detección por conductividad térmica, que es la Agilent modelo HP-PLOT Q, es de tipo polar y específicamente creada para análisis de compuestos gaseosos de combustibles fósiles. Además, el método de análisis es específico para detectar el compuesto N_2O . Esto hace que el sistema de conductividad térmica sea mejor para el análisis de ambos compuestos. (Skoog, Holler, & Crouch, 2001) (Agilent Technologies, 2015)

Para continuar con el análisis, se hizo la suposición que los dos compuestos principales, mostrados en el detector de espectrometría de masas, serían los mismos compuestos mostrados por el detector de conductividad térmica. Debido a que la composición de la mezcla gaseosa analizada no variaría, como lo establece la ecuación de la combustión y debido a que estos son los compuestos principales de la misma, tal y como se demostró con el analizador de gases. Se muestra en la Figura 182, que la separación con este método es mucho mejor que la mostrada en la Figura 180 para la cg-ms. Además, como se muestra en la Figura 183 y la Figura 184, se comprobó que existe un cambio en el tamaño de las áreas correspondientes a la concentración

de los gases, para una muestra antes y después del catalizador bajo las mismas condiciones. Lo cual cumple con los requerimientos para trabajar con el diseño factorial realizado.

7. Eficiencia del convertidor catalítico. Con base en estos resultados, se tomó la decisión de continuar con la experimentación utilizando el detector de TCD y la columna HP-PLOT Q, y se obtuvo los resultados mostrados en el Cuadro 23. En esta tabla se muestra la conversión alcanzada para los compuestos de CO_2 y N_2O , a las condiciones evaluadas por el experimento. Estas pruebas muestran valores negativos, los cuales se refieren, por la definición de su cálculo, que se está disminuyendo su concentración relativa. Es decir, existe una menor proporción de este compuesto luego de su paso a través del catalizador en relación a la proporción que existía antes de pasar a través de este.

Los resultados muestran que la mayor conversión para el N_2O se logra con el convertidor con 4 cm de diámetro y flujo máximo, con un valor de 198.35%, siendo la segunda mayor conversión alcanzada con un diámetro de 2 cm y flujo mínimo de 173.15%. Mientras que para el CO_2 , las máximas conversiones con el convertidor de 2 cm de diámetro y flujo mínimo de -42.78% y la segunda mayor con el convertidor de 4 cm diámetro y flujo mínimo con -25.63%. Esto tendría sentido puesto que al tener mayor diámetro, se cuenta con mayor área superficial donde los catalizadores metálicos tendrían mayor contacto con los gases. Mientras que para el caso del convertidor de diámetro de 2 cm, también se podría analizar que al tener el menor flujo, estaría alcanzando mayores tiempos de contacto y por lo tanto, se alcanza una mayor conversión.

Sin embargo, todos los resultados muestran un comportamiento opuesto a lo indicado por la teoría. Esto se debe a que un convertidor catalítico busca oxidar los compuestos CO_x y reducir los NO_x . Por lo tanto, se esperaría que la concentración de CO_2 aumentara y con ello su proporción luego del convertidor. Con este comportamiento se obtendrían únicamente conversiones positivas, mientras que todos los resultados experimentales muestran valores negativos. El caso contrario ocurre con los compuestos NO_x , los cuales teóricamente deben ser reducidos a N_2 y con ello reducir su proporción luego del convertidor. Esto entregaría resultados negativos y no positivos como los mostrados en el Cuadro 23.

Estos resultados fácilmente harían pensar que los compuestos analizados en los cromatogramas con el detector de TCD, aparecen en un orden distinto a los mostrados por el detector de espectrometría de masas. Ya que de esta forma, los resultados del Cuadro 23 para el primer pico corresponderían al N_2O y para el segundo al CO_2 , que a su vez concordaría con lo predicho por la teoría. Por esto, se determinó la necesidad de identificar cualitativamente estos picos, para confirmar el significado de estos resultados.

a. Comprobación de identidad de compuestos analizados. Para identificar los compuestos mencionados, se procedió a capturar muestras de un vehículo con motor diésel, para inyectarlo y analizarlo con el mismo método. Esto buscaba observar un aumento en la altura y área de los picos correspondientes al análisis, debido a que en teoría estos se encontrarían en mayor cantidad. Incluso con observar el crecimiento de uno de los picos de interés, se podría llegar a suponer que se trataba de CO_2 debido a que este se encuentra en mayor proporción. Lo que serviría como justificación para analizar los resultados.

Sin embargo, no se obtuvo ninguna diferencia significativa respecto a los resultados realizados a partir de etanol, ya que la proporción obtenida fue similar a la proporción de las muestras analizadas. Esto se puede observar en la comparación de porcentaje de áreas entre la Figura 185 y Figura 186. El análisis del porqué ambas muestras, para una combustión con diésel y etanol, tuvieron resultados similares podría brindar información importante. Sin embargo, se prefirió dejar pendiente analizar la razón de estos resultados.

Debido a que los resultados anteriores no brindaron una solución al problema de identificación, se optó por inyectar muestras de compuestos conocidos. Se utilizó muestras de CO_2 , agua y etanol puros, debido a que estos se encontraban al alcance del laboratorio, y con ello se requeriría menos tiempo para lograr la identificación.

El propósito de la utilización de estas muestras fue reconocer los tiempos de retención de cada uno, ya que idealmente serían compuestos puros y no una mezcla de gases como la del vehículo. De esta manera se podría identificar, principalmente, la posición del CO_2 en los análisis del convertidor.

Como se muestra en la Figura 187, el cromatograma para el CO_2 muestra un pico predominante en la posición o tiempo de retención típico para el segundo pico en los cromatogramas de las muestras del convertidor. Por lo tanto, se podría suponer que la posición del pico correspondiente al CO_2 es la del segundo pico en los análisis realizados por cg-tcd y no la primera como resultó aparecer en cg-masas. Además, aparecen algunos picos menores, cuya razón podría deberse a que la muestra inyectada no se trató de una muestra pura sino de un gas de grado industrial.

Sin embargo, al inyectar las muestras de vapor de agua y de etanol se obtuvieron resultados inesperados, ya que aparecen los mismos picos, para los mismos tiempos de retención, que un análisis típico. Aunque si cambia la relación de áreas entre el pico 1 y el pico 2, la cual es prácticamente de 99% y 1% respectivamente. Esto podría significar que el método estaría leyendo

prácticamente valores de compuestos presentes en el aire al no saturar el vial donde fueron preparadas estas muestras, o que el método de análisis no es adecuado. Los resultados de los cromatogramas obtenidos se muestran en la Figura 188 y la Figura 189.

b. Experimentación con sistema carburado. Dado al tiempo invertido en el desarrollo de un método de análisis, se decidió continuar con la experimentación sin identificar con seguridad cada pico. En cambio, con base en los resultados obtenidos se analizará cual será la posible identidad de cada pico, basados, además, en los componentes esperados por una reacción de combustión, como se muestra en las reacciones de combustión mostradas en la página 45.

En esta etapa también se decidió iniciar nuevamente los análisis, debido a razones propias de la metodología de recolección de muestras. Ya que se tuvo gran dificultad para tomar las muestras presentadas en la Cuadro 23. Esto se debe a que el motor aún se encuentra en una etapa de ajustes, y por lo tanto, el tiempo de encendido del motor es muy corto en estado ralentí. Razón por la cual se debe acelerar manualmente, para mantenerlo encendido, y así poder realizar la toma de muestras. Sin embargo, con esto se está afectando los resultados, debido a que no se pueden obtener condiciones iguales para cada una de la toma de las muestras de cada experimento indicado en la metodología del diseño factorial.

Por esta razón, se propuso la utilización del sistema de carburación con gasolina, en vez del sistema original de inyección de etanol. Puesto que la calibración y funcionamiento del motor queda fuera de este estudio. Además con este cambio se eliminaría la necesidad de acelerar el motor, y mejoraría la validez del estudio al ser más reproducible en cuanto a las condiciones en que se toman las muestras.

Este cambio no afecta la validez de este estudio, debido a que éste busca demostrar la capacidad del catalizador mediante la eficiencia de conversión de los compuestos presentes. Posteriormente cuando el motor y sistema de inyección de etanol, se encuentren operando de manera adecuada, el convertidor catalítico deberá volver a ser estudiado. Entonces, se podrán afinar los parámetros de operación para maximizar los resultados deseados utilizando etanol como combustible.

En esta segunda tanda de pruebas también se optó por mejorar la metodología y el sistema de recolección de muestras. Estas modificaciones se explican con detalle en la sección de metodología. Esto se debió a que se mejoraría la validez del estudio, ya que no se tendría que considerar los efectos de una tercera variable, que sería la temperatura. La toma de muestras

debe realizarse en las mismas condiciones del sistema para ser comparadas con mayor validez, y tener mejor repetibilidad y reproducibilidad del método.

Se buscó obtener las muestras, antes y después del catalizador, a una misma temperatura modificando dos aspectos. Primero, reduciendo la diferencia de tiempo entre la recolección de las muestras antes y después del convertidor. Ya que entre mayor es la diferencia de tiempo, también lo es la diferencia de temperatura. El cambio de temperatura en el sistema, modifica la composición de los gases, debido a que cambia la energía necesaria para que ocurran las reacciones en el convertidor. Por esta razón, dos muestras tomadas a las mismas condiciones de flujo y diámetro, pero diferente temperatura, podría tener una conversión diferente.

El segundo aspecto modificado fue el control de la temperatura. Ya que se monitoreó continuamente, y no únicamente antes de tomar la muestra. Esto tiene relación con el tiempo de muestreo, ya que se buscaba hacer lo más rápidamente posible, al ver que la temperatura continuaba subiendo.

Los resultados obtenidos en la segunda tanda de pruebas, utilizando el sistema carburado con gasolina se muestran en el Cuadro 19 y Cuadro 20. En estos resultados se observa la variación de conversiones respecto a la Cuadro 23, donde las conversiones eran completamente negativas para el primer pico del G.C.T. 1, y positivas para el segundo del G.C.T. 2. En este caso, en cuanto a la magnitud de ambas conversiones, el resultado relativo más importante, es la conversión del G.C.T.2 obtenida con diámetro de 2 cm y flujo máximo de 123.40%. Mientras que para el G.C.T.1 la mayor conversión obtenida fue de 5.65%. Sin embargo, estos resultados no pueden ser analizados únicamente basados en la magnitud del cambio, debido a que únicamente conociendo su concentración se podría evaluar si se encuentran debajo de los límites deseados.

De estos resultados se pudo observar una semejanza, únicamente en el comportamiento de la conversión, entre el G.C.T.1 y el monóxido de carbono (CO) de los resultados obtenidos con el analizador de gases. Y entre el G.C.T.2 y los compuestos de CO₂ y NO. En el primer caso se puede observar una relación muy buena. Debido a que tiene el mismo comportamiento para ambos sistemas y para todas las muestras del diseño experimental. El parecido es tal que disminuyen para las condiciones de diámetro 4 y flujo máximo y para diámetro 2 y flujo máximo, tal y como ocurre para el G.C.T.1 en el Cuadro 19. Por lo tanto, en base a los resultados del analizador de gases y de la teoría de combustión, se puede afirmar que este pico corresponde al gas de combustión de monóxido de carbono (CO).

Analizando el comportamiento del G.C.T. 2, la relación con los gases de CO₂ y NO no sigue exactamente la misma tendencia y su identificación mostró una dificultad mayor que el G.C.T.1. Primero, ya que el comportamiento entre ambos (CO₂ y NO) es muy similar, por esta razón no se puede establecer a cuál de los dos podría corresponder. Además, debido a que la combustión es incompleta, teóricamente la presencia de ambos compuestos (CO₂ y NO) es válida. Segundo, debido a que existen diferencias entre estos y el comportamiento observado para el G.C.T.2 en el Cuadro 20. Ya que se observa que en la condición de diámetro 4 y flujo mínimo, existe una disminución de la cantidad de este gas luego del paso por el convertidor, lo cual no se observa en ninguno de éstos gases. Por esta razón, hace falta mayor información y análisis para poder tomar una decisión respecto a qué gas corresponde al G.C.T. 2.

c. Análisis de diseño factorial. Finalmente, con los resultados obtenidos del Cuadro 19 y Cuadro 20, se utilizó el software The Unscrambler X versión 10.3 para analizar qué efecto tuvo cada variable propuesta en este diseño experimental. El resultado del análisis se muestra en el Cuadro 21, donde estadísticamente el programa analizó el efecto de las variables, diámetro y flujo de aire, sobre la conversión de los G.C.T. 1 y 2 de los resultados finales.

Se llegó a la conclusión que únicamente el flujo de aire es una variable significativa para la conversión, ya que obtuvo un valor p menor a 0.005 para ambos picos analizados, de 0.0028 y 0.0038 para la conversión del G.C.T.1 y del G.C.T.2 respectivamente. El diámetro no es una variable significativa ya que está por encima de este valor con 0.8650 y 0.9139 respectivamente. Esto se explica al observar los resultados del Cuadro 19 y Cuadro 20, en donde, tanto para un diámetro de 2 cm como de 4 cm se obtienen conversiones elevadas. Mientras que para un mismo diámetro las conversiones cambian en función del flujo de aire.

Esto ocurre ya que el flujo de aire no solo modifica el valor de la relación aire/combustible y la eficiencia de la combustión, sino que también modifica el tiempo de retención de los gases en el convertidor. Al estar limitado el largo del sustrato a las condiciones del sistema no puede incrementarse, en cambio solo se modificó el diámetro. Este sin embargo, el diámetro no es capaz de modificar el tiempo de reacción de los gases dentro del convertidor, lo cual podría lograrse aumentando el largo del sustrato y alcanzar mayores conversiones.

Se analizó de este estudio que otras posibles variables más significativas para el funcionamiento del catalizador y las conversiones requeridas, que podrían ser consideradas para posteriores estudios, son el largo del catalizador y la relación aire/combustible otorgada por el sensor lambda. Esto se debe a que la conversión está relacionada como se mencionó con el tiempo de retención de los gases y del contenido de oxígeno en la mezcla reactiva de los gases

antes y después del catalizador. Sin embargo, se debe analizar que en el caso de variar el largo del catalizador, se cuenta con limitaciones físicas del sistema. Y en el caso de la utilización del sensor lambda, también es necesario que el funcionamiento del motor se encuentre regulado y trabajando de mejor manera para que sea una variable significativa del estudio.

Se puede afirmar con estos resultados que los convertidores catalíticos son capaces de lograr conversiones significativas, bajo ciertas condiciones de operación. Además, se observó que están directamente relacionadas por la relación aire/combustible, como lo muestra el efecto significativo del flujo de aire en el diseño factorial. Por lo tanto, es viable su implementación en el sistema de escape del vehículo ultra eficiente para la reducción de las emisiones tóxicas.

Sin embargo, aún se debe considerar que en términos del funcionamiento del catalizador y la reducción de las emisiones tóxicas, las conversiones no pueden asociarse a los requerimientos mínimos de conversión debido a la falta de cuantificación. Esto con base en los estándares de calidad de aire exigidos actualmente para su uso en automóviles. Por esto, será necesario realizar un estudio posterior para alcanzar las condiciones de operación, que permita lograr que se cumpla con estos estándares. Y poder llevar a cabo un análisis cuantitativo de la composición de los gases de combustión, para asegurar el funcionamiento de convertidor catalítico. (Corvalán, y otros, 1999) (Sher, 1998)

IX. CONCLUSIONES

A. MÓDULO SENSORES

1. Al realizar un módulo que permite cambios de diseño según las necesidades de futuros desarrolladores, permite utilizar el sub módulo de interconexiones y el módulo Raspberry en varios tipos de proyectos. Dado que se pueden desarrollar diferentes sub módulos e interconectarlos mediante un RJ-45, esto permite utilizar estos módulos como una plataforma de desarrollo de aplicaciones de la Raspberry Pi B+.
2. Se debe prestar atención especial a la eficiencia de la programación, puesto que la implementación de interrupciones en la programación permitió que la actualización de datos en pantalla se diera en tiempo real. Al no utilizar interrupciones impedía tener los datos totalmente actualizados, lo cual es crítico en un automóvil de competencia.
3. El cambio a un SBC en lugar de un MCU permite que se puedan realizar mejoras drásticas al sistema sin necesidad de cambiar la unidad de cómputo, lo cual implicaría cambiar el módulo completo. Esto permite a futuros desarrolladores de otras fases del proyecto, utilizar el módulo y añadir otro módulo sin desechar el módulo desarrollado.
4. El despliegue amigable y claro al usuario fue determinante para el piloto. La forma de despliegue y los colores utilizados fueron las modificaciones finales de corrección que pidió el piloto para poder utilizar de manera efectiva el módulo de sensores.
5. Se logró desplegar los datos de RPM, Velocidad, temperatura, conteo de vueltas, indicadores de cambio de velocidad en relación a las RPM y el despliegue de estos datos en pantalla en una interfaz gráfica en una pantalla LCD.
6. El desarrollo de tres modos distintos de despliegue de datos, permite al piloto tener los datos de forma clara y tener los datos más importantes según la actividad que esté realizando.

B. MÓDULO TRANSMISIÓN DE DATOS INALÁMBRICO

1. Los módulos utilizados fueron los Xbee Pro 900, los cuales brindan un mejor resultado en cuanto alcance.

2. Se obtiene un alcance de más de un kilómetro en ambientes ideales, donde no existen obstáculos que interfieran en la línea de vista del transmisor y el receptor, sin embargo estos ambientes no son los que se manejan dentro de la pista de la competencia de la Shell Eco Marathon.
3. Se logró caracterizar la señal proveniente del puerto serial RS232 de la unidad de control, la cual está compuesta de 27 bytes. 1 byte es el checksum, 6 pertenecen al encabezado y los 20 restantes a los 10 sensores que posee conectados.
4. Se logró establecer comunicación entre la unidad de control ECU y los transmisores Xbee, no se establece comunicación con una unidad de procesamiento ya que no se requiere.
5. Se logró verificar la recepción de los datos transmitidos y la recuperación de los mismos mediante el uso de Xbees. Se considera innecesario el uso de un sistema de procesamiento de datos para la información proveniente de la unidad de control. Los módulos Xbees son capaces de transmitir la información sin necesidad de un procesamiento previo.
6. Se logró verificar que el software de recepción de datos de la unidad de control ECU, llamado ProCal, interprete correctamente los datos provistos por el transmisor Xbee.
7. Se logró implementar un sistema de transmisión inalámbrico para la información proveniente de la unidad de control utilizando Xbees.

C.MÓDULO EMBRAGUE CENTRÍFUGO

1. El embrague seleccionado permitirá que el vehículo se mantenga estacionario ya que la velocidad de ralentí del motor es de 2,000 r.p.m y la velocidad de accionamiento es de 4,000 r.p.m.
2. La implementación de un embrague centrífugo da al piloto una mayor facilidad de movilizar el vehículo a partir del reposo, ya que el movimiento del mismo se inicia únicamente accionando el acelerador, eliminando así el pedal de embrague que poseía el tipo de embrague anterior y dotando de más espacio al conductor.

3. El peso del mecanismo de embrague completo es de 2.16 kg lo cual es un 15% del peso planteado como objetivo. El peso se redujo considerablemente ya que este tipo de embrague no necesita de un mecanismo de accionamiento (pedal y cable). Y la eficiencia de este tipo de embrague es de 90%.
4. Las pruebas de campo del nuevo sistema de embrague se pospusieron dado que el vehículo se encuentra en modificaciones del chasis, por lo que se planificarán en conjunto con las personas a cargo de dicha modificación.

D. MÓDULO CONVERTIDOR CATALÍTICO

1. El diseño y construcción de los convertidores catalíticos permitió su funcionamiento correcto, y alcanzar las condiciones mínimas de temperatura y de caída de presión, con valores promedio de 229.0°C y 0.11 psig respectivamente.
2. Los convertidores catalíticos son capaces de realizar la conversión de los gases de combustión, G.C.T. 1 y 2, analizados con el método propuesto de cg-tcd. Las máximas conversiones fueron entre -4.70% y 123.40% para las condiciones de flujo máximo de aire y el convertidor de 2 cm de diámetro, de 28.85% con flujo medio de aire y el convertidor de 3 cm, y entre -0.93% y 51.03% con flujo máximo de aire y el convertidor de 4 cm, en todos los casos correspondientes al G.C.T. 2.
3. Se encontró que la variable de diseño más significativa para la conversión de los gases de combustión fue el flujo de aire ingresado al motor. Esta variable obtuvo un valor p de 0.0028 para la conversión 1 y 0.0038 para la conversión 2.
4. El diámetro no resultó ser una variable significativa para la conversión de los gases de combustión. Puesto que obtuvo un valor p de 0.8650 para la conversión 1 y 0.9139 para la conversión 2.
5. Con base a los resultados del analizador de gases y la teoría de combustión, se puede afirmar que el gas de combustión tóxico 1 (G.C.T.1), relacionado al primer pico de las cromatografías analizadas con el método establecido de cg-tcd, corresponde al monóxido de carbono (CO).
6. El gas de combustión tóxico 2 (G.C.T.2) asociado al segundo pico de las cromatografías de gases no pudo ser identificado. Ya que el comportamiento de las conversiones entre

los resultados del método de cg-tcd y del analizador Enerac 700 difieren. Además, estos resultados son similares tanto para el CO₂ como para el NO, lo que no permite una selección adecuada.

7. Debido a la falta de identificación y cuantificación de los gases de combustión tóxicos, no puede afirmarse que el grado de conversión logrado de las emisiones, se encuentre en el rango de 90 a 95% de un funcionamiento correcto de un convertidor catalítico.

X. RECOMENDACIONES

A. MÓDULO SENSORES

1. Para una comunicación a distancia con otro dispositivo se deberá añadir un módulo, que utilice un protocolo estándar a los demás módulos que puedan existir en el vehículo, a manera de mantener la modularidad en todo el diseño del automóvil o similar.
2. Mejorar la forma de instalación de la pantalla en el automóvil o en su defecto cambiarla, a manera de acoplarla de mejor manera en el vehículo. Dicha pantalla deberá tener conexión RCA o HDMI.
3. Buscar una mejor ubicación final para el sistema de control del módulo, a manera de mantener lo más seguro posible el sistema. Actualmente se encuentra cerca del suelo, sería ideal un área más ventilada y menos propensa a daños.
4. Al momento de realizar nuevos sub módulos, no olvidar que no se debe utilizar más que los pines de voltajes de los RJ-45 del módulo de interconexiones para alimentarlos o en caso de necesidad utilizar relevadores para no utilizar otros voltajes como entrada en la Raspberry. De lo contrario podrían dañar total o parcialmente el módulo de la Raspberry.
5. Si se desea implementar un control de autos rebasando en el proyecto, debe de utilizarse este módulo para ahorrar espacio en el vehículo y utilizar al máximo la capacidad de procesamiento de este módulo. Es una función que se podría agregar en modo de competencia o normal.

B. MÓDULO TRANSMISIÓN DE DATOS INALÁMBRICO

1. Se recomienda la consideración de sistemas de transmisión mucho más robustos a los expuestos, aunque el costo sea mayor. Para garantizar en su totalidad la transmisión constante de datos durante su uso.

2. Se recomienda el uso de repetidoras dentro del área de movilidad del vehículo, para garantizar el alcance de transmisión del sistema o si se desea ampliarla.
3. Se recomienda el uso de antenas de mayor ganancia, ya que esto brindara un alcance superior a los transmisores sin realizar mayores modificaciones. Siempre utilizando antenas RPSMA.
4. Se recomienda elaborar pruebas bajo condiciones poco ideales, ya que esto brindara una mejor perspectiva sobre la funcionalidad de la configuración empleada.
5. Es necesario siempre considerar todas las configuraciones propias de los módulos Xbee. Especialmente el Baud Rate y el tiempo de paquetización, ya que son dos factores que podrían limitar la transmisión.
6. Siempre realizar un análisis previo de la señal o datos que se desean transmitir, ya que esto determina el tipo de transmisores que se requieren o si se llegase a necesitar una plataforma de procesamiento. Ya que en algunos casos los mismos transmisores son capaces de cumplir con los requerimientos en su totalidad.

C. MÓDULO CONVERTIDOR CATALÍTICO

1. Buscar un sustituto del silicón de alta temperatura para rellenar las uniones de las piezas metálicas, que sea capaz de resistir las condiciones y no se caiga debido a las vibraciones del sistema. Esto debido a que el material a pesar de ser resistente a las altas temperaturas, aún es inflamable y podría dañar el convertidor catalítico. De ser posible, sería ideal que las piezas fueran unidas por soldadura especial para acero galvanizado y tener una estructura completamente rígida.
2. Incorporar el sensor lambda para regular la eficiencia de combustión de motor Honda GHX-50, que a su vez permitiría alcanzar las condiciones óptimas de composición de la mezcla gaseosa para el funcionamiento del convertidor catalítico.
3. Debido a que el diámetro del catalizador no fue una variable significativa, se recomienda evaluar otras variables que puedan tener influencia sobre la eficiencia de conversión del catalizador como el largo del catalizador y la relación aire/combustible.

4. Realizar un análisis estadístico para validar el método de análisis por cromatografía de gases, debido a que se observó una alta repetibilidad y reproducibilidad de las muestras analizadas. Esto le daría mayor validez al estudio y certeza a los resultados obtenidos.
5. Comprar estándares gaseosos para poder cuantificar los resultados por cromatografía de gases. Sobre todo de dióxido de carbono (CO_2) grado analítico, ya que fue detectado por el equipo y podría relacionarse su concentración con la del resto de compuestos.
6. Limpiar los viales de recolección de muestras así como las jeringas de inyección entre cada muestra, para asegurar que no hayan remanentes de una muestra anterior. Esto debido a que se observó que las muestras gaseosas son difíciles de limpiar únicamente por purgado con aire.
7. Realizar las pruebas a temperatura isotérmica para asegurar que las condiciones sean iguales durante el muestreo, para las muestras antes y después del catalizador. Esto se debe a que la temperatura está directamente relacionada con la conversión del catalizador y modifica la composición química. Esto se puede realizar utilizando el analizador de temperatura Extech, que posee la capacidad de analizar dos termocuplas simultáneamente.

XI. BIBLIOGRAFÍA

A. MÓDULO SENSORES

- Adafruit, 2014. *Introducing the Raspberry Pi Model B+*. [En línea] Available at: <https://learn.adafruit.com/downloads/pdf/introducing-the-raspberry-pi-model-b-plus-plus-differences-vs-model-b.pdf> [Último acceso: Abril 2015].
- Adafruit, 2014. *Raspberry Pi B+*. [En línea] Available at: <https://www.adafruit.com/datasheets/pi-specs.pdf>
- Adafruit, 2015. *Adafruit Ultimate GPS Breakout - 66 channel w/10 Hz updates - Version 3*. [En línea] Available at: <http://www.adafruit.com/products/746> [Último acceso: Octubre 2015].
- Adafruit, 2015. *Introducing the Raspberry Pi Model B+*. [En línea] Available at: <https://learn.adafruit.com/downloads/pdf/introducing-the-raspberry-pi-model-b-plus-plus-differences-vs-model-b.pdf>
- Adafruit, 2015. *Raspberry Pi B+*. [En línea] Available at: <https://www.adafruit.com/products/1914> [Último acceso: Octubre 2015].
- ada, I., 2014. *Adafruit Ultimate GPS*. [En línea] Available at: <http://digitalmedia.architecture.yale.edu/sites/default/files/files/arduino/adafruit-ultimate-gps.pdf> [Último acceso: Abril 2015].
- Ali M. Niknejad, R. G. M., s.f. *Analysis of Eddy-Current Losses Over Conductive Substrates with Applications to Monolithic Inductors and Transformers*. [En línea] Available at: <http://rfic.eecs.berkeley.edu/~niknejad/pdf/mtt01.pdf>
- Arduino.cc, 2015. *Introduction, What is Arduino?*. [En línea] Available at: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>

- Arduino, 2015. *Arduino Board Due*. [En línea]
Available at: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardDue>
[Último acceso: Octubre 2015].
- Autonics, 2015. *Autonics, sensors and controllers*. [En línea]
Available at: <https://www.autonics.com/>
[Último acceso: Octubre 2015].
- BeagleBone, 2015. *BeagleBone Black*. [En línea]
Available at: <http://beagleboard.org/BLACK>
[Último acceso: Octubre 20115].
- Bradley, A., 2015. *Inductive proximity sensors*. [En línea]
Available at: http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/ca/c116-ca502_-en-p.pdf
- CanaKit, 2014. *Raspberry Pi B+ - Complete Starter Kit*. [En línea]
Available at: <http://www.canakit.com/raspberry-pi-starter-kit.html>
[Último acceso: Octubre 2015].
- Diéguez, J. L., 2015. *ROBOT RECORRE TUBERIAS. CIRCUITO Y FUNCIONAMIENTO SENSOR HC-SR04*. [En línea]
Available at: <http://granabot.es/robot-recorre-tuberias-circuito-y-funcionamiento-sensor-hc-sr04/>
[Último acceso: Octubre 2015].
- Diosdado, R., 2015. *Sensor de ultrasonidos HC-SR04*. [En línea]
Available at: <http://www.zonamaker.com/arduino/módulos-sensores-y-shields/ultrasonido-hc-sr04>
- Frantz, P., s.f. *What is a Microcontroller?*. [En línea]
Available at: <http://cnx.org/content/m11655/latest/>
[Último acceso: 20 02 2013].
- Goblin, 2015. *Goblin control industrial*. [En línea]
Available at: <http://www.goblincontrol.com.mx/>
[Último acceso: Octubre 2015].
- Hassig, S., 2015. *Single-Board Computer (SBC) Hardware and Software Capabilities for Real-Time Processing*. [En línea]
Available at:

<http://www.ece.gatech.edu/academic/courses/ece4007/10spring/ECE4007L04/tm1/TP2.pdf>

- Industrial, G. C., 2015. *Sensores fotoeléctricos*. [En línea]
Available at: <http://www.rim.com.mx/enfoquerim/3/90338.html>
- Instruments, N., 2015. *Sensores de temperatura*. [En línea]
Available at: <http://www.ni.com/white-paper/10635/es/>
- Integrated, m., 2015. *GLOSSARY OF ELECTRICAL ENGINEERING TERMS*. [En línea]
Available at: <https://www.maximintegrated.com/en/glossary/definitions.mvp/>
- Integrated, M., 2015. *Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer DS18B20*. [En línea]
Available at: <http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>
- Kean, L. E., 2010. *Microcontroller to Intel Architecture Conversion*. [En línea]
Available at: <http://www.intel.com/content/dam/www/public/us/en/documents/white-papers/microcontroller-ia-conversion-paper.pdf>
- Lappin, A., 2015. *Using an Ultrasonic Sensor (HC-SR04) on a Raspberry Pi with Python*. [En línea]
Available at: <http://www.bytecreation.com/blog/2013/10/13/raspberry-pi-ultrasonic-sensor-hc-sr04>
- Lappin, A., 2015. *Using an Ultrasonic Sensor (HC-SR04) on a Raspberry Pi with Python*. [En línea]
Available at: <http://www.bytecreation.com/blog/2013/10/13/raspberry-pi-ultrasonic-sensor-hc-sr04>
[Último acceso: Octubre 2015].
- MATT, 2014. *Raspberry Pi B+ GPIO Header Details And Pinout*. [En línea]
Available at: <http://www.raspberrypi-spy.co.uk/2014/07/raspberry-pi-b-gpio-header-details-and-pinout/>
[Último acceso: Abril 2015].
- Microchip, 2015. *Microchip*. [En línea]
Available at: <http://www.microchip.com/wwwproducts/Devices.aspx?product=PIC16F887>
[Último acceso: Octubre 2015].

- Mikroelektronika, 2015. *Nano GPS click*. [En línea] Available at: <http://www.mikroe.com/click/nano-gps/> [Último acceso: Octubre 2015].
- Monk, S., 2015. *Adafruit's Raspberry Pi Lesson 11. DS18B20 Temperature Sensing*. [En línea] Available at: <https://learn.adafruit.com/downloads/pdf/adafruits-raspberry-pi-lesson-11-ds18b20-temperature-sensing.pdf> [Último acceso: Abril 2015].
- mxgxw, 2013. *Velocímetro Digital con la Raspberry Pi y el GPS Venus*. [En línea] Available at: <https://www.raspberrypi.org/forums/viewtopic.php?f=76&t=44881> [Último acceso: Abril 2015].
- ProSense®, 2015. *ProSense® Temperature Sensors & Transmitters*. [En línea] Available at: http://www.automationdirect.com/adc/Overview/Catalog/Process_Control_-a-Measurement/Temperature_Sensors_-a-Transmitters [Último acceso: Octubre 2015].
- Raspberrypi.org, 2015. *WHAT IS A RASPBERRY PI?*. [En línea] Available at: <https://www.raspberrypi.org/help/what-is-a-raspberry-pi/>
- Shell, 2015. *About Shell Eco-marathon*. [En línea] Available at: <http://www.shell.com/global/environment-society/ecomarathon/about.html> [Último acceso: octubre 2015].
- Shell, 2015. *Shell Eco-marathon Americas 2016 Overview*. [En línea] Available at: <http://s02.static-shell.com/content/dam/shell-new/local/corporate/ecomarathon/downloads/pdf/americas/sem-americas-2016-overview-slides-030615.pdf> [Último acceso: Octubre 2015].
- Skillten, O. C., 2015. *SENSORES INDUCTIVOS*. [En línea] Available at: http://www.skillten.com/cursos/sensredcpi/semana2/inductivos_funcionamiento.pdf
- Townsend, K., 2014. *Adafruit Ultimate GPS on the Raspberry Pi*. [En línea] Available at: <https://learn.adafruit.com/downloads/pdf/adafruit-ultimate-gps-on-the->

[raspberry-pi.pdf](#)

[Último acceso: Abril 2015].

B. MÓDULO TRANSMISIÓN DE DATOS INALÁMBRICO

- Arduino, 2015. *Arduino*. [En línea] Available at: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560> [Último acceso: Octubre 2015].
- Bateman, A., 2003. *Comunicaciones digitales*. Barcelona: s.n.
- Catarina, U., s.f. [En línea] Available at: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lep/ramos_p_a/capitulo4.pdf
- Digi International Inc, 2008. *Zigbee Vs Digimesh*. [En línea] Available at: http://www.digi.com/pdf/wp_zigbeevsdigimesh.pdf
- Digi, 2015. *Digi Modules*. [En línea] Available at: <http://www.digi.com/products/xbee-rf-solutions/modules> [Último acceso: Octubre 2015].
- Ecotrons, 2015. *Ecotrons*. [En línea] Available at: <http://www.ecotrons.com/> [Último acceso: Octubre 2015].
- Faludi, R., 2015. *Building Wireless sensor networks*. [En línea] Available at: <http://ab-log.ru/files/File/books/WirelessSensorNetwork.pdf> [Último acceso: Octubre 2015].
- Franks, I. E., 1975. *Teoría de la señal*. Barcelona: Prentice-Hall.
- Herrera, 2004. *Introduccion a las telecomunicaciones modernas*. Mexico: s.n.
- Kenneth C. Laudon, J. P. L., 2004. *Sistemas de información gerencial*. Mexico: Pearson.
- Sparkfun, 2015. *Sparkfun*. [En línea] Available at: <https://www.sparkfun.com/products/449> [Último acceso: Octubre 2015].
- UASLP, M., 2015. *Tutorial Xbee parte 1: ¿Qué es un Xbee y qué es necesario?*. [En línea]

Available at: <https://mecatronicauaslp.wordpress.com/2013/07/04/xbee-parte-1-que-es-un-xbee-y-que-es-necesario/>

[Último acceso: Octubre 2015].

- Xbee.cl, 2015. *¿QUÉ ES XBEE?*. [En línea] Available at: <http://xbee.cl/que-es-xbee/> [Último acceso: Octubre 2015].
- Xbee.cl, 2015. *Xbee*. [En línea] Available at: <http://xbee.cl/> [Último acceso: Octubre 2015].

C. MÓDULO EMBRAGUE CENTRÍFUGO

- Avilico, 2015. *El embrague..* [En línea] Available at: <http://html.rincondelvago.com/el-embrague.html>
- Budynas, R. & Nisbett, K., 2008. *Shigley's Mechanical Engineering Design*. Octava ed. s.l.:McGraw-Hill.
- Calle, G. & Henao, E., 2015. *Deformación de las propiedades mecánicas de los materiales sometidos a flexión*. [En línea] Available at: <http://www.utp.edu.co/~gcalle/FLEXION.pdf>
- Camarena Lillo, F., s.f.. *Diseño del embrague de un vehículo*, Madrid: Tesis escuela politécnica superior universidad Carlos III de Madrid.
- Castillo Ocañas, J. L., 1984. *Análisis de embragues*, Nuevo León: Universidad autónoma de nuevo león.
- Crane, N. B., 1999. *Compliant Centrifugal Clutches: Design, Analysis, and Testing*, Provo: Tesis Brigham Young University.
- Del metal, 2015. *Metales no ferrosos. Aluminio 6061*. [En línea] Available at: www.delmetal.com.ar
- Ferdinand, B., Johnston, R. & Dewolf, J., s.f.. *Mechanics of materials*. Quinta ed. New York: s.n.
- Gopinath, K. & Mayuram, M., 2015. *Machine design II, Clutch*. [En línea] Available at: http://nptel.ac.in/courses/IIT-MADRAS/Machine_Design_II/pdf/3_5.pdf

- Hijazi, A., 2015. *Clutches, Brakes, Couplings and Flywheels*. [En línea]
Available at: <http://www.eis.hu.edu.io/acuploads/10526/ch%2016.pdf>
- Honda Motor Co, 2009. *Owners manual, GXH 50*, s.l.: Honda Motor Co.
- Industrialmagza.com, 2015. *Embragues y frenos, generalidades y cálculos*. [En línea]
Available at: <http://www.industrialmagza.com/pdf/goizper/Catalogo%20Embragues%20y%20frenos/generalidades.pdf>
- Kamaluddin, K., 2015. *Automotive clutch*. [En línea]
Available at: <http://www.slideshare.net/KhusroKamaluddin/automotive-clutch>
- Nitinchandra, R. P., Sanketkumar, D., Vijay, T. & Manish, B., 2013. Design of centrifugal clutch by alternative approaches used in different applications.. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, Abril, 1(4), p. 9.
- Rmcet.com, 2015. *Chapter 24, clutches*.. [En línea]
Available at: <http://www.rmct.com/lib/Resources/E-Books/Mech-auto/E-Books%20Machine%20Design-Khurmi%20R.s/CHP-24.pdf>
- Skyforce Racing, 2015. *Honda GXH50*.. [En línea]
Available at: <http://skyforceracing.com/honda-gxh50/>
- Slideshare, s.f. *Embragues y convertidores de par*.. [En línea]
Available at: <http://image.slidesharecdn.com/ud2sistemasdetransmisionyfrenado-131009110404-phpapp02/95/ud2-sistemas-de-transmision-y-frenado-27-638.jpg?cb=1381316772>
- Suco Tehnologies inc., 2015. *Transmission technology, centrifugal clutches*.. [En línea]
Available at: http://www.suco-tech.com/images/uploads/Clutch_catalog_July08_web.pdf
- Tecniaceros, s.f. *Varios Acero*. [En línea]
Available at: ventas@tecniaceros.com
- Uclm.es, 2015. *Embragues*. [En línea]
Available at: <https://www.uclm.es/profesorado/porrasysoriano/maquinaria/temas/embragues.pdf>
- Uclm.es, 2015. *Problemas de embragues*. [En línea]
Available at:

https://www.uclm.es/profesorado/porrasysoriano/maquinaria/problemas/P_Embragues.pdf

D. MÓDULO CONVERTIDOR CATALÍTICO

- AA1Car, 2015. *Catalytic Converter*. [En línea] Available at: <http://www.aa1car.com/library/converter.htm> [Último acceso: 09 Junio 2015].
- AECC, 2015. *Introduction to the technology for emissions control*. [En línea] Available at: <http://www.aecc.be/en/Technology/Introduction.html> [Último acceso: 09 Junio 2015].
- Aficionados a la mecánica, 2014. *Sistemas de Anticontaminación. Catalizadores..* [En línea] Available at: <http://www.aficionadosalamecanica.com/catalizadores.htm> [Último acceso: 10 Junio 2015].
- Agilent Technologies, 2015. *DB-WAX*. [En línea] Available at: <http://www.agilent.com/en-us/products/gas-chromatography/gc-columns/capillary/db-wax> [Último acceso: 25 Octubre 2015].
- Agilent Technologies, 2015. *HP-5ms*. [En línea] Available at: <http://www.agilent.com/en-us/products/gas-chromatography/gc-columns/capillary/hp-5ms> [Último acceso: 25 Octubre 2015].
- Agilent Technologies, 2015. *HP-PLOT Q*. [En línea] Available at: <https://www.agilent.com/en-us/products/gas-chromatography/gc-columns/capillary/hp-plot-q> [Último acceso: 25 Octubre 2015].
- Barquero, M., 2006. *Principios y aplicaciones de la cromatografía de gases. Cromatografía de gases..* [En línea] Available at: http://books.google.com.gt/books?id=g3o_PUTmr3wC&printsec=frontcover#v=onepa

ge&q&f=false

[Último acceso: 10 Junio 2015].

- BASF, 2015. *How catalytic converters work.* [En línea] Available at: <http://www.catalysts.basf.com/p02/USWeb-Internet/catalysts/en/content/microsites/catalysts/prods-inds/mobile-emissions/how-it-works>
[Último acceso: 08 Junio 2015].
- Brown, T., LeMay, H., Bursten, B. & Murphy, C., 2009. *Química, la ciencia central.* 10a ed. México: Pearson Educación.
- CatalyticConverter.org, 2004. *Catalytic Converter Design.* [En línea] Available at: <http://www.catalyticconverter.org/design/index.htm>
[Último acceso: 10 Junio 2015].
- Chew, G., 2011. *Diseño de un sistema electrónico para la detección de fallas en motores de combustión interna basado en la medición del flujo de masa de aire de admisión.* [En línea] Available at: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0287_EO.pdf
[Último acceso: 10 Junio 2015].
- Clark, J., 2013. *Types of catalysis.* [En línea] Available at: <http://www.chemguide.co.uk/physical/catalysis/introduction.html>
[Último acceso: 09 Junio 2015].
- Corvalán, R. y otros, 1999. *Análisis de Normas de Homologación y Recambio de Convertidores Catalíticos. Informe Final.*, Santiago, Chile: Universidad de Chile.
- Estructplan, 2004. *Tratamiento. Dispositivos catalíticos sobre monolíticos metálicos.* [En línea] Available at: <http://www.estructplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=808>
[Último acceso: 09 Junio 2015].
- Guevara, M., 2010. *Metodología de pruebas para la evaluación de convertidores catalíticos en motores a gasolina.* [En línea] Available at: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2255/1/CD-2998.pdf>
[Último acceso: 10 Junio 2015].
- Heselton, K., 2005. *Boiler Operator's Handbook.* New York: Marcel Dekker, Inc..

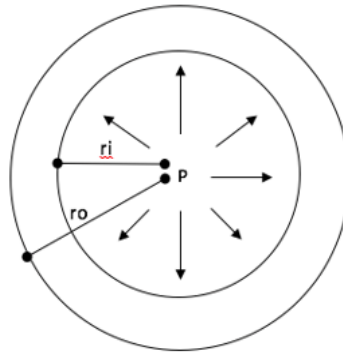
- Klingenberg, H., 1996. *Automobile exhaust emission testing: measurement of regulated and unregulated exhaust gas components, exhaust emission tests*. Berlin, Alemania: Springer.
- López, A. y otros, 2014. *Diseño y construcción de un vehículo ultraeficiente*, Guatemala: Universidad del Valle de Guatemala.
- Paucar, W., 2011. *Rediseño del ducto de escape de los motores Alco en las cinco estaciones de bombeo del sote..* [En línea] Available at: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4073/1/CD-3819.pdf> [Último acceso: 10 Junio 2015].
- Shell, 2015. *Shell Eco-marathon.* [En línea] Available at: <http://www.shell.com/global/environment-society/ecomarathon.html> [Último acceso: 10 Junio 2015].
- Sher, E., 1998. *Handbook of air pollution from internal combustion engines..* San Diego, United States of America.: Academic Press.
- Skoog, D., Holler, F. & Crouch, S., 2001. *Principios de análisis instrumental.* 5a ed. España: McGraw-Hill Interamericana.
- Smith, J., Van Ness, H. & Abbott, M., 2007. *Introducción a la termodinámica en ingeniería química..* 7th ed. México: McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A. de C.V..
- Trujillo, O., 2006. *Análisis de pesticidas por cromatografía de gases..* [En línea] Available at: http://books.google.com.gt/books?id=Jpm0C4Ml6K8C&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false [Último acceso: 10 Junio 2015].
- Tubomax, 2013. *Sonda Lambda.* [En línea] Available at: <http://www.catalizadores.eu/content/13-sonda-lambda> [Último acceso: 10 Junio 2015].
- Varcárcel, M. & Gómez, A., 1988. *Técnicas analíticas de separación. Cromatografía de gases (I)..* [En línea] Available at: <http://books.google.com.gt/books?id=WPYYF75dejsC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false> [Último acceso: 10 Junio 2015].

XII. ANEXOS

A. MÓDULO EMBRAGUE CENTRÍFUGO

1. Cálculo de tambor

Figura 165. Dimensiones de tambor.



$$P = 53.16 \text{ psi}$$

$$r_o = 1.74 \text{ in}$$

$$r_i = 1.54 \text{ in}$$

Con estos datos se procede a ingresarlos en la siguiente fórmula:

$$\sigma_{\max} = P \frac{r_o^2 + r_i^2}{r_o^2 - r_i^2}$$

$$\sigma_{\max} = 427.53 \text{ psi} \rightarrow 3.01 \text{ MPa}$$

2. Cálculos del eje

Figura 166. Dimensiones del eje.



$$T = 2.7 \text{ Nm}$$

$$D = 25 \text{ mm}$$

$$d = 12 \text{ mm}$$

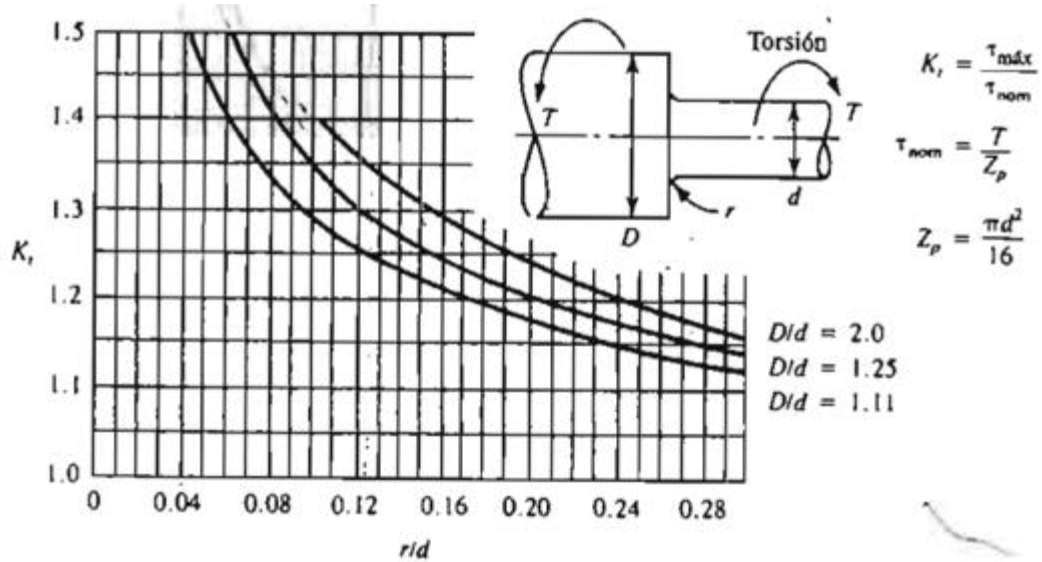
$$r = 2 \text{ mm}$$

Con estos datos se calcula:

$$\frac{D}{d} = 2.08$$

$$\frac{r}{d} = 0.16$$

Con los dos datos anteriores se busca en la figura:

Figura 167. Diagrama K_t vs r/d .

(Mott, 2006)

Se obtiene:

$$K_t = 1.29$$

$$Z_t = 28.27$$

$$\sigma = \frac{T * D/2}{J}$$

Donde:

$$J = \frac{D^4 \pi}{32}$$

Entonces se tiene que:

$$\sigma = 0.88 \text{ MPa}$$

Ahora se calcula el esfuerzo nominal y el esfuerzo máximo:

$$\sigma_{\text{Nominal}} = \frac{\sigma}{Z_t}$$

$$\sigma_{\text{Nominal}} = 0.03 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{Max}} = \frac{\sigma_{\text{Nominal}}}{K_t}$$

$$\sigma_{\text{Max}} = 0.040 \text{ MPa}$$

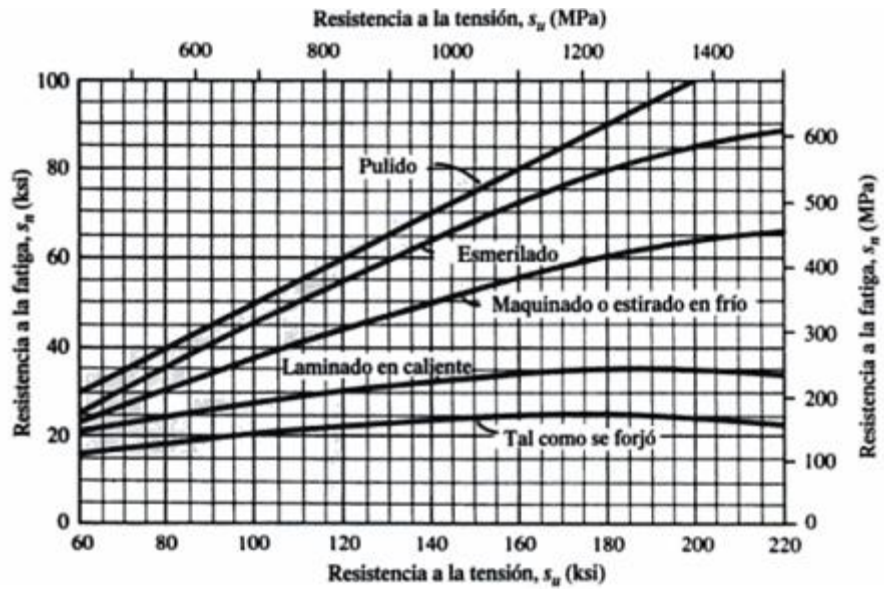
Como se puede observar el esfuerzo máximo es de una pequeña magnitud al igual que el obtenido mediante el software que es de 0.0088 MPa. Esta diferencia pudo ser causada por simetrías que no se tomaron en cuenta en los cálculos anteriores y el software si las tomó en cuenta.

3. Cálculos de carga dinámica en el tambor. Sabiendo que el material del tambor es de acero rolado en frío según Mott (2006), se tiene que:

- Resistencia a la tensión: 448 MPa ó 64.97 kpsi.
- Resistencia a la fluencia: 538 MPa ó 78.03 kpsi.

Con estos datos se obtiene de la siguiente gráfica, la resistencia a la fatiga:

Figura 168. Diagrama de resistencia a la fatiga vs resistencia a la tensión.



(Mott, 2006)

Resistencia a la fatiga:

$$S_n = 160 \text{ MPa (de la figura anterior)}$$

Factor de material:

Figura 169. Factor de material.

$$k_a = aS_{ut}^b$$

Surface Finish	Factor <i>a</i>		Exponent <i>b</i>
	<i>S_{ut}</i> , kpsi	<i>S_{ut}</i> , MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de forjado	39.9	272.	-0.995

(Budynas & Nisbett, 2008)

Entonces:

$$C_m = 0.84$$

Factor de tamaño:

Figura 170. Factor de tamaño.

$$k_b = \begin{cases} (d/0.3)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107} & 0.11 \leq d \leq 2 \text{ in} \\ 0.91d^{-0.157} & 2 < d \leq 10 \text{ in} \\ (d/7.62)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1.51d^{-0.157} & 51 < d \leq 254 \text{ mm} \end{cases}$$

(Budynas & Nisbett, 2008)

Con diámetro = 88.5 mm

$$C_s = 0.74$$

Factor de carga:

Figura 171. Factor de carga.

$$k_c = \begin{cases} 1 & \text{Flexión} \\ 0.85 & \text{Axial} \\ 0.59 & \text{Torsión} \end{cases}$$

(Budynas & Nisbett, 2008)

$$C_{st} = 1, \text{ Flexión}$$

Factor de confiabilidad

$$C_r = 0.81 \text{ por confiabilidad de } 0.99$$

Según lo anterior se obtiene un esfuerzo de a la fatiga (S'_n):

$$S'_n = S_n * C_m * C_s * C_{st} * C_r$$

$$S'_n = 80.55 \text{ MPa}$$

Estimación de ciclos de vida antes de la falla

$$S_{ut} = 448 \text{ Mpa}$$

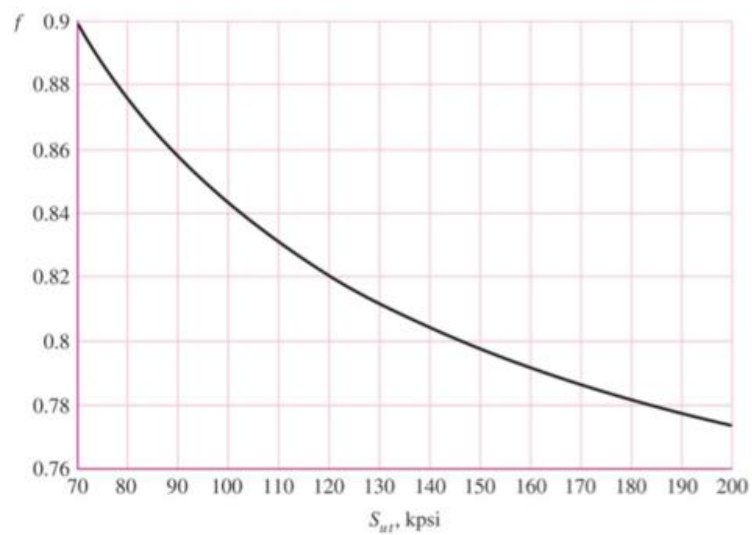
Figura 172. Ciclos de vida antes de la falla.

$$S'_c = \begin{cases} 0.5S_{ut} & S_{ut} \leq 200 \text{ kpsi (1 400 MPa)} \\ 100 \text{ kpsi} & S_{ut} > 200 \text{ kpsi} \\ 700 \text{ MPa} & S_{ut} > 1 400 \text{ MPa} \end{cases}$$

(Budynas & Nisbett, 2008)

De la gráfica se obtiene el factor f.

Figura 173. Diagrama f vs S_{ut} .



(Budynas & Nisbett, 2008)

Donde

$$f = 0.9$$

Figura 174. Factor a.

$$a = \frac{(f S_{ut})^2}{S_e}$$

(Budynas & Nisbett, 2008)

$$a = 725.76 \text{ Mpa}$$

Figura 175. Factor b.

$$b = -\frac{1}{3} \log \left(\frac{f S_{ut}}{S_e} \right)$$

(Budynas & Nisbett, 2008)

$$b = -0.085$$

Figura 176. Número de ciclos.

$$N = \left(\frac{\sigma_{rev}}{a} \right)^{1/b}$$

(Budynas & Nisbett, 2008)

Con un esfuerzo de 3.01 MPa, obtenido en el cálculo del tambor.

$$N = 1.0621 * 10^{28} \text{ ciclos}$$

Con el resultado anterior se puede asegurar que el embrague no fallará por fatiga.

4. Planos

Figura 177. Plano de tambor.

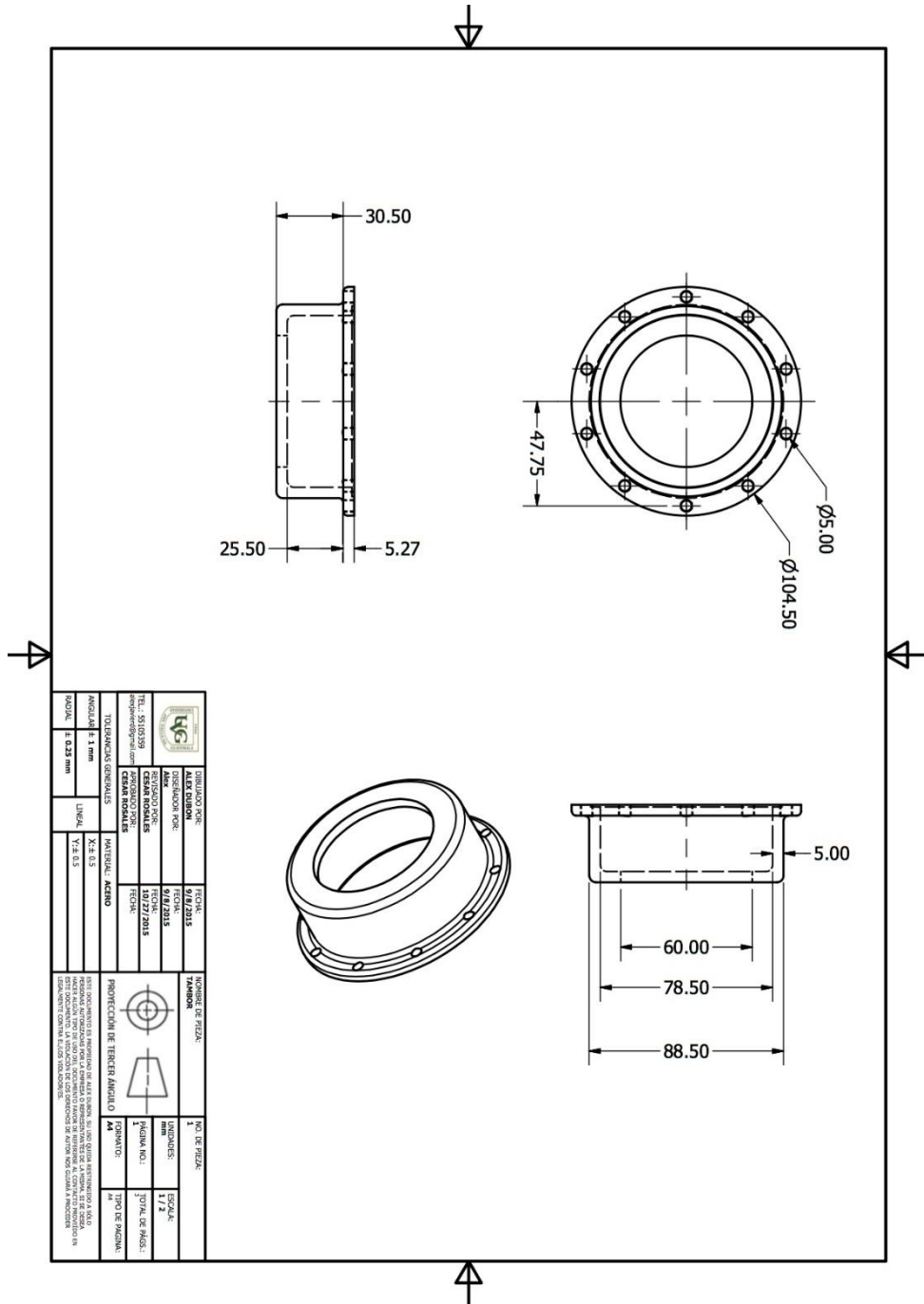


Figura 178. Plano de eje.

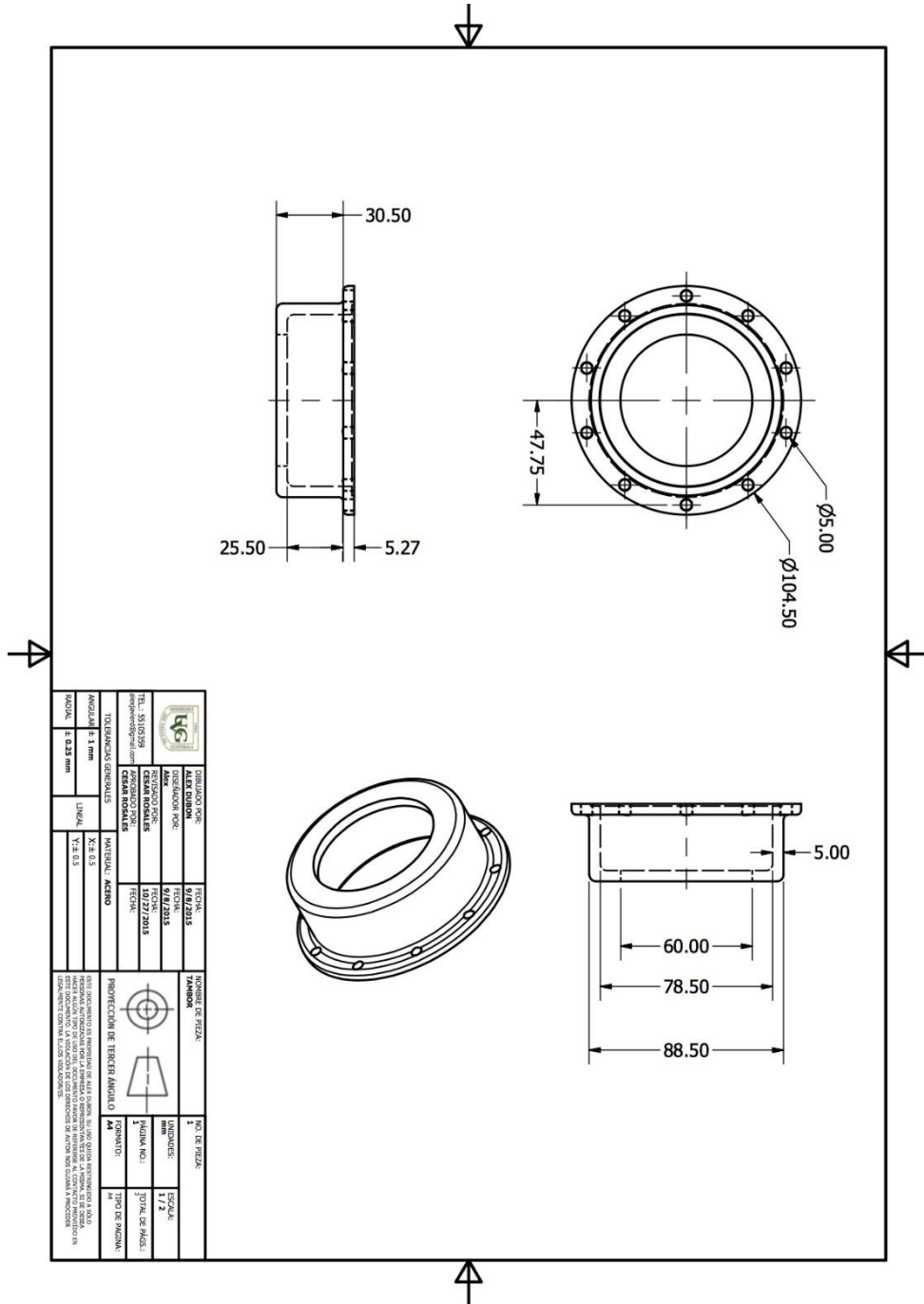
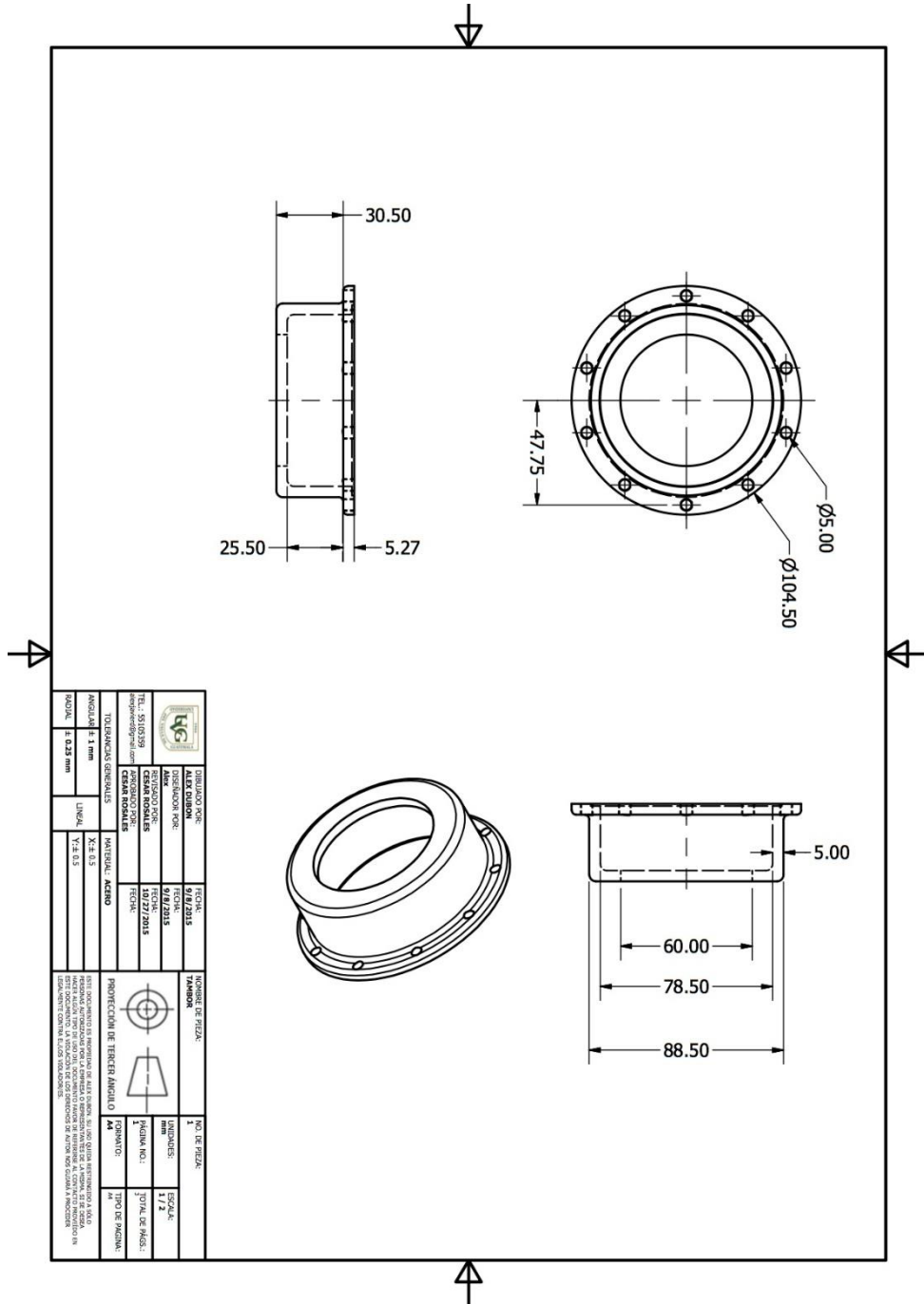


Figura 179. Plano de ensamble.



B. MÓDULO CONVERTIDOR CATALÍTICO

1. Análisis de resultados secundarios.

a. Resultados de diseño y construcción intermedios

Cuadro 22. Temperaturas de muestras analizadas por gc-tcd para el sistema carburado con gasolina.

Diámetro (cm)	Flujo de aire (posición)	T gases (°C)
2	Mínimo	210
		300
	Máximo	195
		240
3	Medio	215
		200
		290
4	Mínimo	217.5
		250
	Máximo	197.5
		210

b. Resultados de conversión intermedios.

Cuadro 23. Resultados de la conversión de los compuestos CO₂ y N₂O con cg-tcd para el sistema inyectado con etanol.

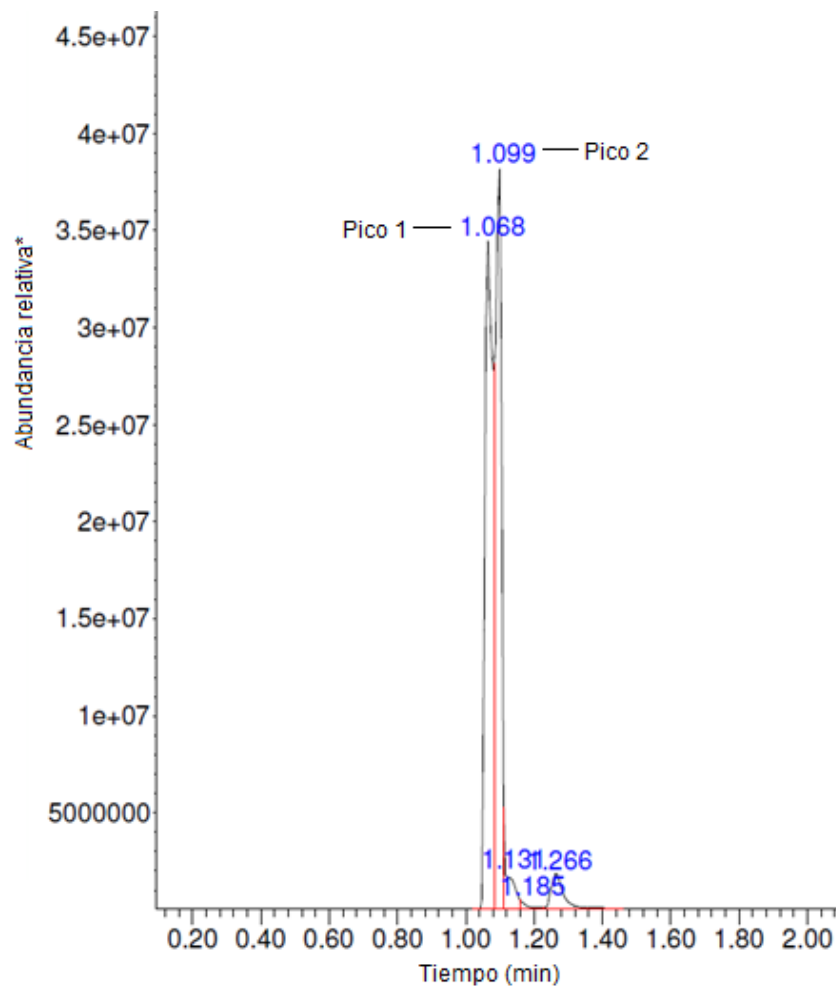
Diámetro catalizador (cm)	Flujo de aire (vueltas)	% Conversión CO ₂	% Conversión N ₂ O
2	6	-42.78	173.15
	10	-9.57	35.90
		-12.72	55.55
3	8	-4.51	11.17
4	6	-25.63	198.35
	10	-22.93	94.89

Cuadro 24. Resultados de conversión de los gases de escape con cg-tcd para el sistema carburado con gasolina.

Muestra	Diámetro de catalizador (cm)	Flujo de aire (posición)	%Conversión G.C.T. 1	%Conversión G.C.T. 2
1	2	Mínimo	0.86	54.53
2			1.66	52.15
3		Máximo	-7.05	144.51
4			-2.36	102.28
5	3	Medio	1.99	16.58
6			1.76	18.72
7			1.47	51.24
8	4	Mínimo	6.06	-33.81
9			5.24	-28.09
10		Máximo	-1.52	61.90
11			-0.35	40.16

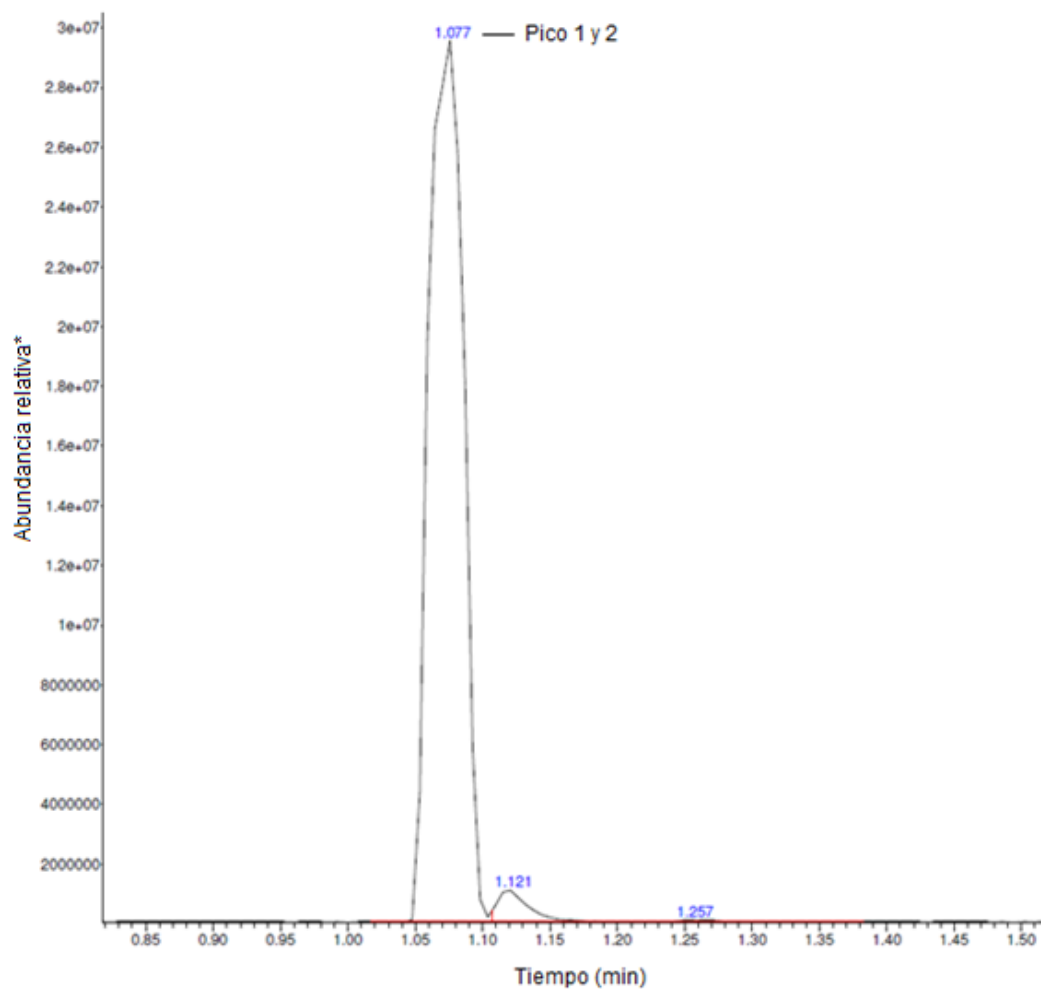
c. Problema de separación de compuestos con el método de análisis de gc-ms.

Figura 180. Separación de los compuestos CO₂ y N₂O en cg-ms para la muestra antes del catalizador con 3 cm de diámetro y un flujo de 8 vueltas.



*Altura de pico para cada compuesto detectado por el sensor (sin unidades).

Figura 181. Traslape de los compuestos CO₂ y N₂O en cg-ms para la muestra antes del catalizador con 3 cm de diámetro y un flujo de 8 vueltas.



*Altura de pico para cada compuesto detectado por el sensor (sin unidades).

d. Separación de compuestos con el método de análisis de gc-tcd.

Figura 182. Separación de los compuestos CO₂ y N₂O en cg-tcd para la muestra antes del catalizador con 3 cm de diámetro y un flujo de 8 vueltas.

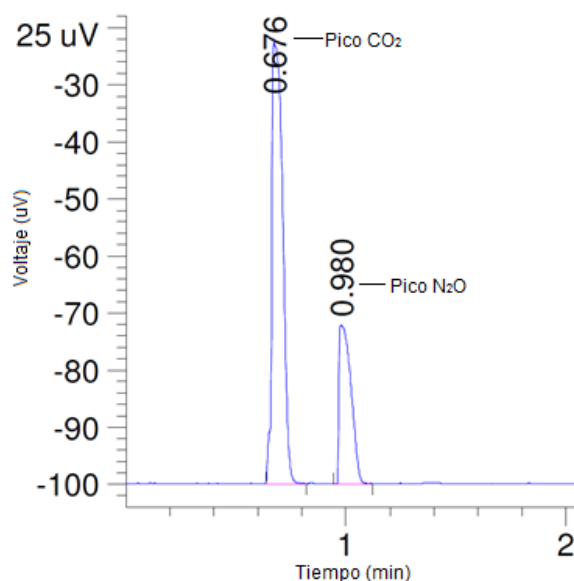


Figura 183. Reporte de área porcentual relativa para los compuestos CO₂ y N₂O en cg-tcd para la muestra antes del catalizador con 3 cm de diámetro y un flujo de 8 vueltas.

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area [25 uV*s]	Height [25 uV]	Area %
1	0.676	BP	0.0440	264.18661	77.13071	71.77029
2	0.980	PB	0.0648	103.91364	27.69034	28.22971
Totals :				368.10026	104.82105	

Figura 184. Reporte de área porcentual relativa para los compuestos CO₂ y N₂O en cg-tcd para la muestra después del catalizador con 3 cm de diámetro y un flujo de 8 vueltas.

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area [25 uV*s]	Height [25 uV]	Area %
1	0.683	BB	0.0504	218.71687	70.16340	66.94586
2	0.978	BB	0.0596	107.99023	31.00367	33.05414
Totals :				326.70711	101.16707	

e. Comprobación de identidad de compuestos con el método de gc-tcd.

Figura 185. Reporte de área porcentual relativa para una muestra de gases de un vehículo de diésel.

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area [25 uV*s]	Height [25 uV]	Area %
1	0.669	BP	0.0416	263.19626	81.60496	82.86386
2	0.977	PB	0.0559	54.42865	15.92063	17.13614

Figura 186. Reporte de área porcentual relativa para una muestra de gases del motor Honda GXH50 con etanol.

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area [25 uV*s]	Height [25 uV]	Area %
1	0.669	PB	0.0488	390.46030	127.41826	81.70365
2	0.975	PB	0.0538	87.43792	27.01922	18.29635

Figura 187. Cromatografía de cg-tcd para una muestra de CO₂ grado industrial.

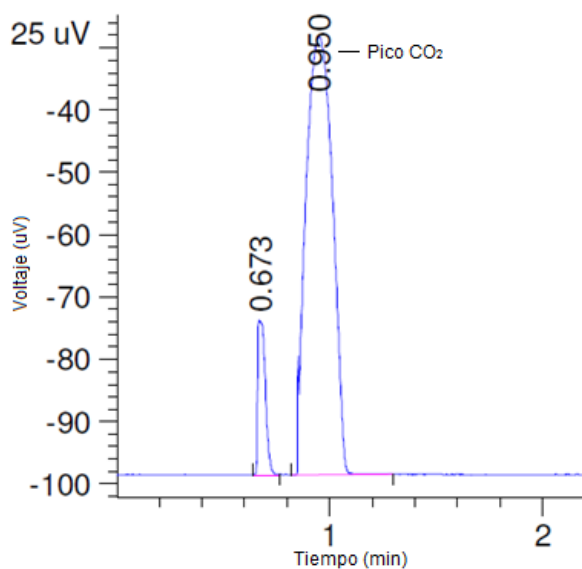


Figura 188. Cromatografía de cg-tcd para una muestra de vapor de agua.

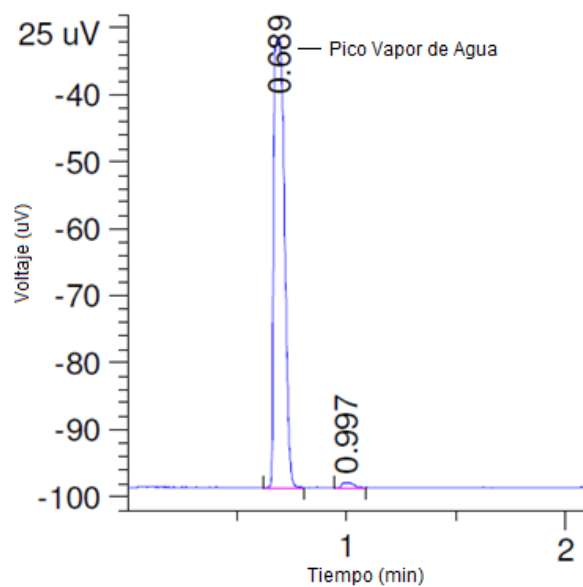
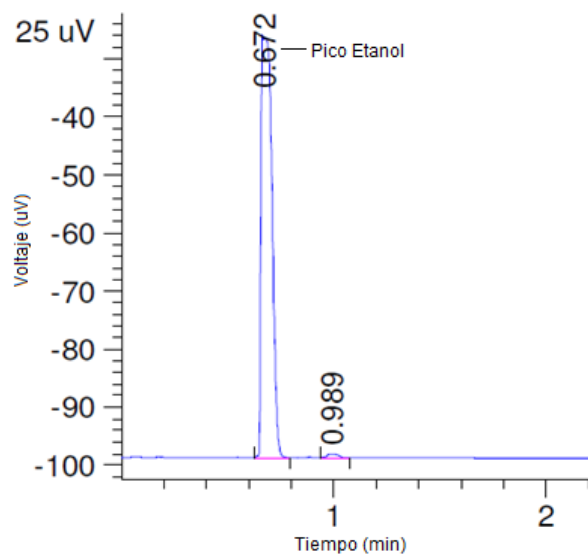


Figura 189. Cromatografía de cg-tcd para una muestra de vapor de etanol.



2. Datos originales

a. Identificación inicial de G.C.T. por cg-ms.

Figura 190. Identificación inicial de CO₂ y N₂O por gc-ms.

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	0.144	2.18	C:\Database\NIST05a.L 1,8-Octanediamine, N,N'-dimethyl- Racpinephrine .beta.-Alanine, N-methyl-, ethyl e ster	37686 45541 13468	033563-54-1 000329-65-7 002213-08-3	18 18 14
2	1.070	46.23	C:\Database\NIST05a.L Carbon dioxide Carbon dioxide Nitrous Oxide	80 81 83	000124-38-9 000124-38-9 010024-97-2	4 3 3
3	1.098	45.22	C:\Database\NIST05a.L Nitrous Oxide Nitrous Oxide Carbon dioxide	83 82 80	010024-97-2 010024-97-2 000124-38-9	5 5 4
4	1.160	2.07	C:\Database\NIST05a.L Acetaldehyde Acetaldehyde Ethylene oxide	71 70 74	000075-07-0 000075-07-0 000075-21-8	91 91 90
5	1.244	3.83	C:\Database\NIST05a.L Ethyl alcohol Ethyl alcohol Ethyl alcohol	95 94 93	000064-17-5 000064-17-5 000064-17-5	91 90 53
6	9.724	0.33	C:\Database\NIST05a.L Ethane, 1,1,2,2-tetrachloro- Ethane, 1,1,2,2-tetrachloro- Ethane, 1,1,2,2-tetrachloro-	33588 33584 33587	000079-34-5 000079-34-5 000079-34-5	97 96 94
7	9.785	0.03	C:\Database\NIST05a.L Ethane, 1,1,2,2-tetrachloro- Ethane, 1,1,2,2-tetrachloro- Ethane, 1,1,2,2-tetrachloro-	33584 33588 33587	000079-34-5 000079-34-5 000079-34-5	95 94 64
8	9.802	0.09	C:\Database\NIST05a.L Ethane, 1,1,2,2-tetrachloro- Ethane, 1,1,2-trichloro-2-fluoro- Methane, oxybis[dichloro-	33584 23022 44703	000079-34-5 000359-28-4 020524-86-1	96 59 59
9	9.881	0.01	C:\Database\NIST05a.L Ethane, 1,1,2,2-tetrachloro- Ethane, 1,1,2,2-tetrachloro- Ethane, 1,1,2,2-tetrachloro-	33584 33588 33586	000079-34-5 000079-34-5 000079-34-5	97 95 78

b. Áreas relativas de los compuestos CO₂ y N₂O con cg-tcd para el sistema inyectado con etanol.

Cuadro 25. Áreas promedio de CO₂ con cg-tcd para el sistema inyectado con etanol.

Diámetro (cm)	Flujo de aire (vueltas)	%Área 1 antes	%Área 2 antes	%Área 1 después	%Área 2 después
2	6	80.27926	80.09347	46.73882	45.01952
	10	79.00674	78.88645	70.18489	72.59094
		81.70365	81.03273	70.07318	71.96275
3	8	71.77029	70.72110	66.94586	69.11908
4	6	88.58528	88.52864	66.96136	64.75749
	10	80.59935	80.48082	62.40520	61.74415

Cuadro 26. Áreas promedio de N₂O con cg-tcd para el sistema inyectado con etanol.

Diámetro (cm)	Flujo de aire (vueltas)	%Área 1 antes	%Área 2 antes	%Área 1 después	%Área 2 después
2	6	19.72074	19.90653	53.26118	54.98048
	10	20.99326	21.11355	29.81511	27.40906
		18.29635	18.96727	29.92682	28.03725
3	8	28.22971	29.27890	33.05414	30.88092
4	6	11.41472	11.47136	33.03864	35.24251
	10	19.40065	19.51918	37.59480	38.25585

c. Áreas relativas del pico 1 y pico 2 con cg-tcd para el sistema carburado con gasolina.

Cuadro 27. Áreas promedio de pico 1 con cg-tcd para el sistema carburado con gasolina.

Diámetro (cm)	Flujo de aire (vueltas)	%Área 1 antes	%Área 2 antes	%Área 1 después	%Área 2 después
2	Mínimo	93.08793	93.08188	93.80858	93.96894
		92.38639	92.48832	94.08729	93.85946
	Máximo	92.82994	92.96786	86.51142	86.19119
		94.6325	94.51309	92.35868	92.32825
3	Medio	93.18513	93.20138	95.09964	94.98829
		92.47454	92.52324	93.92199	93.79957
		93.10973	93.09579	94.80884	94.67092
4	Mínimo	91.21561	90.70599	96.47925	96.45844
		91.8442	91.86078	96.68365	96.65606
	Máximo	92.31039	92.29687	90.85063	90.95537
		90.94126	91.50751	90.93561	90.8742

Cuadro 28. Áreas promedio de pico 2 con cg-tcd para el sistema carburado con gasolina.

Diámetro (cm)	Flujo de aire (vueltas)	%Área 1 antes	%Área 2 antes	%Área 1 después	%Área 2 después
2	Mínimo	3.01102	3.0803	4.74251	4.67016
		3.26342	3.32484	4.87329	5.15076
	Máximo	4.71855	4.6967	11.3185	11.70314
		3.18761	3.31079	6.54965	6.59518
3	Medio	3.20145	3.31397	3.73499	3.86087
		3.06063	3.07932	4.59119	4.69509
		3.64344	3.53818	4.18944	4.33677
4	Mínimo	4.18905	4.49682	2.86063	2.88813
		3.64529	3.68977	2.65242	2.62202
	Máximo	4.91315	5.05081	8.08897	8.04265
		5.44731	5.15631	7.36884	7.49319

d. Áreas relativas de O₂, CO, CO₂, Hidrocarburos y NO con analizador de gases para el sistema carburado con gasolina.

Cuadro 29. Áreas promedio de O₂ con analizador de gases para el sistema carburado con gasolina.

Diámetro (cm)	Flujo de aire (vueltas)	%Área 1 antes O ₂	%Área 2 antes O ₂	%Área 1 después O ₂	%Área 2 después O ₂
2	Mínimo	13.90	14.20	11.40	12.80
	Máximo	11.70	12.80	12.00	12.30
3	Medio	12.10	12.30	10.40	10.10
4	Mínimo	12.50	13.10	7.40	7.00
	Máximo	10.20	11.20	11.00	10.00

Cuadro 30. Áreas promedio de CO con analizador de gases para el sistema carburado con gasolina.

Diámetro (cm)	Flujo de aire (vueltas)	%Área 1 antes CO	%Área 2 antes CO	%Área 1 después CO	%Área 2 después CO
2	Mínimo	5.13	4.45	5.61	5.00
	Máximo	5.65	5.41	4.70	4.32
3	Medio	5.28	5.97	6.02	6.10
4	Mínimo	5.79	5.60	8.81	9.32
	Máximo	6.58	6.37	4.64	4.89

Cuadro 31. Áreas promedio de CO₂ con analizador de gases para el sistema carburado con gasolina.

Diámetro (cm)	Flujo de aire (vueltas)	%Área 1 antes CO ₂	%Área 2 antes CO ₂	%Área 1 después CO ₂	%Área 2 después CO ₂
2	Mínimo	1.30	1.10	2.70	2.40
	Máximo	2.60	2.30	3.00	3.10
3	Medio	2.50	2.10	3.60	4.00
4	Mínimo	1.40	1.10	4.40	4.00
	Máximo	3.10	2.90	4.00	4.40

Cuadro 32. Áreas promedio de Hid con analizador de gases para el sistema carburado con gasolina.

Diámetro (cm)	Flujo de aire (vueltas)	%Área 1 antes Hid	%Área 2 antes Hid	%Área 1 después Hid	%Área 2 después Hid
2	Mínimo	10027	9788	4355	4270
	Máximo	3346	2273	1945	1362
3	Medio	7360	6921	2307	2895
4	Mínimo	11660	12860	2656	2511
	Máximo	3663	4399	1020	1102

Cuadro 33. Áreas promedio de NO con analizador de gases para el sistema carburado con gasolina.

Diámetro (cm)	Flujo de aire (vueltas)	%Área 1 antes NO	%Área 2 antes NO	%Área 1 después NO	%Área 2 después NO
2	Mínimo	18	30	67	59
	Máximo	15	25	37	24
3	Medio	35	22	49	47
4	Mínimo	43	38	73	71
	Máximo	24	16	34	31

e. Registro de temperaturas para muestras analizadas por gc-tcd y sistema carburado con gasolina.

Cuadro 34. Temperaturas de muestras analizadas por gc-tcd para el sistema carburado con gasolina.

Diámetro (cm)	Flujo de aire (posición)	T gases (°C)
2	Mínimo	150-270
		250-350
	Máximo	170-220
		150-330
3	Medio	200-230
		150-250
		200-380
4	Mínimo	150-285
		150-350
	Máximo	130-265
		150-270

f. Registro de presión para muestras analizadas por gc-tcd y sistema carburado con gasolina.

Cuadro 35. Presiones de muestras analizadas por gc-tcd para el sistema carburado con gasolina.

Diámetro (cm)	Flujo de aire (posición)	P gases (cm H ₂ O)
2	Mínimo	9.50
	Máximo	12.10
3	Medio	3.70
4	Mínimo	3.40
	Máximo	8.20

3. Cálculo de conversiones

a. Determinación del área relativa promedio de los gases de escape. El cálculo del área relativa promedio de la muestra se obtuvo por medio de la suma aritmética entre el área relativa del compuesto correspondiente al pico 1, ya sea antes o después del su paso por el catalizador, y el área relativa para el mismo compuesto y a las mismas condiciones, de la muestra realizada en duplicado. Este resultado es dividido entre dos (2) debido a que todas las muestras fueron realizadas en duplicado. Este cálculo se realiza con la siguiente ecuación:

$$(24) \quad \text{Área relativa promedio} = \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right)$$

Los términos en la ecuación corresponden a:

A₁: área relativa del pico analizado para una muestra antes o después de su paso por el catalizador.

A₂: área relativa del pico analizado para una muestra duplicada a las mismas condiciones que la muestra de A₁.

Área relativa promedio: promedio de las áreas relativas de los picos correspondiente a uno de los compuestos presentes en las muestras analizadas en duplicado.

Por ejemplo, para la determinación del área relativa promedio para el área del pico 1 de la muestra 1, de diámetro de 3 cm y flujo de aire medio, analizada antes de su paso por el catalizador, con cg-tcd para el sistema carburado con gasolina, y el área del pico 1 de la muestra 1 duplicada a las mismas condiciones, se tiene que:

$$(25) \quad \text{Área relativa promedio} = \left(\frac{93.18513 + 93.20138}{2} \right) = 93.1933$$

Se realizó el mismo cálculo para la determinación de todas las áreas relativas promedio de los gases de escape y las temperaturas promedio presentadas en este trabajo.

b. Determinación del porcentaje de conversión de los gases de escape. El cálculo del porcentaje de conversión de la muestra se obtuvo por medio de la diferencia aritmética entre el área relativa promedio del compuesto correspondiente al pico 1 después de su paso por el catalizador y el área relativa promedio para el mismo compuesto antes de su paso por éste. Este resultado es dividido entre el área relativa promedio antes de su paso por el catalizador. Este cálculo se realiza con la siguiente ecuación:

$$(26) \quad \%Conversion = \left(\frac{A_{DESPUÉS} - A_{ANTES}}{A_{ANTES}} \right) \times 100\%$$

Los términos en la ecuación corresponden a:

A_{ANTES} : área relativa promedio del pico analizado para la muestra antes de su paso por el catalizador.

$A_{DESPUÉS}$: área relativa promedio del pico analizado para la muestra después de su paso por el catalizador.

$\%Conversion$: porcentaje de conversión para uno de los picos correspondiente a uno de los compuestos presentes en la muestra analizada.

Por ejemplo, para la determinación del porcentaje de conversión para el pico 1 de la muestra 1, de diámetro de 3 cm y flujo de aire medio, con cg-tcd para el sistema carburado con gasolina, se tiene que:

$$(27) \quad \%Conversion = \left(\frac{95.0440 - 93.1933}{93.1933} \right) \times 100\% = 1.99\%$$

Se realizó el mismo cálculo para la determinación de todas las eficiencias de conversión de los gases de escape presentadas en este trabajo.

c. Conversión de la caída de presión en los convertidores catalíticos. El cálculo caída de presión en los convertidores se obtuvo por medio de la multiplicación de la densidad del agua, por la gravedad atmosférica y la diferencia de altura como metros de agua, correspondiente a la caída de presión en cada convertidor. Con sus respectivas conversiones para llevarla a unidades de psig. Este cálculo se realiza con la siguiente ecuación:

$$(28) \quad \Delta P = \rho gh$$

Los términos en la ecuación corresponden a:

ΔP : caída de presión en psig.

ρ : densidad del líquido utilizado en manómetro, generalmente agua, en kg/m^3 .

h : diferencia de altura determinada con manómetro diferencia, en m.

Por ejemplo, para la determinación de la caída de presión para el convertidor de diámetro de 3 cm y flujo de aire medio, para el sistema carburado con gasolina, se tiene que:

$$(29) \quad \Delta P = \left(1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \left(9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) (3.70 \text{cm}) \left(\frac{1 \text{m}}{100 \text{cm}}\right) = 362.6 \text{ Pa} \left(\frac{1 \text{kPa}}{1000 \text{Pa}}\right) = 0.36 \text{ kPa}$$

$$(30) \quad \Delta P = 0.36 \text{ kPa} \left(\frac{1 \text{atm}}{101325 \text{kPa}}\right) \left(\frac{14.7 \text{psi}}{1 \text{atm}}\right) = 0.05 \text{ psig}$$

Se realizó el mismo cálculo para la determinación de todas presiones en psig presentadas en este trabajo.

4. Datos calculados

a. Análisis cg-tcd de sistema inyectado con etanol.

Cuadro 36. Áreas promedio de CO₂ y N₂O con cg-tcd para el sistema inyectado con etanol.

Diámetro (cm)	Flujo de aire (vueltas)	%Área promedio antes CO ₂	%Área promedio después CO ₂	%Área promedio antes N ₂ O	%Área promedio después N ₂ O
2	6	80.18637	45.87917	19.81364	54.12083
	10	78.94660	71.38792	21.05341	28.61209
		81.36819	71.01797	18.63181	28.98204
3	8	71.24570	68.03247	28.75431	31.96753
4	6	88.55696	65.85943	11.44304	34.14058
	10	80.54009	62.07468	19.45992	37.92533

b. Análisis cg-tcd de sistema carburado con gasolina.

Cuadro 37. Áreas promedio de pico 1 y pico 2 con cg-tcd para el sistema carburado con gasolina.

Diámetro (cm)	Flujo de aire (posición)	%Área promedio antes G.C.T. 1	%Área promedio después G.C.T. 1	%Área promedio antes G.C.T. 2	%Área promedio después G.C.T. 2
2	Mínimo	93.0849	93.8888	3.0457	4.7063
		92.4374	93.9734	3.2941	5.0120
	Máximo	92.8989	86.3513	4.7076	11.5108
		94.5728	92.3435	3.2492	6.5724
3	Medio	93.1933	95.0440	3.2577	3.7979
		92.4989	93.8608	3.0700	4.6431
		93.1028	94.7399	3.5908	4.2631
4	Mínimo	90.9608	96.4688	4.3429	2.8744
		91.8525	96.6699	3.6675	2.6372
	Máximo	92.3036	90.9030	4.9820	8.0658
		91.2244	90.9049	5.3018	7.4310

c. Análisis con medidor de gases de sistema carburado con gasolina.

Cuadro 38. Áreas promedio de O₂ y CO con analizador de gases para el sistema carburado con gasolina.

Diámetro (cm)	Flujo de aire (posición)	%Área promedio antes O ₂	%Área promedio después O ₂	%Área promedio antes CO	%Área promedio después CO
2	Mínimo	14.1	12.1	4.8	5.3
	Máximo	12.3	12.2	5.5	4.5
3	Medio	12.2	10.3	5.6	6.1
4	Mínimo	12.8	7.2	5.7	9.1
	Máximo	10.7	10.5	6.5	4.8

Cuadro 39. Áreas promedio de CO₂, Hidrocarburos y NO con analizador de gases para el sistema carburado con gasolina.

Diámetro (cm)	Flujo de aire (posición)	%Área promedio antes CO ₂	%Área promedio después CO ₂	%Área promedio antes Hid	%Área promedio después Hid	%Área promedio antes CO	%Área promedio después CO
2	Mínimo	1.2	2.6	9907.5	4312.5	24.0	63.0
	Máximo	2.5	3.1	2809.5	1653.5	20.0	30.5
3	Medio	2.3	3.8	7140.5	2601.0	28.5	48.0
4	Mínimo	1.3	4.2	12260.0	2583.5	40.5	72.0
	Máximo	3.0	4.2	4031.0	1061.0	20.0	32.5

XII. GLOSARIO

A. MÓDULO CONVERTIDOR CATALÍTICO

Combustión completa	Combustión donde todo el combustible ha reaccionado para la formación de productos.
Combustión incompleta	Combustión donde sólo parte del combustible es quemado.
Combustión parcial	Combustión donde intencionalmente sólo parte del combustible es quemado.
Combustión	Reacción química donde interacciona un combustible con oxígeno del aire para formar, idealmente, vapor de agua y dióxido de carbono.
Convertidor Catalítico o Catalizador	Comúnmente denominado catalizador, se refiere al dispositivo mecánico que es utilizado para disminuir las emisiones tóxicas al medio ambiente.
Isocórico	Referente a la propiedad de un sistema de mantener su volumen constante.
Pistón o Émbolo recíprocante	Referente al movimiento lineal del pistón hacia arriba y abajo en el cilindro de la cámara de combustión.

Relación aire/combustible

Cantidad estequiométrica de aire con la cual se tendrá una combustión completa para una unidad de combustible.

Espectrometría de masas

Método de análisis químico que utiliza la radiación electromagnética para la determinación de un compuesto.

Conductividad térmica

Propiedad física de un material, que evalúa la capacidad de conducir el calor. También utilizado como un método de análisis químico.

XIII. ABREVIATURAS

A. MÓDULO CONVERTIDOR CATALÍTICO

A.P.R.	Área porcentual relativa
°C	Grado centígrado
CC	Convertidor catalítico
CG o GC	Cromatografía de gases
cm	Centímetros
G.C.T.	Gas de combustión tóxico
in	Pulgada
kg	Kilogramo(s)
min	Minuto
mL	Mililitros
MS	Detector de espectrometría de masas
psi	Libra fuerza por pulgada cuadrada
TCD	Detector de termo conductividad