



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

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

**TEMA: “REPROGRAMACIÓN ELECTRÓNICA DEL CONTROL
DE INYECCIÓN Y ENCENDIDO DEL MOTOR CBR 600 F4i,
PARA EL VEHÍCULO FORMULA STUDENT”**

AUTOR: DANIEL GONZALO TINIZARAY ROMERO

**DIRECTOR: ING. GERMÁN ERAZO LAVERDE
CODIRECTOR: ING. WILSON TRÁVEZ**

LATACUNGA

2015



DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

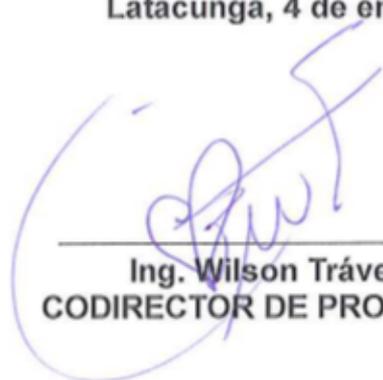
CERTIFICACIÓN

Certificamos que el trabajo de titulación, “**REPROGRAMACIÓN ELECTRÓNICA DEL CONTROL DE INYECCIÓN Y ENCENDIDO DEL MOTOR CBR 600 F4i, PARA EL VEHÍCULO FORMULA STUDENT**” realizado por el señor **DANIEL GONZALO TINIZARAY ROMERO**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor **DANIEL GONZALO TINIZARAY ROMERO** para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 4 de enero de 2016



Ing. Germán Erazo
DIRECTOR DE PROYECTO



Ing. Wilson Trávez
CODIRECTOR DE PROYECTO



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

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **DANIEL GONZALO TINIZARAY ROMERO**, con cédula de identidad N° 1720790938 declaro que este trabajo de titulación "**REPROGRAMACIÓN ELECTRÓNICA DEL CONTROL DE INYECCIÓN Y ENCENDIDO DEL MOTOR CBR 600 F4i, PARA EL VEHÍCULO FORMULA STUDENT**" ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, 22 de noviembre de 2015

Daniel Gonzalo Tinizaray Romero

C.C.: 1720790938



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

AUTORIZACIÓN

Yo, **DANIEL GONZALO TINIZARAY ROMERO**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación "**REPROGRAMACIÓN ELECTRÓNICA DEL CONTROL DE INYECCIÓN Y ENCENDIDO DEL MOTOR CBR 600 F4i, PARA EL VEHÍCULO FORMULA STUDENT**" cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Latacunga, 22 de noviembre de 2015



Daniel Gonzalo Tinizaray Romero

C.C.: 1720790938

DEDICATORIA

Dedico este trabajo Dios y María Auxiladora.

Daniel Tinizaray

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por los dones que he recibido, a mis padres, hermanos y familiares por toda su ayuda, y al estado por haber hecho gratuita la educación superior.

De manera especial también agradezco a todos aquellos que de una u otra forma me motivaron e insistieron para que culmine este proyecto.

Daniel Tinizaray

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA	i
CERTIFICADO.....	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	iii
AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xvi
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	2
1.3 Descripción resumida del proyecto.....	4
1.4 Justificación.....	4
1.5 Objetivos.....	5
1.5.1 Objetivo general.....	5
1.5.2 Objetivos específicos.....	5
1.6 Metas.....	6
1.7 Hipótesis.....	6
1.8 Variables.....	6

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 Reprogramación electrónica.....	7

2.2	Tipos de reprogramación.....	7
2.2.1	Centralitas intercaladas.....	8
2.2.2	Chip de potencia.....	8
2.2.3	Reprogramar una ECU por cable (a bordo).....	8
2.2.4	ECU Stand-alone.....	9
2.3	Reprogramación de una ECU de serie.....	9
2.4	Norma SAE J2534.....	11
2.4.1	Extracción del archivo de memoria por OBDII-J2534.....	12
2.4.2	Importancia de usar interfases profesionales.....	13
2.4.3	Extracción de archivos de memorias por programador universal.....	14
2.4.4	Memorias DIL.....	15
2.4.5	Memorias PLCC.....	16
2.4.6	Memorias SOP.....	17
2.5	Modificación del archivo de memoria.....	17
2.5.1	Modificación del archivo de memoria con ECM2001.....	17
2.5.2	Modificación del archivo de memoria con Chip Race.....	24
2.5.3	Modificación del archivo de memoria con editor hexadecimal.....	28
2.6	Reprogramación de una ECU Stand-alone.....	30
2.6.1	Fabricantes de ECU reprogramables.....	30
2.6.2	Software de reprogramación de ECU stand-alone.....	32
2.7	Mapas tridimensionales.....	37
2.8	Parámetros para el cálculo de tiempo inyección y encendido.....	40
2.8.1	Relación aire combustible.....	41
2.8.2	Flujo másico de aire.....	42
2.8.3	Densidad de velocidad.....	43
2.8.4	Entrega de combustible.....	44
2.8.5	Eventos de encendido.....	46
2.8.6	Duración de la chispa.....	48

CAPÍTULO III

REPROGRAMACIÓN DEL CONTROL DE INYECCIÓN Y ENCENDIDO....50

3.1	Requerimientos para la reprogramación.....	50
-----	--	----

3.2	Limitaciones para la reprogramación electrónica.....	50
3.3	Adquisición de datos preliminares.....	51
3.3.1	Características del motor.....	51
3.3.2	Sistema de inyección.....	53
3.3.3	Sistema de encendido.....	55
3.4	Selección del método de reprogramación.....	55
3.4.1	Equipos de reprogramación para Honda.....	56
3.4.2	Equipos de reprogramación multimarca.....	58
3.4.3	Equipo reprogramable Stand-alone.....	59
3.4.4	Comparación y selección de equipo.....	60
3.5	Reconocimiento del equipo reprogramable.....	62
3.5.1	Sensores y actuadores.....	65
3.6	Configuración del equipo reprogramable.....	66
3.6.1	Instalación del Software EcuManager.....	66
3.6.2	Conexión de PC-centralita-motor.....	70
3.6.3	Configuración principal del motor.....	70
3.6.4	Configuración y calibración de sensores.....	72
3.6.5	Sensor ECT.....	72
3.6.6	Sensor IAT.....	74
3.6.7	Sensor MAP.....	75
3.6.8	Sensor TPS.....	76
3.6.9	Sensor CKP y CMP.....	78
3.6.10	Configuración de actuadores.....	80
3.6.11	Configuración de inyectores.....	80
3.7	Reprogramación de inyección y encendido.....	83
3.7.1	Cálculo del tiempo de inyección.....	83
3.7.2	Mapas básicos de inyección y encendido.....	85

CAPÍTULO IV

PRUEBAS Y CORRECCIONES.....	97
4.1 Encendido del motor.....	97
4.1.1 Arranque en frío.....	97

4.1.2	Tablas de corrección de arranque en frío.....	98
4.2	Ralentí.....	100
4.2.1	Corrección de mapas para ralentí estable.....	100
4.3	Aceleración.....	100
4.3.1	Aceleración en vacío.....	100
4.3.2	Corrección de mapas para aceleración en vacío.....	101
4.3.3	Aceleración con carga.....	101
4.3.4	Corrección de mapas para aceleración con carga.....	101
4.4	Desaceleración.....	101
4.4.1	Desaceleración total del vehículo.....	101
4.4.2	Corrección de mapas en desaceleración.....	102
4.5	Torque y potencia.....	103
4.5.1	Prueba de torque y potencia.....	103

CAPÍTULO V

MARCO ADMINISTRATIVO.....	110
5.1 Recursos.....	110
5.1.1 Recursos humanos.....	110
5.1.2 Recursos tecnológicos.....	111
5.1.3 Recursos materiales.....	111

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	113
6.1 CONCLUSIONES.....	113
6.2 RECOMENDACIONES.....	115

BIBLIOGRAFÍA.....	116
--------------------------	------------

NETGRAFÍA.....	117
-----------------------	------------

ANEXOS.....	118
--------------------	------------

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características del motor Honda CBR 600 F4i.....	51
Tabla 2: Calificación de propiedades cuantitativas.....	61
Tabla 3: Calificación de propiedades cualitativas.....	61
Tabla 4: Opciones adicionales de control de ECU Platinum Sport 1000.....	62
Tabla 5: Especificaciones de centralita Platinum Sport 1000.....	62
Tabla 6: Valores de tiempo de inyección a velocidad de ralentí.....	85
Tabla 7: Tabla base de tiempo de inyección.....	86
Tabla 8: Valores de avance de encendido para el motor sin carga.....	88
Tabla 9: Valores de avance de encendido con 10% de carga.....	88
Tabla 10: Tabla base de avance al encendido.....	89
Tabla 11: Valores de corrección de inyección por temperatura.....	100
Tabla 12: Valores de corrección de temperatura modificados.....	101
Tabla 13: Resumen de la segunda prueba en dinamómetro.....	107
Tabla 14: Prueba de potencia de UB Formula Team.....	108
Tabla 15: Recurso humano del proyecto.....	108
Tabla 16: Recursos tecnológicos utilizados.....	109
Tabla 17: Recursos materiales empleados.....	110
Tabla 18: Presupuesto para el equipo de reprogramación y pruebas.....	110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Árbol del problema.....	3
Figura 2: Interfaz de CMDFlash-OBD.....	10
Figura 3: Interfaz CMDFlash-OBD.....	10
Figura 4: Selección de vehículo en software CMDFlash.....	12
Figura 5: Computadora identificada lista para lectura.....	12
Figura 6: Archivo de ECU.....	13
Figura 7: Programador Universal USB.....	14
Figura 8: Memoria DIL de 28 pines.....	15
Figura 9: Memoria PLCC de 36 pines.....	16
Figura 10: Adaptador PLCC a DIL.....	17
Figura 11: Memoria SOP de 44 pines.....	17
Figura 12: Pantalla principal del software ECM2001.....	19
Figura 13: Pantalla ECM2001 con archivos cargados.....	20
Figura 14: Número de versión de la ECU y el archivo.....	20
Figura 15: Correspondencia de ECU, archivo de memoria y driver.....	21
Figura 16: Nuevos menús con los mapas que se pueden modificar.....	21
Figura 17: Vista en tabla de un mapa de inyección.....	22
Figura 18: Incrementos realizados en un rango de celdas.....	23
Figura 19: Opciones de visualización de mapas en ECM2001.....	23
Figura 20: Gráfica 2D de un mapa.....	24
Figura 21: Valores de cada dirección en un plano cartesiano.....	24
Figura 22: Curvas ascendentes y descendentes.....	25
Figura 23: Pantalla de inicio Chip Race.....	25
Figura 24: Archivo de memoria abierto en Chip Race.....	26
Figura 25: Propiedades de un archivo de memoria.....	26
Figura 26: Herramienta de búsqueda de Chip Race.....	27
Figura 27: Curvas ascendentes de un posible mapa.....	27
Figura 28: Mapa seleccionado para modificar.....	28
Figura 29: Herramienta de modificación.....	28

Figura 30: Editor hexadecimal mostrando un mapa de inyección.....	29
Figura 31: Herramienta de búsqueda. Fuente: Altinyurt, 2014.....	30
Figura 32: Herramienta para el calcular de suma de verificación.....	30
Figura 33: ECU Haltech Elite 1500.....	31
Figura 34: ECU Motec M800.....	32
Figura 35: ECU Infinity de AEM.....	32
Figura 36: ECU Electromotive TEC GT.....	32
Figura 37: Pantalla de inicio de Haltech EcuManager.....	33
Figura 38: Estado de la conexión con la ECU en EcuManager.....	34
Figura 39: Vista del programa EcuManager con la ECU conectada.....	34
Figura 40: Modificación de valores en filas y columnas.....	35
Figura 41: Menú principal de configuraciones.....	36
Figura 42: Pantalla principal de configuraciones del motor.....	36
Figura 43: Funciones avanzadas de la ECU.....	37
Figura 44: Mapa de combustible 3D.....	38
Figura 45: Mapa 3D con zonas desiguales.....	39
Figura 46: Mapa 3D Corregido.....	40
Figura 47: Consumo y potencia respecto a la relación de combustible.....	42
Figura 48: Curva de torque y potencia de Honda CBR600F4i.....	53
Figura 49: Curvas de potencia de diferentes reprogramaciones.....	54
Figura 50: Circuito de sistemas de inyección y encendido.....	55
Figura 51: Adaptador de reprogramación s300 v3.....	57
Figura 52: Adaptador s300 en centralita.....	58
Figura 53: Software smanager para adaptador s300.....	58
Figura 54: Asignación de pines.....	64
Figura 55: Diagrama de conexión ECU Haltech Platinum Sport.....	65
Figura 56: ECU Haltech Platinum Sport 1000.....	66
Figura 57: ECU empotrada.....	66
Figura 58: Archivo de instalación de software de Haltech.....	67
Figura 59: Extracción de los archivos de instalación.....	68
Figura 60: Ventana principal de instalación.....	68
Figura 61: Asistente de instalación.....	69

Figura 62: Licencia.....	69
Figura 63: Ruta de instalación.....	70
Figura 64: Progreso de instalación.....	70
Figura 65: Confirmación de instalación.....	71
Figura 66: Diagrama de comunicación PC-ECU-Motor.....	71
Figura 67: Cable USB conectado a la ECU.....	72
Figura 68: Ventana principal de configuración.....	72
Figura 69: Sensor ECT.....	73
Figura 70: Curva sin cambios del sensor ECT.....	74
Figura 71: Ventana de modificación de sensores de temperatura.....	74
Figura 72: Temperatura del refrigerante.....	75
Figura 73: Curva del sensor IAT.....	75
Figura 74: Temperatura del aire.....	76
Figura 75: Conexión de la toma de vacío.....	76
Figura 76: Selección del sensor MAP interno.....	77
Figura 77: Selección del sensor MAP interno.....	77
Figura 78: Mariposa del acelerador cerrada.....	78
Figura 79: Mariposa del acelerador abierta.....	78
Figura 80: Calibración del sensor TPS.....	79
Figura 81: Configuración del método de sincronización.....	80
Figura 82: Sensor CKP con diente disminuido.....	80
Figura 83: Configuración de inyectores.....	81
Figura 84: Configuración del encendido.....	82
Figura 85: Ubicación de la bobina.....	83
Figura 86: Placa de aluminio para refrigeración.....	83
Figura 87: Alimentación, señal y cables de bujía de la bobina.....	83
Figura 88: Mapa de la tabla base de inyección.....	88
Figura 89: Mapa de la tabla base de avance al encendido.....	91
Figura 90: Tabla por defecto de inyección de ECU Haltech.....	92
Figura 91: Mapa 3D de la tabla de inyección por defecto.....	92
Figura 92: Tabla de inyección modificada en velocidad y carga.....	93
Figura 93: Guía de color de la tabla.....	93

Figura 94: Sitio recomendable para realizar la reprogramación.....	94
Figura 95: Tabla de inyección modificada el tiempo de inyección.....	94
Figura 96: Comparación de mapa por defecto y modificado.....	95
Figura 97: Comparación de curvas de inyección a baja velocidad.....	96
Figura 98: Comparación de curvas de inyección a alta velocidad.....	96
Figura 99: Comparación de mapas de encendido.....	97
Figura 100: Comparación de curvas de encendido a alta velocidad.....	97
Figura 101: Estado del motor en arranque en frío.....	98
Figura 102: Datos de corrección de temperatura.....	100
Figura 103: Respuesta del motor a la desaceleración.....	103
Figura 104: Vehículo asegurado para prueba de potencia.....	104
Figura 105: Software de control de dinamómetro.....	105
Figura 106: Resultado de prueba en el dinamómetro.....	106
Figura 107: Prueba de potencia de UB Formula Team.Fuente: UB.....	107
Figura 108: Comparación de curvas de potencia.....	108
Figura 109: Comparación de potencia a 8500 rpm.....	109
Figura 110: Comparación de curvas de torque.....	109
Figura 111: Comparación de torque.....	110

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Masa de aire desplazada.....	40
Ecuación 2: Tasa de desplazamiento de la masa de aire.....	40
Ecuación 3: Eficiencia Volumétrica por flujo másico de aire.....	42
Ecuación 4: Índice de flujo de combustible.....	42
Ecuación 5: Masa de combustible necesaria por masa de aire.....	44
Ecuación 6: Masa de combustible entregada por inyector.....	45
Ecuación 7: Ciclo de trabajo.....	45
Ecuación 8: Índice de flujo de la riel.....	46
Ecuación 9: Tiempo de duración de la chispa.....	49

RESUMEN

El proyecto de investigación tuvo como propósito determinar el adecuado método de reprogramación a utilizar en el sistema de encendido e inyección de combustible del motor Honda CBR 600 F4i usado en el vehículo que participó en la competencia Fórmula Student de Alemania 2014. Con este fin se recopiló información acerca de los cálculos que debían realizarse para variar dichos parámetros y obtener un funcionamiento estable bajo cualquier condición de trabajo, recuperando las pérdidas de potencia provocadas por los elementos reglamentarios de la competencia como el restrictor de la admisión y el silenciador del escape. Cada método de reprogramación utiliza hardware y software diferentes, por lo que se analizó cual ayudaría a obtener mejores resultados mediante el manejo de software que permitiera cambios de forma rápida en el controlador así como visualizar las variaciones realizadas, principalmente con el uso de mapas tridimensionales. Los valores que se podrían aumentar o disminuir se determinaron tomando en cuenta las características del motor, como la cilindrada y la relación de combustible, de tal manera que la reprogramación partiera de una base apoyada en fundamentos científicos. Los resultados obtenidos del proceso de reprogramación fueron cuantificables, por lo que fueron evaluados mediante el uso de un sistema de adquisición de datos y un dinamómetro de chasis que permitió apreciar dichos resultados de forma visual y técnica.

PALABRAS CLAVE:

- **MOTOR HONDA CBR 600 F4i**
- **FORMULA STUDENT**
- **REPROGRAMACIÓN**
- **MAPAS TRIDIMENSIONALES**

ABSTRACT

The project's purpose is to determine the right tuning way to use in the ignition and fuel injection systems of Honda CBR 600 F4i engine from the Formula Student vehicle that participated in 2014 competition and get information about the necessary calculations to be able to change those parameters, so as to obtain a stable operation under any working condition, like it would do with the engine original equipment, but recovering the power loss produced by the pertaining elements like the admission restrictor and the exhaust muffler. Each tuning way use different hardware and software, so it is necessary to determine which one will help to get the best goals, making fast changes in the controller through the use of software that let to see the variations made, mainly by the use of 3D maps. The amounts that must be increased or decreased are determined by calculations that are made considering invariable characteristics of the engine, like displacement and air-fuel ratio, so the tuning starts from a base supported on scientific foundation. The goals from the tuning process are quantifiable, so they are evaluated through the use of data logging systems and a chassis dynamometer that let to see the goals technically.

KEYWORDS

- **HONDA CBR 600 F4i ENGINE**
- **FORMULA STUDENT**
- **ELECTRONIC TUNING**
- **3D MAPS**

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

6.1 Antecedentes

La Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE extensión Latacunga ha construido prototipos de vehículos para participar en el evento Formula Student Germany, competencia de diseño entre universidades, durante dos años seguidos (2011-2012). En estas dos intervenciones del equipo FESPE, los proyectos ejecutados se realizaron con estricto apego al reglamento de la FSG, que establece normas de diseño semejantes a las requeridas en vehículos de Fórmula 1 y de las principales casa de fabricantes de automotores que auspician el evento, por lo cual los vehículos construidos en los laboratorios de la Universidad pasan por un proceso de diseño, que está centrado principalmente en la simplicidad de la estructura, la facilidad para obtener los materiales y la seguridad, para dar paso a la construcción del modelo que cumplirá con dichas normas. Sin embargo en estos dos primeros desarrollos los grupos de investigación de la institución habían dejado de lado otros aspectos existentes en el reglamento como son el tren motriz, la adquisición de datos y la telemetría, dejándolos en los parámetros originales de los componentes que se utilizaron.

El primer vehículo realizado por el equipo FESPE, denominado COTOPAXI 1, utilizó un motor Honda CBR 600 F4i que contaba con un controlador electrónico para la gestión del motor propio de la casa Honda. En el caso de este motor no se realizó ninguna modificación significativa a su sistema electrónico, salvo ciertas alteraciones en partes del sistema de seguridad como fue el puenteo de los interruptores de inclinación y de la pata de parqueo. Para la adquisición de datos se utilizó el tablero de control original y no se incorporó ningún sistema que permitiera almacenar los variables de funcionamiento del motor.

Para el segundo vehículo, que continuó con la denominación COTOPAXI 2, se utilizó el motor de la marca Kawasaki modelo ZX-6R año 2012. En este prototipo la electrónica del motor fue la original y se adicionó un modelo de telemetría mediante wi-fi.

Tras no haber participado en la competencia de la FSG durante un año, para el evento de 2014 el equipo FESPE vio la oportunidad de mejorar las características del vehículo en aspectos fuera de la estructura y los materiales, si se hacían cambios en el control electrónico del motor de combustión, para modificar el comportamiento del mismo bajo determinadas condiciones y a la vez permita al equipo obtener datos acerca del funcionamiento a lo largo de las pruebas del evento.

Es por eso que para el vehículo FESPE 2014, denominado COLIBRÍ, se busca realizó la investigación de la potenciación electrónica del motor Honda CBR 600 F4i, mismo que se utilizó en el vehículo COTOPAXI 1, mediante un sistema adaptable y confiable.

6.2 Planteamiento del problema

Los sistemas de control electrónico del vehículo han sido uno de los desarrollos más importantes de la industria automotriz y uno de los más rápidos, pues en las últimas dos décadas ha alcanzado a casi todos los aspectos del vehículo, reemplazando a los sistemas mecánicos que dominaron este segmento desde finales del siglo XIX. Estos sistemas permiten un control preciso de aspectos tan importantes como la seguridad o la ergonomía de los pasajeros. En el motor permiten tener un dominio preciso de los eventos, en y durante un tiempo específico, aplicándose al control de apertura y cierre de válvulas, temperatura, entrada de flujo de aire, inyección de combustible y encendido.

Esto es posible gracias a la unidad de control electrónico del motor, la que no solo hace funciones de regulación, sino también el monitoreo de

sensores que permitan determinar la mejor manera de administrar los actuadores.

En los vehículos de competencia es indispensable desarrollar un control especial que responda a los requerimientos de potencia, par y consumo de combustible, a través del uso de hardware y software.

La competencia Formula Student Germany establece en su reglamento la prohibición de utilizar un control electrónico para la mariposa del acelerador, pero deja una libertad total para los diseñadores que deseen controlar otros parámetros del motor como la inyección, el encendido y la adquisición de datos, por lo que se ven interesantes las implementaciones con dispositivos combinados de los que existen comercialmente, así como desarrollos propios de cada equipo.

El Equipo FESPE, en su tercera participación, incursionó en la potenciación electrónica del motor Honda CBR 600 F4i mediante la reprogramación de la unidad de control electrónico y los sensores necesarios para manejar los tiempos de inyección y encendido, obteniendo resultados favorables durante la competencia.

La figura 1 permite observar como la decisión de investigar sobre la electrónica del motor conjuntamente con el reglamento de la FSG y las características del prototipo, que son las principales causas del problema, repercute con consecuencias sobre el desempeño del vehículo.

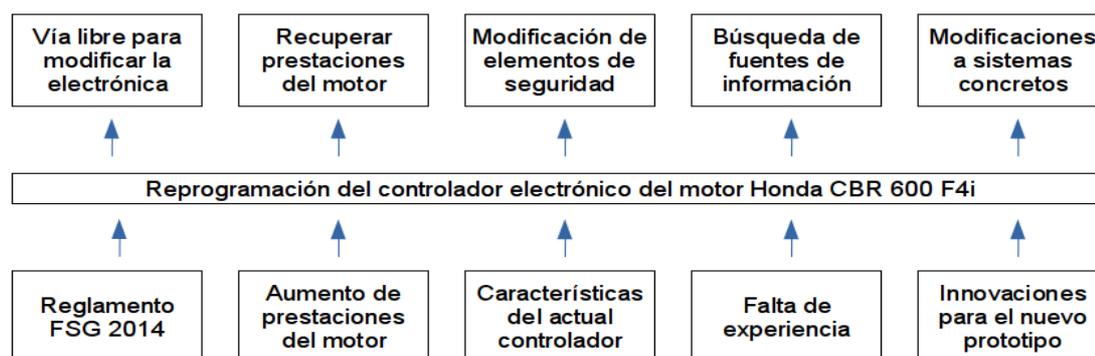


Figura 1: Árbol del problema

6.3 Descripción resumida del proyecto

El proyecto de reprogramación electrónica para el motor Honda CBR 600 F4i permitió realizar modificaciones al controlador de inyección y encendido para posteriormente, realizar variaciones a los valores de ajuste de la inyección y el encendido.

Se tomó datos relevantes acerca del funcionamiento del motor una vez que se han implementado todos los sistemas requeridos en el reglamento, para determinar cuales son las condiciones mínimas que se desean alcanzar.

Se analizó los datos obtenidos y mediante el cálculo de las variaciones que deban realizarse, se modificó a través de la reprogramación el controlador.

Los resultados obtenidos de las pruebas experimentales fueron comparados con los valores conocidos de funcionamiento del motor original.

6.4 Justificación

La Formula Student Germany es la competencia de diseño de vehículos entre universidades más exigente de aquellas que son organizadas por la SAE, motivo por el cual, la Universidad de las Fuerzas Armadas a través del equipo FESPE, siendo los únicos representantes del Ecuador y Latinoamérica en este evento, tiene la responsabilidad académica de investigar dentro de todos los campos que abarquen el diseño y la construcción de un vehículo tipo fórmula, para encontrar la forma de realizar innovaciones que le permitan mejorar en sus prototipos.

Con este compromiso de continuar mejorando, investigar en el área de la electrónica automotriz para realizar la reprogramación del control de inyección y encendido del motor Honda CBR 600 F4i que se utilizó en el vehículo FESPE 2014, se realizaron modificaciones que mejoren el

funcionamiento del sistema, mientras se mantiene apego a las normas establecidas en el reglamento de la competencia.

En vista de que la única restricción que la FSG establece en el campo de la electrónica es el uso de un cuerpo de aceleración cuya mariposa sea actuada electrónicamente, deja una libertad total para la experimentación con distintos equipos y técnicas que controlen la gestión del motor.

6.5 Objetivos

6.5.1 Objetivo general

- Desarrollar la reprogramación del control electrónico de inyección y encendido del motor CBR 600 F4i del vehículo Formula Student, para obtener un óptimo desempeño en base a los parámetros establecidos para la competencia.

6.5.2 Objetivos específicos

- Determinar los componentes eléctricos y electrónicos necesarios, que cumplan con requerimientos para desarrollar la reprogramación del motor Honda CBR 600 F4i.
- Investigar fuentes bibliográficas confiables para desarrollar la reprogramación.
- Realizar mediciones de parámetros característicos del motor Honda CBR 600 F4i bajo funcionamiento de la computadora de tipo comercial.
- Seleccionar hardware y software que permita la reprogramación del sistema de control electrónico mientras cumple con el reglamento establecido por la FSG.

- Reprogramar los parámetros relacionados al control de la inyección y el encendido.
- Desarrollar las mediciones de los parámetros característicos con diferentes programaciones.

6.6 Metas

- Alcanzar una potencia mayor a 60 HP luego de haber realizado todas las restricciones de diseño establecidas en el reglamento de la FSG.
- Tener diversas programaciones disponibles para las pruebas que debe cumplir el vehículo dentro de los propios elementos de control.

6.7 Hipótesis

La reprogramación electrónica del control de la inyección y encendido del motor Honda CBR 600 F4i permitirá un manejo adecuado de su funcionamiento en diferentes condiciones de manejo de acuerdo a los eventos y el reglamento de la FSG.

6.8 Variables

- **Variable dependiente**

Reprogramación del control electrónico de inyección y encendido.

- **Variable independiente**

Eventos y reglamento de la FSG.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

6.1 Reprogramación electrónica

(Piris, 2010) “En una reprogramación de centralita se modifican parámetros dependiendo de lo que se pretenda conseguir, ajustando dichos parámetros a la mecánica del vehículo y a los deseos del conductor, a continuación se citan de una forma genérica:

- Cantidad de inyección, donde se tiene varios mapas para tal fin, como demanda, limitador de humos, limitador de par, etc.
- Encendido, que es el momento que se produce la chispa (En motores gasolina) y el momento en el que se inyecta el gasoil (en motores diesel).
- Presión de sobrealimentación, aquí se modifican los mapas que gestionan el turbo, para aumentar la presión ya que si se aumenta la inyección hay que aumentar la cantidad de aire para poder quemar correctamente el combustible, manteniendo una proporción de aire/combustible correcta.
- Recirculación de Gases de Escape (EGR), se calibra de manera que se aprovecha las ventajas de este sistema, minimizando la contaminación y evitando que el motor se ensucie.”

6.2 Tipos de reprogramación

(Fidalgo, 2014) “Aunque es un proceso muy sencillo, reprogramar la unidad de control del motor puede acabar en un fallo catastrófico. Si, por ejemplo, la comunicación se corta por algún motivo durante el proceso, la centralita quedará completamente inutilizada.

Para evitar (en lo posible) que pase este inconveniente, hay que entender como se debe proceder de forma correcta con cada uno de los diferentes tipos de reprogramación de unidades de mando. Por supuesto, se deberá seguir a rajatabla las instrucciones de fabricante”

6.2.1 Centralitas intercaladas

Para montar las mal llamadas centralitas o chips intercalados (en realidad, en su mayoría son resistencias variables), es necesario desenchufar la unidad de mando del coche. Con el fin de evitar picos de tensión al soltar y volver a enchufar los cables, lo más recomendable es desconectar la batería del vehículo al menos 15 minutos antes de comenzar. Quitar siempre el cable del borne negativo de la batería. Una vez “desembornada”, se debe desenchufar la centralita (o el sensor de temperatura NTC de refrigerante, dependiendo del tipo de unidad de mando) e intercalar el nuevo dispositivo entre el cable y la ECU originales.

6.2.2 Chip de potencia

En las unidades de mando antiguas que no son reprogramables se tiene que abrir físicamente la centralita para sacar de su zócalo el chip original y poner el nuevo. Es muy importante desconectar la batería y asegurarnos de no tener carga electrostática en el cuerpo mientras se manipula la placa base y las pastillas de memoria.

6.2.3 Reprogramar una ECU por cable (a bordo)

Este tipo de reprogramación es muy sencillo, pero necesita unos pasos básicos. Si en los procesos anteriores había que desconectar la batería para evitar daños, aquí el mayor peligro es que se agote la carga y la tensión baje de los 12 V. En algunos coches es necesario apagar los electroventiladores, la luz de cortesía, etc. Es recomendable que se haga con el vehículo conectado a un cargador de batería que garantice una tensión constante durante el proceso, que puede durar desde media hasta varias horas.

Enchufar el cable a la toma de diagnóstico y seguir las instrucciones del fabricante. Apagar el celular para evitar interferencias durante la carga de la nueva cartografía. Asegurarse que el cable está bien enchufado. Recordar que cualquier corte de comunicación en mitad del proceso dejará la centralita inutilizable.

6.2.4 ECU Stand-alone

Esta reprogramación es la más sencilla que existe, no necesita de ningún módulo o cable especial para poder realizar una modificación, e incluso soporta cambios sobre la marcha.

6.3 Reprogramación de una ECU de serie

(Piris, 2010) “El primer paso es revisar las condiciones del vehículo, para ello se procede a una prueba de automóvil, comprobación del estado del motor exteriormente (fugas, junta culata, etc), se realiza una diagnosis y se verifican los parámetros de los distintos sensores con el vehículo en marcha. También se puede hacer una gráfica de potencia, para ver el caballaje que el vehículo de antes de la reprogramación.

Se hace una lectura del software de la centralita (la cartografía original), normalmente esta lectura se encuentra en una memoria flash de tipo EEPROM o también se puede encontrar en una memoria interna que tiene el microprocesador de la centralita.”

Para llevar a cabo dicha lectura se puede realizar de varias formas, las más comunes son:

a) OBDII-J2534, sencilla, cómoda y la más extendida, se hace a través del puerto de diagnóstico del vehículo por medio de una interfase profesional la cual viene enfocada con dicho fin, como la de la figura 2.



Figura 2: Interfaz de CMDFlash-OBDF

b) BDM, es una interfaz que se conecta directamente en la placa base de la centralita por medio de un conector. Para realizar este tipo de lectura es preciso extraer del coche la centralita. La figura 3 muestra un módulo BDM con una ECU conectada



Figura 3: Interfaz CMDFlash-OBDF

c) Desoldar la memoria, esta es la más laboriosa ya que normalmente son componentes SMD (Dispositivos de montaje superficial), son pequeñas y se necesita de herramientas de precisión para su extracción. Una vez desoldada la memoria se dispone a hacer su lectura por medio de un programador de memorias y obtener la cartografía original de la centralita.

El archivo de la cartografía, que corresponde a un fichero de tipo BIN, se

edita con un software específico realizando los cambios oportunos a los parámetros de funcionamiento, adaptándolos al estado del motor y a las indicaciones del cliente para obtener el vehículo que desea. Los archivos obtenidos de las memorias deben tener un tamaño correspondiente a un valor exponencial de dos: 32, 64, 128, 256, 512, etc. en kilo bytes.

6.4 Norma SAE J2534

(Weissler, 2012) “J2534 es una interfase estándar diseñada por la SAE por mandato de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de Estados Unidos para la reprogramación de ECU de vehículos. Su propósito es crear una interfaz de programación de aplicaciones (API) la cual sería adoptada por todos los fabricantes de vehículos, permitiendo a los fabricantes independientes de partes la capacidad de reprogramar ECU sin la necesidad de herramientas especiales de la casa matriz.”

Existen dos partes en la interfase SAE J2534, denominadas 1 y 2.

(Weissler, 2012) “SAE J2534-1 define características para un dispositivo que realiza la reprogramación de la ECU con respecto a las emisiones (y podría aplicarse a otros aspectos aparte de emisiones).

SAE J2534-2 define características opcionales para un dispositivo que realiza la reprogramación de la ECU pero que no toma en cuenta las emisiones. También ofrece una forma en que los fabricantes de equipo original puedan reprogramar las ECU en sus vehículos usando J2534 entregándoles y publicando la información necesaria acerca de las ECU.

La regulación de la EPA ordena que los fabricantes de equipos automotrices deben cumplir con la reprogramación a través de la interfaz J2534 desde los modelos de 2004 en adelante para las computadoras de motor. Para los vehículos de 1996 a 2003 los fabricantes deben proporcionar los accesorios necesarios para adaptarse al hardware de reprogramación u ofrecer toda la información necesaria para que los fabricantes

independientes puedan crear sus propios dispositivos de reprogramación.”

6.4.1 Extracción del archivo de memoria por OBDII-J2534

El procedimiento no varía demasiado dependiendo del equipo que se utilice. Como ejemplo se mostrará el procedimiento con CMDFlash-OBDD.

El primer paso es conectar el dispositivo al vehículo a través del puerto OBDII. En el software del equipo se selecciona el fabricante, el modelo y la versión del vehículo como se muestra en la figura 4:

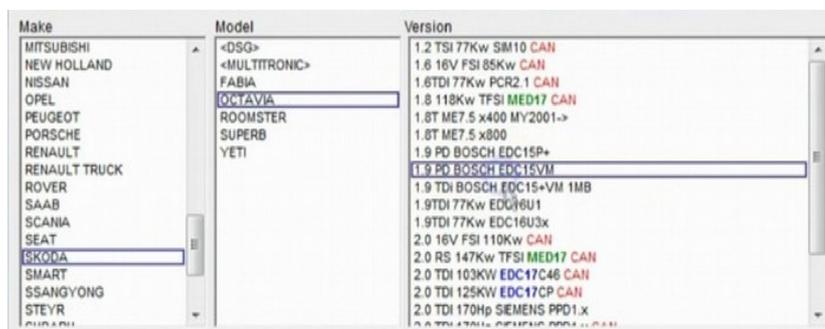


Figura 4: Selección de vehículo en software CMDFlash.
Fuente: (Sntuning, 2014.)

Se procede con la identificación y lectura, como se ve en la figura 5:



Figura 5: Computadora identificada lista para lectura.
Fuente: (Sntuning, 2014.)

Al terminar la lectura se obtiene un archivo binario el cual tiene un peso de 512kb, que corresponde a un exponente de 2 como se indico anteriormente.



Figura 6: Archivo de ECU.
Fuente: (Sntunig, 2014.)

El archivo obtenido está listo para modificarse con un programa adecuado. Para escribirlo de nuevo en la centralita, en la ventana principal del software en lugar de elegir la opción de leer, se escoge la de escribir, e inmediatamente se abrirá una ventana mostrando los archivos disponibles.

6.4.2 Importancia de usar interfases profesionales

(Piris, 2010) “Una Interfaz Profesional, es la maquina que permite llevar a cabo las lecturas de las cartografías de las centralitas, este tipo de maquinas pueden ser semiprofesionales o profesionales, aunque lamentablemente también se encuentra a un gran número de “reprogramadores” los cuales utilizan interfases “amateurs” o “clonadas”, estas interfases no son seguras y son propensas a producir errores y problemas durante todo el proceso de lectura/escritura de la cartografía.”

- Si se produce un error durante el proceso de escritura, el coche quedara inutilizado debido a que la centralita se bloquee, teniendo que realizar un proceso de desbloqueo para poder hacerla funcional de nuevo. Este tipo de función de recuperación solo lo tienen algunas de las interfases profesionales.
- Si se escribe una cartografía reprogramada que no se le haya corregido el “checksum” la centralita se bloquee al intentar arrancar el vehículo

debido a la comprobación que realiza la ECU de que el checksum sea el correcto o no se encuentre corrupto en el momento del arranque. El checksum, es una suma de verificación o una forma de control de redundancia, la cual es una medida “muy simple” para proteger la integridad de datos, verificando que no hayan sido corruptos.

- Otros problemas que pueden ocurrir es que en algunos modelos de vehículos, los inyectores se encuentran codificados, por lo tanto a no ser que la interfaz de lectura/escritura soporte la codificación de dichos inyectores el coche al arrancar entrara en fase de avería, no permitiendo pasar de las 1500 rpm normalmente y teniendo únicamente como solución la recodificación de dichos inyectores.”

6.4.3 Extracción de archivos de memorias por programador universal

(Augeri, 2006) “Cuando se ha desmontado la memoria EEPROM de la centralita, el archivo que está grabado en esta puede ser extraído mediante un dispositivo llamado programador universal, el cual puede ser igual al mostrado en la figura 7.



Figura 7: Programador Universal USB.
Fuente: (Eetools, 2014.)

Existen distintos tipos de programadores de EEPROM en el mercado, estos pueden medirse por su velocidad, capacidad de manejo de distintos componentes, espacio físico, la posibilidad de su manejo portátil, etc.”

Es necesario contar con el software apropiado para el programador, que generalmente viene juntamente con el equipo y del cual se usarán dos funciones principales, leer y escribir archivos de una memoria.

Según el tipo de memoria que exista en la centralita se podrá usar directamente sobre el programador o será necesario utilizar un adaptador que le permita coincidir los pines de dicho dispositivo con los de la memoria en la posición que sea la indicada para la lectura del archivo. Dentro de las computadoras automotrices existen tres tipos principales de memorias: DIL, PLCC y SOP.

6.4.4 Memorias DIL

(Augeri, 2006) “Este encapsulado, como se aprecia en la figura 8 posee 2 líneas con patas o pines de acceso, estas pueden ser de 28 o 32 pines. Una marca o muesca se puede observar en su encapsulado, la cual se puede tomar como una guía para orientarse con respecto a la numeración de los pines, esta guía indicará la ubicación del pin 1 de la memoria.



Figura 8: Memoria DIL de 28 pines.
Fuente: (Autoavance, 2013.)

También se suele encontrar una ventana en el medio del componente el

cual indica que se puede borrar los datos de la misma con rayos ultravioletas.”

Debido a la disposición de doble fila de los pines de esta memoria, puede ser colocada directamente sobre el programador para su lectura.

6.4.5 Memorias PLCC

(Augeri, 2006) “Este encapsulado cuenta con un tamaño reducido y la configuración de sus patas envuelve los 4 lados a diferencia de las memorias DIL como se puede ver en la figura 9. La cantidad de patas puede ser de 32, 44, 48. Lo particular de esta configuración es que las patas o pines se encuentran hacia adentro y su montaje es superficial a la placa. Esto simplifica el tamaño que ocupa en la centralita y también aporta mayor capacidad en su interior. Este tipo de memorias se borran eléctricamente. Sobre un lateral posee una marca que nos indica la posición pin 1. Pueden ser encontradas montadas directamente sobre la placa como también sobre un zócalo.”

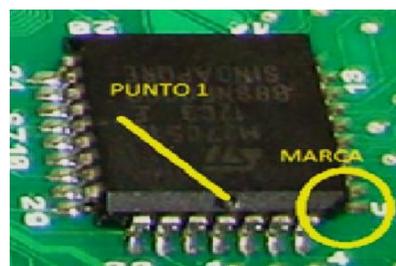


Figura 9: Memoria PLCC de 36 pines.
Fuente: (Autoavance, 2013.)

Para poder usar esta memoria con el programador es necesario utilizar un adaptador como el de la figura 10, que cambie la posición de los pines a los de una memoria DIL que se puede usar directamente sobre el programador.

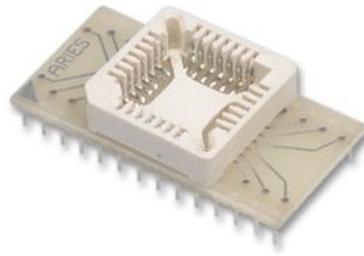


Figura 10: Adaptador PLCC a DIL.
Fuente: (Farnell, 2014.)

6.4.6 Memorias SOP

(Augeri, 2006) “Este encapsulado es uno de los más utilizados en la actualidad, posee una capacidad de almacenamiento de 2 hasta 32 megas en el uso automotriz, este encapsulado logro tanto en su costo, como en capacidad y espacio un compromiso adoptado por los fabricantes de electrónica automotriz. La cantidad de pines utilizados es de 44 o 48 terminales, también posee una marca el cual nos indica la posición del pin 1, como se observa en la figura 11. Esta Memoria puede borrarse eléctricamente, lo que facilita considerablemente el proceso de modificación.”



Figura 11: Memoria SOP de 44 pines.
Fuente: (Autoavance, 2013.)

6.5 Modificación del archivo de memoria

La modificación del archivo de la memoria de la centralita se puede realizar mediante dos tipos de software: el especializado, como es el programa ECM2001 y Chip Race, y el de uso general que no es más que un editor hexadecimal. Cada uno tiene sus ventajas y su grado de dificultad.

6.5.1 Modificación del archivo de memoria con ECM2001

(Manuel, 2006) “El programa ECM2001 es un software especializado para la modificación de los archivos de memoria de las centralitas de serie de múltiples fabricantes, su principal ventaja es que permite la visualización de los archivos extraídos de las memorias como un archivo hexadecimal, plano cartesiano y mapa 3D, su desventaja es que requiere de un driver que corresponde únicamente a la ECU de la cual se extraerá el archivo, estos drivers son comercializados por el fabricante del equipo, en este caso Alientech, y no son intercambiables entre centralitas, aunque correspondan a la misma marca, si dos vehículos tienen el mismo motor pero varía la serie, se usarán drivers distintos. Con este driver, el software es capaz de identificar e indicar donde se encuentran los principales mapas como son el de inyección, avance al encendido, enriquecimiento en frío, presión del turbo y otros más.”

La interfaz del programa, mostrada en la figura 12, presenta en su pantalla principal tres secciones en las cuales se debe indicar el driver de la ECU, el archivo que se modificará y un archivo modificado. Para editar el fichero es necesario disponer del driver.



Figura 12: Pantalla principal del software ECM2001.
Fuente: (Manuel, 2006.)

En el recuadro que indica “EEPROM Originale” se selecciona el archivo a modificar. El programa notificará en una ventana que no se ha seleccionado un driver pero solo se acepta y se continua.

La pantalla principal cambiará a una vista con dos columnas a la derecha y el recuadro de “EEPROM Modificada” se autocompletará con el mismo archivo original. En las dos columnas se mostrarán los dos archivos. Esto se ve en la figura 13.

Como el archivo no está modificado en ambas columnas se mostrarán los mismos datos y debajo del recuadro de la memoria modificada se indicará que todavía no ha habido ningún cambio.

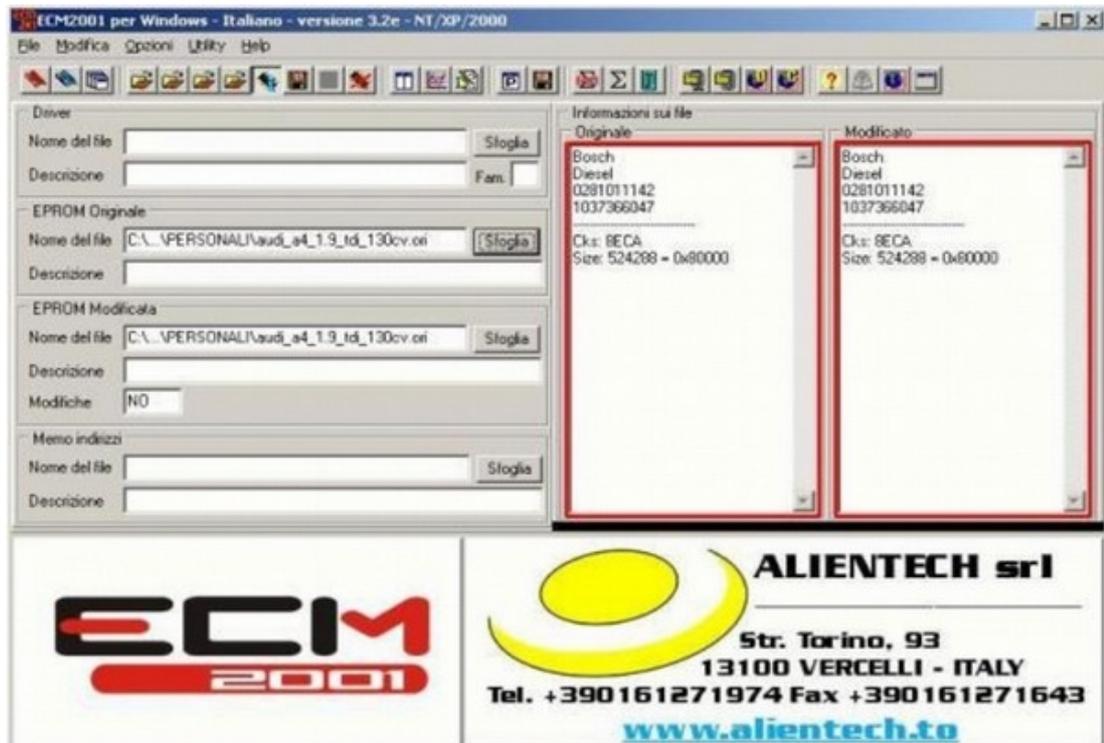


Figura 13: Pantalla ECM2001 con archivos cargados.
Fuente: (Manuel, 2006.)

Los dos números más largos que se ven en las dos columnas corresponden al número de serie de la ECU (HW) y del programa (SW) como se indica en la figura 14. Los últimos números ayudan a encontrar el driver de una base de estos archivos que puede ser comprada a Alintech.



Figura 14: Número de versión de la ECU y el archivo.
Fuente: (Manuel, 2006.)

En el recuadro de 'Driver' se abre un explorador en el que se busca en un directorio y sub-directorio el driver que corresponda según la marca y el

modelo de vehículo, los últimos números de identificación de la ECU así como del archivo de memoria sirven para identificar el archivo, como en la figura 15.

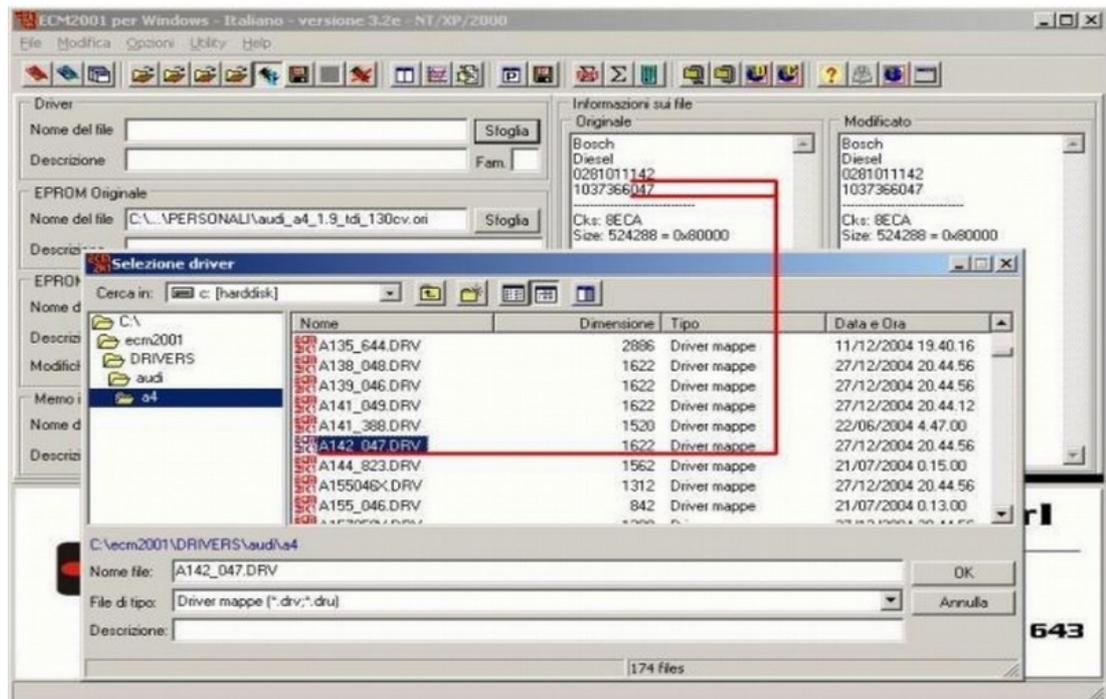


Figura 15: Correspondencia de ECU, archivo de memoria y driver.
Fuente: (Manuel, 2006.)

Los drivers tienen extensión .drv o .dru. Con el driver cargado, en la barra de menús del programa, aparecerán nuevas opciones como se muestra en la figura 16, correspondientes a los mapas y valores modificables que se encontraron con ese driver. Al seleccionar el menú se muestra un submenú con los mapas que se pueden modificar.

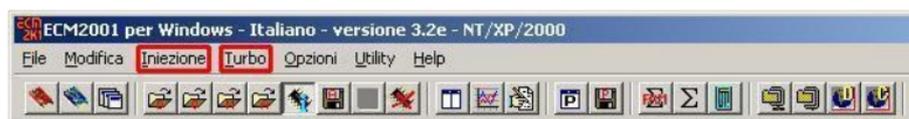


Figura 16: Nuevos menús con los mapas que se pueden modificar.
Fuente: (Manuel, 2006)

Al seleccionar una de las opciones se abrirá una nueva ventana en la que se visualizará una tabla con los valores que corresponden a ese mapa según

con las condiciones de velocidad y carga a las que trabajará el motor.

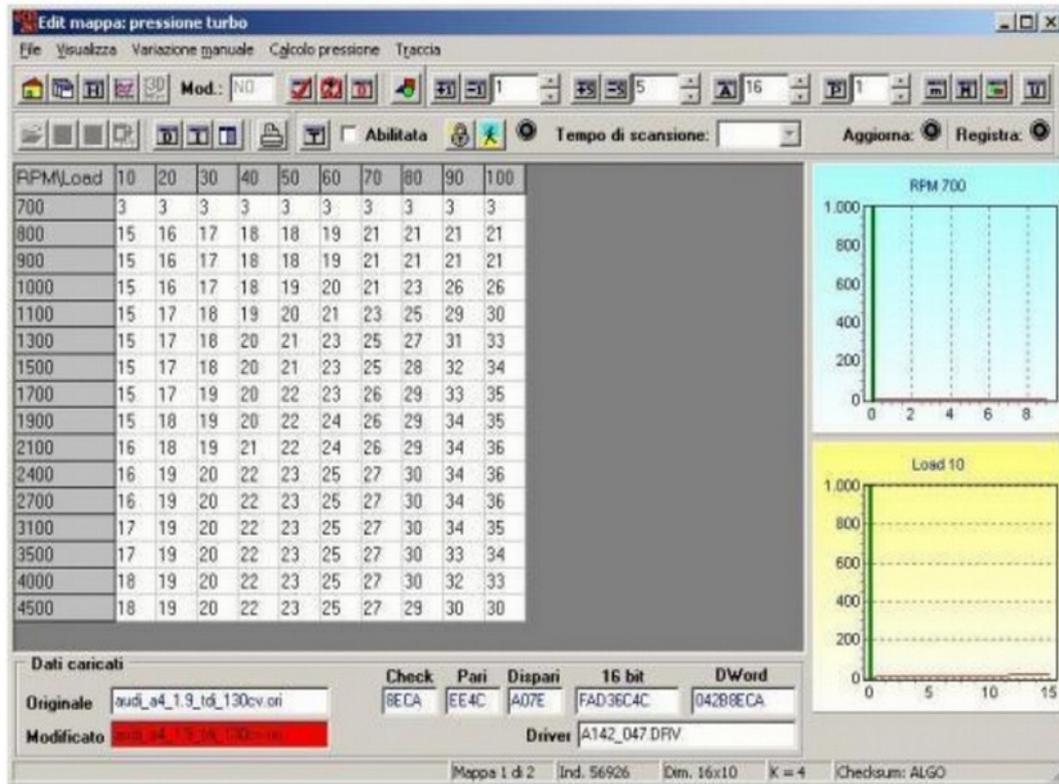


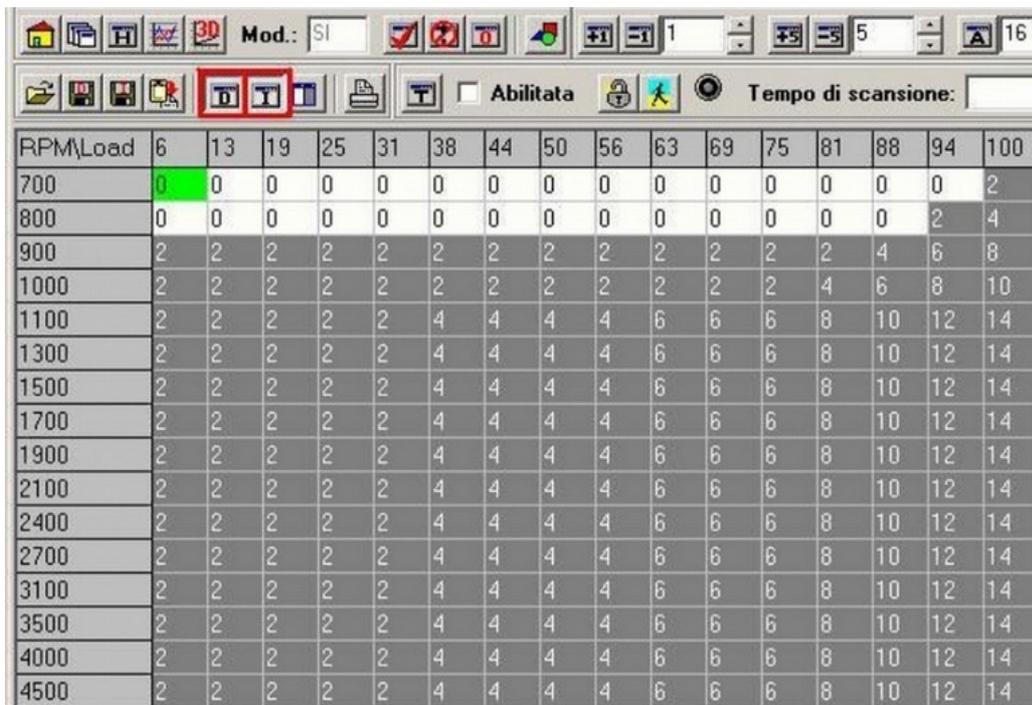
Figura 17: Vista en tabla de un mapa de inyección.

Fuente: (Manuel, 2006.)

En este mapa se pueden hacer las modificaciones necesarias y oportunas mediante los atajos de teclado que están indicados en el menú de "Variación manual", estas variaciones se hacen en incrementos o decrementos del 10% del valor máximo de la celda, pero también se puede ingresar directamente el valor numérico que corresponda según el criterio del programador. Las celdas modificadas se marcarán en color rojo.

Al finalizar una modificación, se deberá confirmar desde el menú Archivo, en la opción "Confirmation" o con la tecla F3.

Dos opciones muy útiles son la diferencia y la visualización de incrementos. La primera sirve para que todos los valores de un rango de celdas seleccionadas se distribuyan uniformemente entre la primera y la última celda de la selección, y la segunda permite observar los valores de los incrementos realizados, como se ve en la figura 18:



RPM\Load	6	13	19	25	31	38	44	50	56	63	69	75	81	88	94	100
700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4
900	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	6	8
1000	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	6	8	10
1100	2	2	2	2	2	4	4	4	4	6	6	6	8	10	12	14
1300	2	2	2	2	2	4	4	4	4	6	6	6	8	10	12	14
1500	2	2	2	2	2	4	4	4	4	6	6	6	8	10	12	14
1700	2	2	2	2	2	4	4	4	4	6	6	6	8	10	12	14
1900	2	2	2	2	2	4	4	4	4	6	6	6	8	10	12	14
2100	2	2	2	2	2	4	4	4	4	6	6	6	8	10	12	14
2400	2	2	2	2	2	4	4	4	4	6	6	6	8	10	12	14
2700	2	2	2	2	2	4	4	4	4	6	6	6	8	10	12	14
3100	2	2	2	2	2	4	4	4	4	6	6	6	8	10	12	14
3500	2	2	2	2	2	4	4	4	4	6	6	6	8	10	12	14
4000	2	2	2	2	2	4	4	4	4	6	6	6	8	10	12	14
4500	2	2	2	2	2	4	4	4	4	6	6	6	8	10	12	14

Figura 18: Incrementos realizados en un rango de celdas.
Fuente: (Manuel, 2006.)

En la barra de herramientas también se encuentran opciones útiles para modificar el archivo y en el menú de visualización se puede cambiar la vista del mapa con las opciones disponibles en la figura 19.



Figura 19: Opciones de visualización de mapas en ECM2001.
Fuente: (Manuel, 2006.)

En una gráfica 2D, el software indica las diferencias entre el mapa original y las modificaciones realizadas, esto se observa en la figura 20:

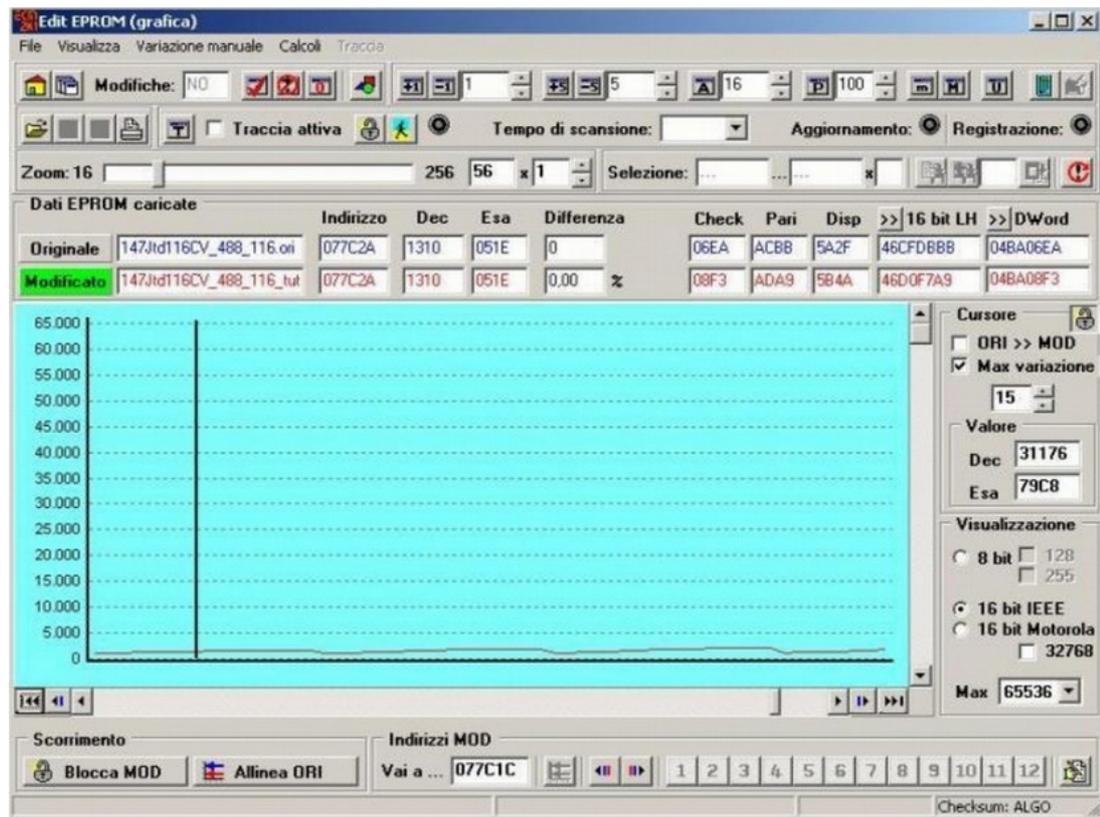


Figura 20: Gráfica 2D de un mapa.
Fuente: (Manuel, 2006.)

6.5.2 Modificación del archivo de memoria con Chip Race

El programa Chip Race es un software que permite editar mapas en dos dimensiones, como un plano cartesiano, igual a la figura 21:

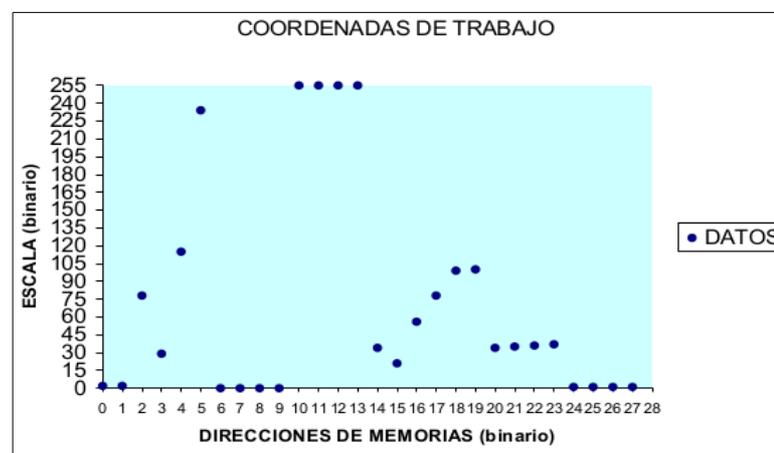


Figura 21: Valores de cada dirección en un plano cartesiano.
Fuente: (Augeri, 2006.)

En un editor de archivos hexadecimal se muestra el contenido de los archivos en direcciones de filas y columnas, en el programa Chip Race, se muestran cada una de esas direcciones en el eje X, mientras que en el eje Y se muestran cada valor que tiene esa dirección con una cifra entre 0 y 255.

Para entender como están dispuestos los datos es necesario unir cada uno de los valores con una línea, de tal forma que se vean curvas ascendentes, descendentes y zonas planas, como se ve en la figura 22:

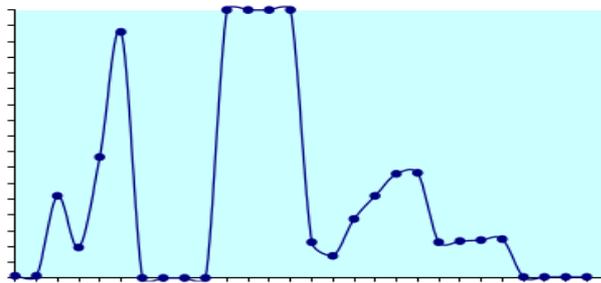


Figura 22: Curvas ascendentes y descendentes.
Fuente: (Augeri, 2006.)

Al iniciar el programa Chip Race mostrará la pantalla gris, de la figura 23.

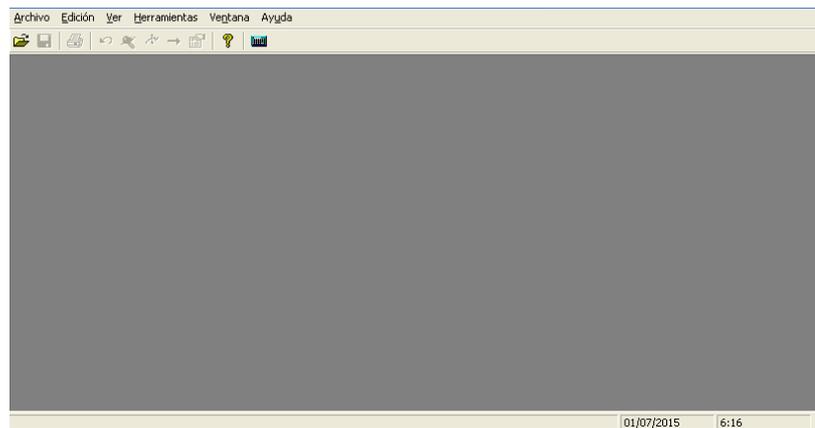


Figura 23: Pantalla de inicio Chip Race.
Fuente: (Perea, 2006.)

En el menú 'Abrir' se elige el archivo que se va a modificar e inmediatamente el programa mostrará las curvas correspondientes a todos los valores que encontró, como está en la figura 24.

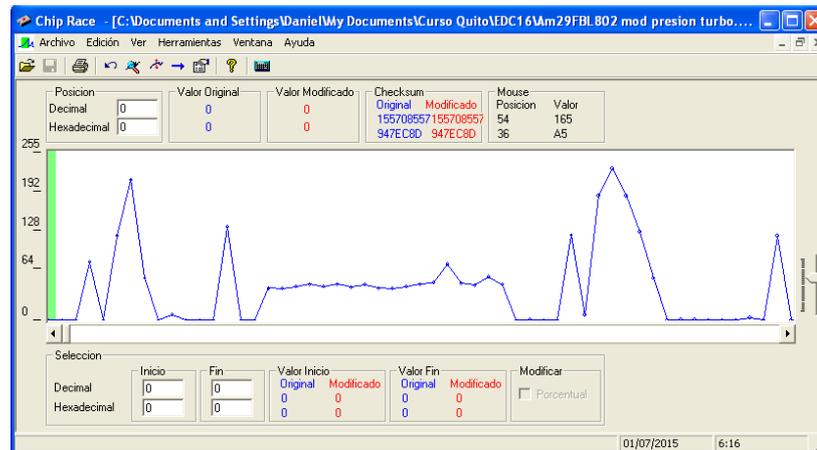


Figura 24: Archivo de memoria abierto en Chip Race.
Fuente: (Perea, 2006.)

Se puede ir a una dirección específica indicando su valor decimal o hexadecimal en el recuadro 'Posición'. El tamaño de las curvas puede ser cambiado con la barra deslizante que se encuentra en la parte derecha de la ventana.

Se puede observar en las propiedades del archivo el tipo de memoria, el tamaño en bytes y la suma de verificación checksum, como se muestra en la figura 25



Figura 25: Propiedades de un archivo de memoria.
Fuente: (Perea, 2006.)

El software dispone de una herramienta de búsqueda igual a la figura 26, que ayuda a encontrar los posibles mapas, localizando secuencias de puntos que estén en aumento. Presionando F3 se busca la siguiente curva.

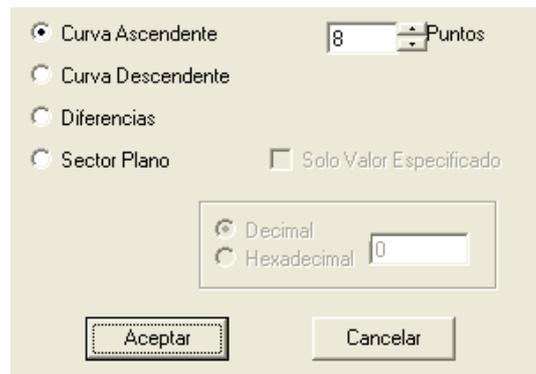


Figura 26: Herramienta de búsqueda de Chip Race.
Fuente: (Perea, 2006.)

Para encontrar un mapa, se parte del principio que al aumentar la carga y velocidad incrementará el valor de la inyección o del adelanto, por lo tanto se debe buscar las curvas que tengan puntos con valores que vayan en aumento, pero que además sean consecutivas, ya que en un mapa cada fila de velocidad o columna de carga, esta seguida de una que tendrá un valor más alto, la siguiente curva será similar a la anterior pero con una ligera variación. La figura 27 muestra un ejemplo de un posible mapa tras realizar una búsqueda de curvas con 5 puntos ascendentes.

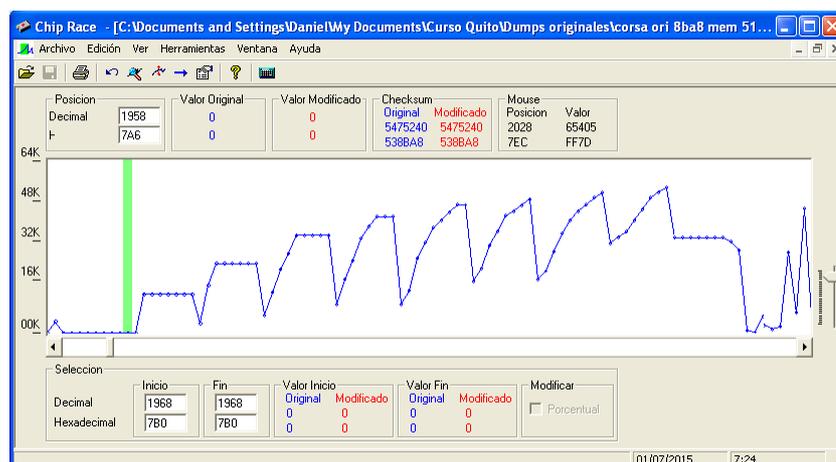


Figura 27: Curvas ascendentes de un posible mapa.
Fuente: (Perea, 2006.)

Para hacer una modificación se selecciona la sección que es de interés alterar deslizando el puntero con un click sobre una zona blanca como en la figura 28.

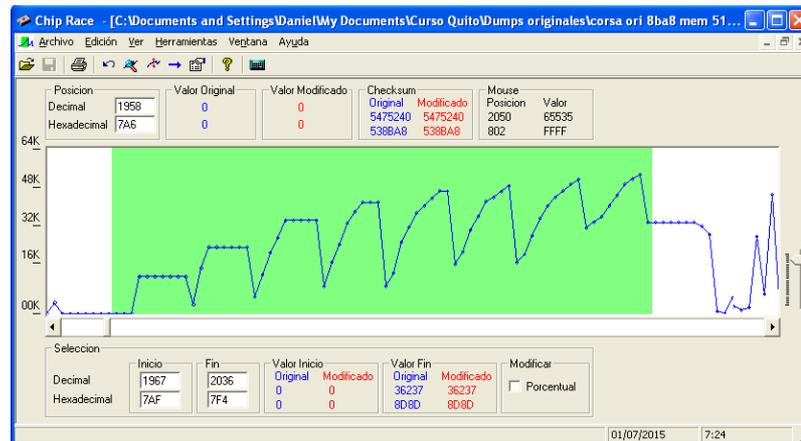


Figura 28: Mapa seleccionado para modificar.
Fuente: (Perea, 2006)

Se arrastra con el puntero hacia arriba y abajo para cambiar esa curva o se utiliza la herramienta de modificación para hacer cambios precisos como en la figura 29. El programa corrige automáticamente el checksum de tal forma que no se altere y pueda funcionar al ser grabado de nuevo.



Figura 29: Herramienta de modificación.
Fuente: (Perea, 2006.)

Para comprobar las modificaciones, el programa las mostrará con una línea roja y en azul las originales, no se recomienda hacer variaciones de más del 5% si no se tiene la seguridad de lo que se está modificando. Para

corregir el checksum, en caso de que el programa no lo realice automáticamente, se deberá buscar una sección plana del archivo en la cual no habrá problemas si se hacen modificaciones, para reducir o aumentar valores hasta ajustar la suma de verificación. El programa advierte si alguna modificación es excesiva.

6.5.3 Modificación del archivo de memoria con editor hexadecimal

Un editor hexadecimal es aquel que permite visualizar el archivo binario de la memoria de la ECU usando solo números apilados en filas y columnas correspondientes al tamaño del archivo. Ejemplos de estos programas son HxD y wxHexEditor. El inconveniente de estos programas es que pueden ser complejos de entender y dificultar el encontrar curvas de inyección, pero su principal ventaja radica en que pueden ser capaces de desvelar secretos del código fuente de la ECU que no pueden ser vistos en mapas de dos dimensiones, como los de Chip Race, como la ubicación de un mapa de inyección o el sensor de oxígeno, como se indica en la figura 2.29.

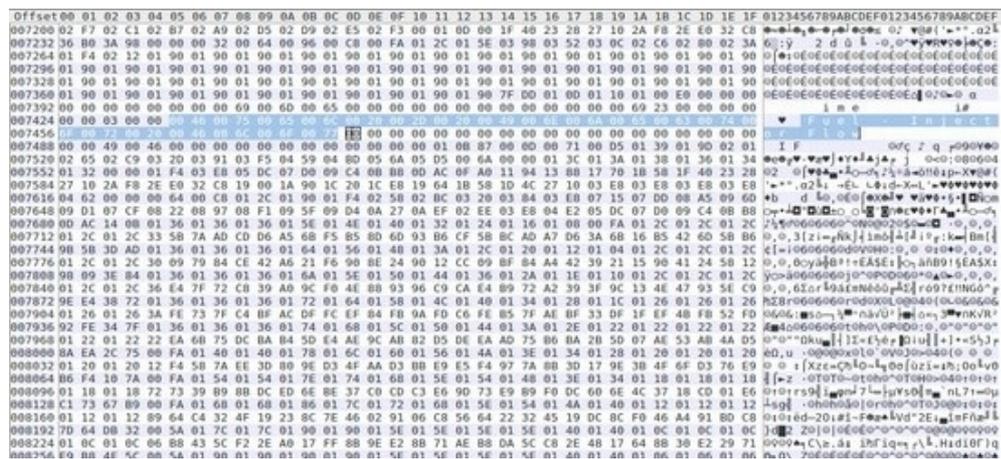


Figura 30: Editor hexadecimal mostrando un mapa de inyección. Fuente: (Altinyurt, 2014.)

Este software también puede buscar secuencias de valores hexadecimales y texto, como se muestra en la figura 31, lo que es muy útil para encontrar zonas planas.

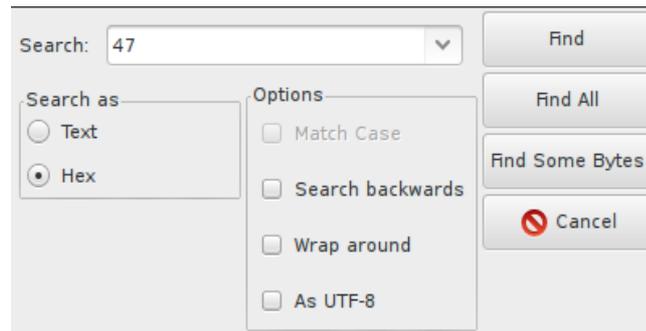


Figura 31: Herramienta de búsqueda.
Fuente: (Altinyurt, 2014)

Como estos programas no son diseñados para hacer modificaciones en centralitas, sino en archivos binarios en general, la corrección del checksum deberá hacerse manualmente o utilizando la propia herramienta del programa, como la figura 32.

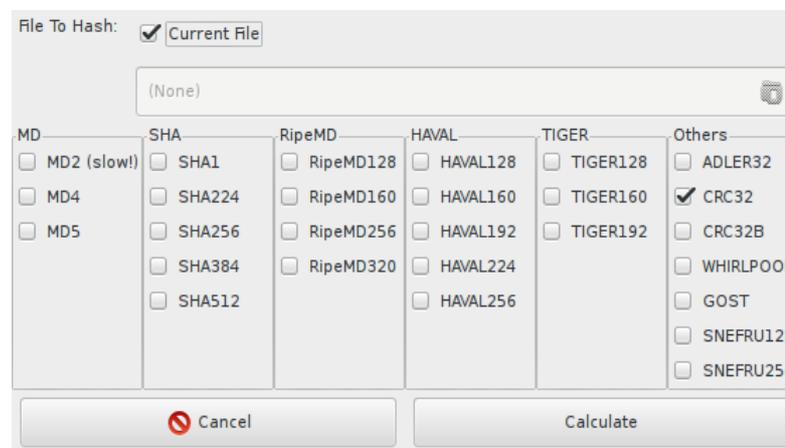


Figura 32: Herramienta para el calcular de suma de verificación.
Fuente: (Altinyurt, 2014)

En combinación con Chip Race puede ser una poderosa herramienta de modificación de archivos de centralitas.

6.6 Reprogramación de una ECU Stand-alone

(Veloz, 2014) “Las ECU stand-alone o unidades de control de inyección de motor son aquellas unidades que no tienen un comportamiento prefijado, y pueden ser reprogramadas por el usuario.”

Este tipo de ECU varían entre si de acuerdo al fabricante y a la aplicación que se le va a dar, pues no están dirigidas únicamente a carros en competencias de velocidad, si no también a motos, vehículos acuáticos, aviones y competencias de resistencia.

6.6.1 Fabricantes de ECU reprogramables

Entre las principales marcas que desarrollan estos equipos se puede nombrar: Haltech, Motec, AEM, Electromotive.

a) Haltech ofrece las series ELITE, que es la de más altas prestaciones, Platinum Sport 1000 y 2000, la serie Sprint Sport RE y 500, y una serie de ECU del tipo plug-in. En la figura 33 se puede ver una computadora de la serie ELITE.



Figura 33: ECU Haltech Elite 1500.
Fuente: (Haltech, 2014.)

b) Motec ofrece en las computadoras para autos las series M1, M84, M400,

M600 y M800. Adicionalmente tiene dispositivos para aplicaciones marinas y de uso militar. La ECU de la figura 34 es una Motec M800.



Figura 34: ECU Motec M800.
Fuente: (Motec, 2014.)

c) AEM Electronics cuenta con sus series Infinity, Serie 2 y EMS-4. De esta marca se destacan sus sistemas para incremento de potencia como inyección de metanol y control de flujo de combustible.



Figura 35: ECU Infinity de AEM.
Fuente: (AEM, 2014.)

d) Electromotive dispone de dispositivos capaces de controlar autos, barcos y trenes. Sus series disponibles en el mercado son: TEC 3R, TEC GT, TEC S y TEC M, la última utilizada en vehículos de marca BMW.



Figura 36: ECU Electromotive TEC GT.
Fuente: (Electromotive, 2014.)

6.6.2 Software de reprogramación de ECU stand-alone

Cada fabricante provee el software de reprogramación de su computadora, pero también pueden ser modificados con un editor hexadecimal, aunque utilizar esta herramienta resulta totalmente innecesario ya que el software de la ECU mostrará todas las opciones disponibles con la visualización que el usuario desee.

El software de Haltech de la serie Platinum, denominado EcuManager, es uno de los más amigables y completos que existen, porque permite utilizar diversas configuraciones de visualización, adquisición de datos, modificación en tiempo real y control de actuadores desde la PC del reprogramador.

La pantalla principal mostrada de la figura 37 muestra el logo de la empresa, el estado de la ECU y dos opciones en la barra de herramientas, conectar y abrir, el primero permite detectar la ECU mientras el segundo abre los mapas existentes para poder modificarlos o compararlos.



Figura 37: Pantalla de inicio de Haltech EcuManager.
Fuente: (Haltech, 2015)

Al seleccionar el icono de conectar la ECU, en la parte superior izquierda junto al icono de abrir, el software se conectará, sincronizará y descargará el programa existente en la computadora como se ve en la figura 38; cabe recalcar que todas las ECU de esta marca vienen con una configuración base por defecto.



Figura 38: Estado de la conexión con la ECU en EcuManager.
Fuente: (Haltech, 2015)

La siguiente ventana, ilustrada en la figura 39, muestra las condiciones actuales de la ECU. Se puede apreciar los indicadores de tipo reloj, barra y digitales, una tabla con los valores de un mapa, y un mapa 3D. En la parte derecha muestra una lista de los mapas y calibraciones que se pueden modificar con una pequeña leyenda del mapa actual.

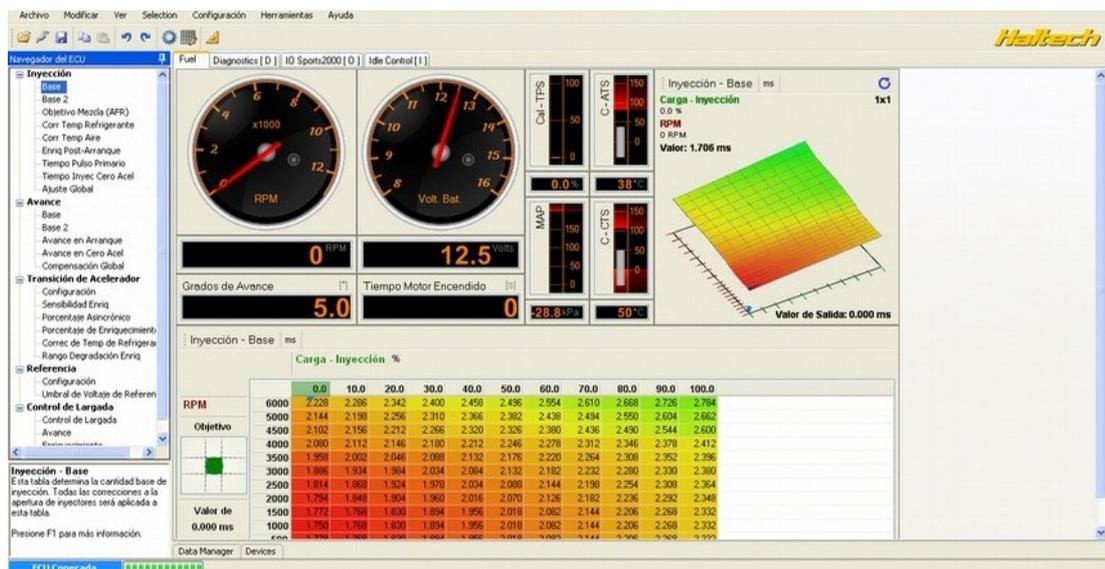


Figura 39: Vista del programa EcuManager con la ECU conectada.
Fuente: (Haltech, 2015.)

En esta ventana se puede añadir más indicadores, o crear más pestañas con distintos indicadores que faciliten la tarea que se va a realizar.

Al lado izquierdo se puede navegar entre los mapas disponibles.

Para realizar modificaciones se debe seleccionar las celdas, con las flechas de desplazamiento se puede mover el conjunto de selección. Con las teclas de RePág y AvPág se realizan las modificaciones, si se presiona la tecla de Shift al mismo tiempo los cambios se hacen con precisión, si se presiona la tecla Control los cambios se hacen en una escala muy grande.

El software permite hacer modificaciones a los valores de revoluciones y carga de los ejes de la tabla para poder hacer cambios más finos, como se ve en la figura 40, ya que permite utilizar tablas de hasta 32x32.

Algunas propiedades de los ejes de esta tabla no pueden ser editados

Eje de Filas

Activar Eje

Valores: RPM **Longitud Máxima:** 32

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500

Eje de Columnas

Activar Eje

Valores: % **Longitud Máxima:** 32

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.0	10.0	20.0	30.0	40.0	50.0	60.0	70.0	80.0	90.0

OK Cancelar Aplicar

Figura 40: Modificación de valores en filas y columnas.
Fuente: (Haltech, 2015.)

Primero hay que indicarle a través del programa cuales son las características del motor. Esto se hace en el menú "Setup", en el submenú "Main Setup", en la figura 2.40



Figura 41: Menú principal de configuraciones.
Fuente:(Haltech, 2015.)

Se despliega una ventana como la de la figura 42.

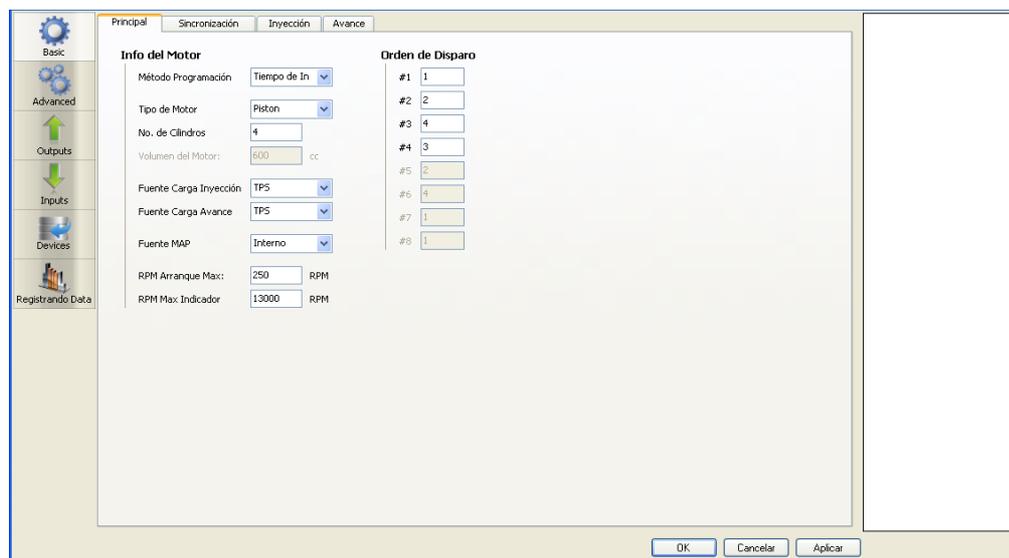


Figura 42: Pantalla principal de configuraciones del motor.
Fuente: (Haltech, 2015.)

En esta ventana se deben indicar datos como: tipo de motor, número de cilindros, orden de encendido, fuente de señal de carga del motor, configuración de inyección y encendido, etc. En la pestaña de funciones avanzadas de la figura 43, se muestran algunos dispositivos que pueden sincronizarse y tablas de corrección.

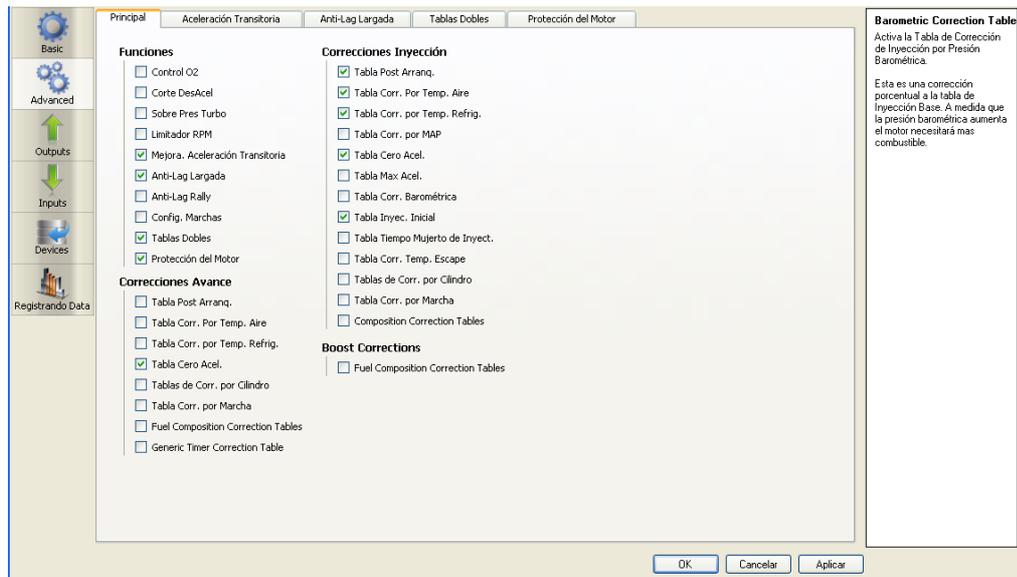


Figura 43: Funciones avanzadas de la ECU.
Fuente: (Haltech, 2015.)

Algunas de estas funciones es requieren la utilización hardware adicional, que permitan al conductor interactuar con el equipo.

Las otras dos pestañas de entradas y salidas permiten calibrar los sensores, así como controlar actuadores adicionales como ventiladores, bombas o luces.

Para utilizar algunas de las funciones de esta ventana, el software indicará que se debe reiniciar la computadora, bien sea desconectando y conectando la alimentación o desde el menú 'Herramientas'.

Todas las modificaciones que se realicen en la ECU se guardan automáticamente en ella, pero si se desea utilizarlas en otros equipos o ver los mapas después, es necesario guardar una copia en el disco duro.

6.7 Mapas tridimensionales

(Seas, 2015) “El mapa es la configuración del sistema de inyección para la regulación de la mezcla aire combustible. Lleva un conjunto de

configuraciones para la centralita del motor. Es similar a un gráfico con un eje X y un eje Y, el eje X tiene sentido de izquierda a derecha, mientras que el eje Y tiene sentido de arriba hacia abajo. Los números a lo largo del eje X representan la velocidad del motor en revoluciones por minuto (rpm), y los números sobre el eje Y representan la carga del motor. Si se colocan puntos dispersos sobre la cuadrícula que forman las intersecciones del eje X con el eje Y, que representan diferentes situaciones de conducción, se obtendrá un mapa de combustible. En cada punto la computadora da la señal a los inyectores de que hacer en una situación específica, con la combinación de velocidad del motor y demanda de torque. Normalmente en un motor de inyección, la computadora usa un mapa numérico o un mapa gráfico de tres dimensiones para determinar cuanto combustible debe entregar o cuanto adelanto al encendido debe haber.” Un mapa de tres combustible típico es como el de la figura 44.

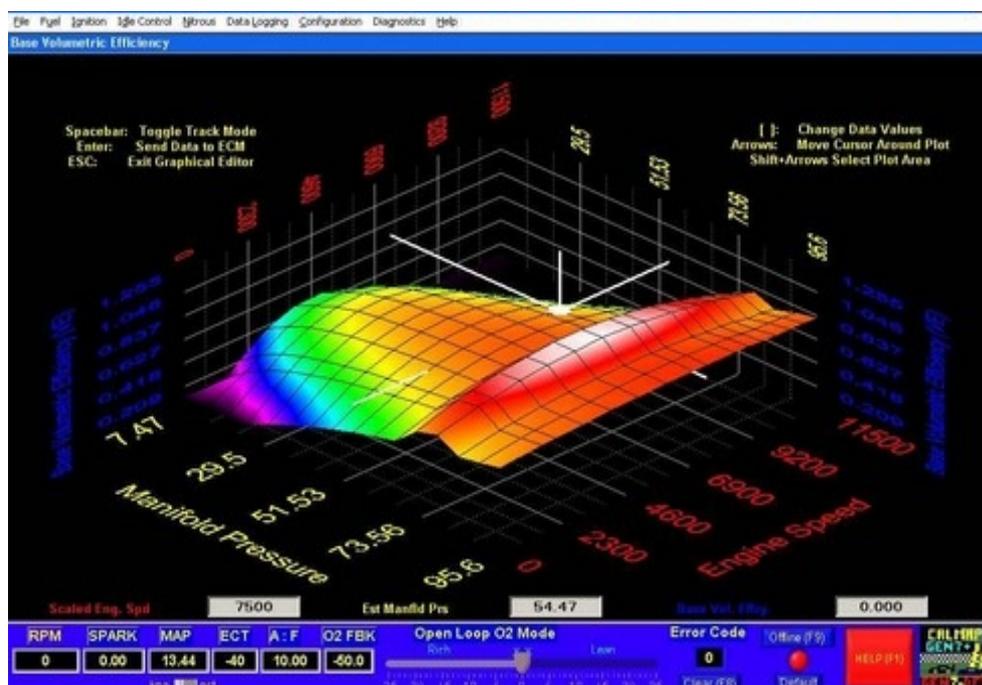


Figura 44: Mapa de combustible 3D.
Fuente:(Seas, 2015.)

En este mapa se puede ver que los colores varían, esto se debe al valor numérico de cada uno de ellos, los valores más altos corresponden a los

colores más cálidos, mientras los valores más bajos son de colores más fríos.

Para motores de aspiración natural, la carga del motor suele ser la misma que la lectura del sensor TPS, que en esencia es que tan presionado esta el acelerador. Para motores turbo o de alimentación forzada, la carga típica del motor es la lectura del sensor MAP. La elevación que se ve en el mapa es cuanto combustible le está dando la computadora al motor, o la eficiencia volumétrica.

En un mapa de tres dimensiones es mucho más sencillo observar que correcciones son necesarias cerca de determinados puntos. Por ejemplo en el mapa de la figura 45, se puede observar que no tiene una superficie muy pareja o suave y por tanto tiene áreas que no están muy bien hechas, como el punto donde se cruzan las líneas violeta que parece fuera de lugar con respecto a los puntos circundantes.

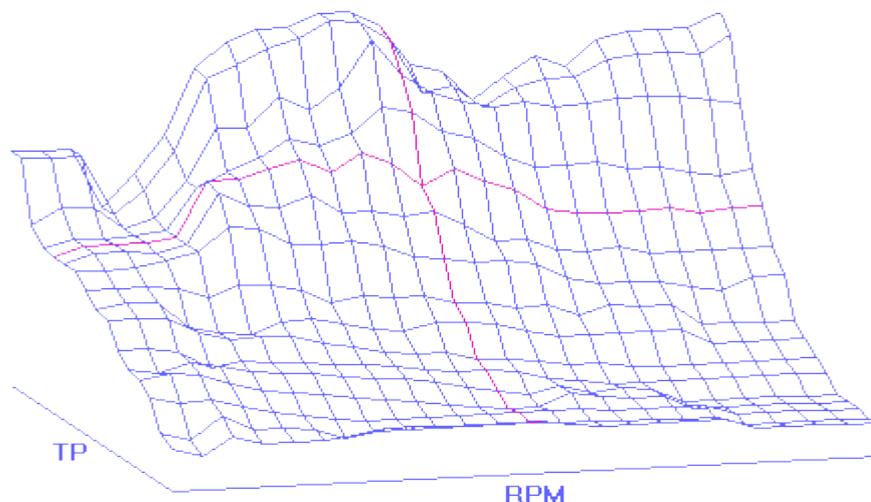


Figura 45: Mapa 3D con zonas desiguales.
Fuente: (Tuneboy, 2009.)

Después de varias pruebas en un dinamómetro o en pista para corregir el mapa, debe verse como en la figura 2.45. Se puede observar claramente que el mapa tiene una superficie mucho más suave y los puntos irregulares en el mapa se han limpiado, de la misma manera la respuesta del acelerador será más suave y acorde a la voluntad del conductor.

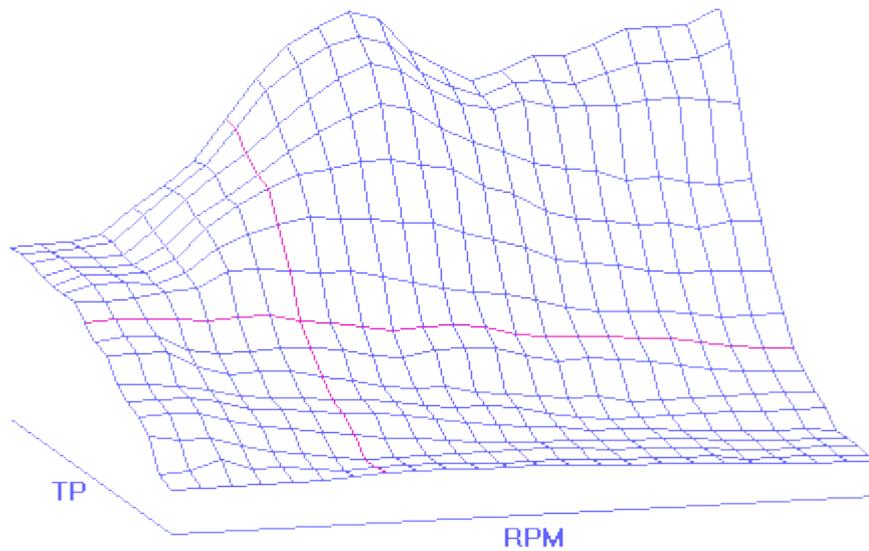


Figura 46: Mapa 3D Corregido.
Fuente: (Tuneboy, 2009.)

6.8 Parámetros para el cálculo de tiempo inyección y encendido

(Banish, 2007) “Carga y la eficiencia volumétrica son dos métodos usados para describir el flujo másico de aire a través del motor, comparado con el flujo másico teórico basado en su desplazamiento y la velocidad. La cantidad teórica de llenado de carga es la masa de aire que ocuparía el mismo volumen que el motor desplaza. Esta masa se encuentra al multiplicar el volumen del motor y la densidad atmosférica normal, como se expresa en la ecuación 1.

$$M_{aire, motor} = (V_{motor}) * (\rho_{aire})$$

Ecuación 1: Masa de aire desplazada

El llenado teórico es calculado a presión y temperatura estándar, donde la densidad ρ_{aire} es igual a $1,2929 \text{ kg/m}^3$. Para encontrar la velocidad de flujo, se normaliza para el número de desplazamientos completos sobre el tiempo. Un motor de 4 tiempos tiene 2 revoluciones por ciclo de desplazamiento, así que el índice de desplazamiento es la mitad de la velocidad del motor. La

tasa teórica de flujo de aire está en la ecuación 2:

$$\dot{M} = (V_{motor}) * (\rho_{aire}) * RPM / 2$$

Ecuación 2: Tasa de desplazamiento de la masa de aire

con lo que se puede calcular un llenado teórico del 100%” (Pág. 11)

Al cerrar la mariposa de aceleración para reducir el flujo de aire y la potencia, al motor solo se le permite desplazar una fracción de la masa de aire. Esto significa que la posición de la mariposa de aceleración reducida conlleva a una disminución de la eficiencia volumétrica. La carga típica de un motor es del 10 al 18% en ralentí. La conducción en carretera o autopista sucede en aproximadamente un 20% a 30% de carga. Una ligera aceleración va del 30 al 60% de carga. Con la mariposa totalmente abierta la carga esta entre 60 y 105% para motores de aspiración natural.

6.8.1 Relación aire combustible

(Banish, 2007) “La combustión estequiométrica de la gasolina ocurre en una relación de 14,68:1, pero la combustión puede ocurrir en cualquier punto entre 7,5:1 y 26:1. Esto deja un gran rango de condiciones de operación. Generalmente una mezcla rica (exceso de combustible, $\lambda < 0,9$) se quemará más fría con emisiones de hidrocarburo, mientras que una mezcla ligeramente pobre (exceso de aire, $\lambda \approx 1,05$) se quema más caliente con emisiones de óxidos de nitrógeno.

Para la mayor potencia, se ha encontrado que un punto entre 13,2:1 y 13,4:1 ($\lambda \approx 0,95$) es ideal. Ese pequeño exceso de combustible es suficiente para asegurar que tantas moléculas de oxígeno como sea posible reaccionarán para proporcionar energía.

Para la mejor economía se observa al otro lado del balance estequiométrico, con un objetivo de $\lambda \approx 1,05$ (aproximadamente 15,5:1).

La Figura 47 muestra las curvas de potencia y consumo a diferentes relaciones de aire combustible.” (Pág. 14)

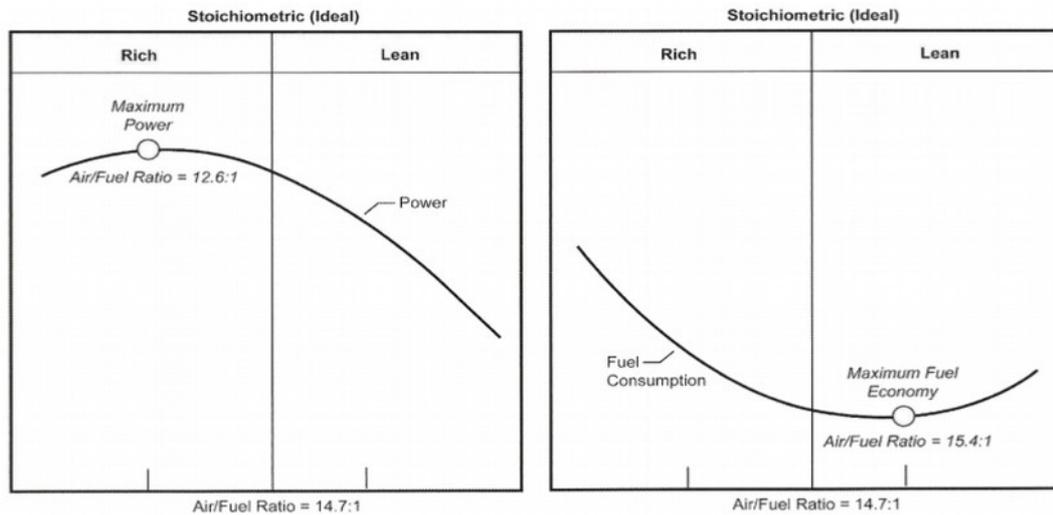


Figura 47: Consumo y potencia respecto a la relación de combustible.
Fuente: (Banish, 2007.)

En cualquier punto de operación, el combustible requerido por un motor puede ser descrito en términos de potencia. El Consumo Específico de Combustible (Break Specific Fuel Consumption, BSFC), es la cantidad de combustible necesario para crear la potencia requerida. Sus unidades son lb/hp-hr y se utiliza un valor entre 0.42 y 0.5 para motores de gasolina de aspiración natural.

6.8.2 Flujo másico de aire

Los sistemas de flujo másico de aire dependen en gran medida de la señal del sensor MAF. La salida de este sensor se toma como una representación directa del flujo de aire actual del motor. Este enfoque hace que los cálculos de carga del motor y combustible requerido sean muy sencillos. En este caso la eficiencia volumétrica (VE) puede expresarse como la ecuación 3:

$$VE = \frac{MAF}{V_{motor} * \rho_{STP} * RPM}$$

Ecuación 3: Eficiencia Volumétrica por flujo másico de aire

Donde:

MAF es el flujo másico de aire

V_{motor} es la cilindrada del motor

ρ_{STP} es la densidad del aire a temperatura y presión estándar.

Conociendo el flujo másico de aire exacto, el cálculo de consumo de combustible se puede expresar con la ecuación 4:

$$F_{f,r} = MAF * AFR_D$$

Ecuación 4: Índice de flujo de combustible

Donde:

$F_{f,r}$ es el índice de flujo de combustible

AFR_D es la relación aire combustible deseada

El punto crucial para que un sistema de flujo másico de aire funcione correctamente es que el sensor MAF refleje en su señal la realidad del flujo en el múltiple de admisión. Por lo cual es necesario utilizar mucho tiempo en la calibración del sensor para asegurar que exista correlación entre el flujo másico de aire actual y el indicado.

6.8.3 Densidad de velocidad

Este método calcula la masa de aire entrante basándose en la temperatura, la presión del múltiple y la velocidad del motor usando un tabla

de referencia de eficiencia volumétrica. Dicha tabla usualmente muestra valores de presión absoluta del múltiple de admisión VS velocidad del motor. Los valores contenidos en esta tabla representan un porcentaje del llenado volumétrico por la presión del múltiple y la velocidad del motor. La centralita utiliza los valores de presión y temperatura para calcular la masa de aire de entrada con la Ley Universal de los Gases: $PV = nRT$. Una vez que la masa de aire entrante es calculada, se puede determinar un índice de flujo de combustible correspondiente.

Las correcciones de temperatura también son críticas en los sistemas de densidad de velocidad. Los cambios en la temperatura en la admisión tienen un efecto significativo en la masa de aire entrante para un volumen y presión determinadas. La ley de los gases de Boyle tiene un importante efecto.

Una vez que se tiene las tablas de eficiencia volumétrica construidas a una temperatura estable se deben realizar pruebas para desarrollar curvas de compensación.

Adicionalmente los cambios de componentes del motor, como el árbol de levas, el múltiple de admisión o un supercargador, pueden tener efectos drásticos en la eficiencia volumétrica. Cualquier cambio que mejore el flujo de aire al motor requiere de un cambio en la tabla base de eficiencia volumétrica para que el motor mantenga la misma entrega de combustible.

(Barnhill, 2014) “Una forma más sencilla de utilizar el sistema de velocidad de densidad es el cálculo Alpha-N. En este método el mapa base de flujo de aire es una función de la posición del acelerador y la velocidad del motor. Sin poner atención a la presión del múltiple de admisión, el cálculo es más simple, pero carece de resolución para corregir problemas de facilidad de conducción o control de emisiones.”

6.8.4 Entrega de combustible

(Banish, 2007) “Una vez que la computadora sabe cual es la masa de aire entrante, es posible calcular cual es la masa de aire deseada para ajustarse al objetivo de relación aire combustible. Primero se calcula la masa de combustible deseada para entregar, con la ecuación 5:

$$M_{combustible} = \frac{M_{aire, entrada}}{(ARF_d) * RPM}$$

Ecuación 5: Masa de combustible necesaria por masa de aire

Donde:

$M_{aire, entrada}$ es la masa del flujo de aire de entrada

ARF_d es la relación de aire combustible deseada

Para calcular el combustible entregado al motor, se puede utilizar una de las siguientes fórmulas de la ecuación 6:

$$M_{combustible, d} = \frac{[V_{f, I} * P_w]}{3,6 e^6}$$

$$M_{combustible, d} = \frac{[V_{f, I} * C_{trabajo} * 120]}{RPM}$$

Ecuación 6: Masa de combustible entregada por inyector

Donde:

$V_{f, I}$ es la velocidad de flujo del inyector

P_w es el ancho de pulso

Una vez que se ha determinado la masa de combustible, se puede calcular la salida del inyector.”

De estas ecuaciones lo que se obtiene es el ancho de pulso o el ciclo de

trabajo.

Las unidades de velocidad de flujo del inyector son lb/hr. Se calcula a partir del tamaño de los inyectores en cc/min dividiendo para una constante de 9.9472.

(Banish, 2007) “Un inyector solo está abierto por un espacio muy corto de tiempo, en el cual solo una pequeña cantidad de combustible puede ser entregada. El tiempo que un inyector está abierto durante cada ciclo es un 'ancho de pulso' y se expresa en milisegundos. La relación entre el ancho de pulso y el tiempo total disponible un ciclo de inyección es conocido como ciclo de trabajo y se expresa en la ecuación 7:

$$C_{trabajo} = \frac{P_w}{T_{b,i,e}}$$

Ecuación 7: Ciclo de trabajo

Donde:

$C_{trabajo}$ es el ciclo de trabajo

P_w es el ancho de pulso

$T_{b,i,e}$ es el tiempo entre eventos de encendido

Es imposible obtener un ciclo de trabajo del 100%. Si el ancho de pulso se iguala con el tiempo entre eventos de encendido, esto significaría que el inyector nunca se cierra. Esta situación se conoce como 'flujo estático' porque la duración de la inyección de combustible no cambia. Ocurre cuando el inyector no puede soportar el flujo de combustible necesario para operar la potencia del motor.

Los cambios de presión en la riel de combustible para el índice de flujo están gobernados por la ecuación 8:

$$R_{F,a} = R_{F,I} * \sqrt{\frac{P_{R,e}}{P_{C,c}}}$$

Ecuación 8: Índice de flujo de la riel

Donde:

$R_{F,a}$ es el índice de flujo actual

$R_{F,I}$ es el índice de flujo del inyector

$P_{R,e}$ es la presión efectiva de la riel

$P_{C,c}$ es la presión de combustible considerada

Hay que tener en cuenta que los cambios en la presión del aire del múltiple de admisión también afectan la velocidad de flujo del inyector.”

6.8.5 Eventos de encendido

(Banish, 2009) “Sincronizar la presión al ángulo de rotación del motor puede tener efectos muy significativos sobre el torque de salida. Existe un punto de pico de presión en cada ciclo de combustión donde la energía disponible es máxima. Antes y después de este punto todavía hay una cantidad significativa de energía contenida en el cilindro con mezcla. El tiempo de encendido controla la eficiencia mecánica del ciclo de combustión.”

(Fernández, 2012) “El adelanto varía de un motor a otro, así que hay que conocer que diferencia el avance máximo entre motores:

- La ubicación de la bujía, si la bujía no está centrada en la cámara, la combustión recorrerá una mayor distancia y para que sea completa necesita más tiempo.

- La relación de compresión, a mayor compresión y temperatura la mezcla hace combustión más rápido, así que una relación de compresión más alta significa un menor adelanto al encendido.
- El diámetro del cilindro, entre más grande sea, la llama recorrerá una mayor distancia necesitando un mayor adelanto del salto de chispa.”

(Neira, 2014) “En un sistema de encendido convencional, el adelanto se regula de forma centrífuga a bajas velocidades y por vacío o carga del motor a altas velocidades. De esta forma se conseguía que el motor se mantenga estable desde el ralenti, con un adelanto 15° a 18° , hasta la velocidad de máximo torque y carga que puede requerir más de 40° de avance.

Un sistema de encendido electrónico, que es controlado por una centralita, utiliza una tabla de referencia en la cual se indica el valor del adelanto para diferentes condiciones de velocidad y carga del motor, tal como lo haría el distribuidor, por tanto, dicha tabla estará ordenada por filas que correspondan a las revoluciones del motor y columnas que correspondan a la carga, o viceversa, dependiendo de la programación de la centralita. Cada uno de los valores de dicha tabla recibirá un incremento que puede ser de 1° a 5° , a medida que aumenta la carga y la velocidad.

Una ventaja apreciable que ofrece el sistema de encendido electrónico es que puede agregar valores altos de adelanto en los cuadros de la tabla que sean anteriores a los de ralenti para que el motor se mantenga estable y su velocidad no decaiga.”

Para determinar si el adelanto que debe existir en cada celda de la tabla de referencia es adecuado, es conveniente dividirla en cuatro regiones que estarán determinadas por las condiciones en que trabajará el motor, estas regiones son:

- Baja velocidad y baja carga.
- Baja velocidad y alta carga.

- Alta velocidad y baja carga.
- Alta velocidad y alta carga.

En la zona de baja velocidad, en la primera región el adelanto debe ser bajo para que el funcionamiento del motor sea estable y evitar que acelere solo, mientras en la segunda el adelanto debería ser alto para favorecer el desarrollo del motor, pero ir disminuyendo ligeramente para que sea estable. Cuando el motor está en alta velocidad, en la tercera región el adelanto debería tener más aumento que la primera región porque el motor estaría trabajando en vacío y al agregar carga no decaiga fácilmente, mientras en la cuarta región el adelanto debe seguir alto para mantener la potencia pero disminuyendo ligeramente para que no se salga de control hasta antes de la máxima velocidad, en donde se debería disminuir el adelanto en una proporción más elevada para evitar que se sobre-revolucione.

6.8.6 Duración de la chispa

(Haltech, 2013) “Con los sistemas de control electrónicos, los conceptos de rpm, ángulo de rotación y tiempo son frecuentemente requeridos para ser relacionados con cálculos que determinan el tiempo máximo de inyección o el tiempo máximo de carga de la bobina.

La ecuación 9 muestra la duración de un evento, conociendo el ángulo que gira el cigüeñal y la velocidad del motor.

$$t = a / 6 * rpm$$

Ecuación 9: Tiempo de duración de la chispa

Donde:

t es el tiempo que dura la chispa en milisegundos

α es el ángulo de giro del cigüeñal”

La importancia de obtener el ángulo de encendido correcto está en el hecho de que permitirá obtener una mayor o menor fuerza en la cabeza del pistón. Un adelanto excesivo conlleva una presión con fuerza contraria al movimiento del motor provocando detonaciones y picado de bielas, mientras que muy poco adelanto no aprovecha toda la energía química del aire y combustible en compresión, lo que conlleva a una mala respuesta del acelerador y combustible en los gases de escape.

Para determinar el mejor momento de salto de la chispa se necesita saber parámetros como la presión de compresión instantánea en el cilindro, la velocidad de expansión de la flama y la geometría de la cámara, motivo por el cual la mejor manera de determinar los valores de adelanto en un mapa de encendido es en un dinamómetro o pista con el motor en marcha.

CAPÍTULO III

REPROGRAMACIÓN DEL CONTROL DE INYECCIÓN Y ENCENDIDO

6.1 Requerimientos para la reprogramación

La reprogramación del control electrónico de inyección y encendido debe cumplir con los siguientes requerimientos:

- Utilizará un método de reprogramación que pueda adaptarse completamente al motor Honda CBR 600 F4i como a sus componentes.
- Se modificará los mapas de inyección, encendido y parámetros adicionales como la velocidad del motor, corte de combustible a 10500 rpm y el límite de temperatura a 110°C y se irán puliendo durante la ejecución de las pruebas de potencia.
- Permitirá alcanzar una potencia mayor a 60 HP luego de haber realizado las restricciones de diseño reglamentarias.
- Se manejará a través de un software con una interfaz que permita interpretar fácilmente los mapas y estado del motor.
- Tendrá capacidad de adquirir datos del motor a través de los sensores y almacenarlos en una base de datos.

6.2 Limitaciones para la reprogramación electrónica

La competencia Formula Student establece en su reglamento la prohibición de utilizar un control electrónico para la mariposa del acelerador (sistema drive-by-wire), pero deja una libertad total para los diseñadores que deseen modificar otros parámetros del control electrónico del motor como la

inyección, el encendido y la adquisición de datos, de tal forma que cualquier método de reprogramación es aceptable.

Adicionalmente está prohibido utilizar sistemas que permitan modificar la composición de la mezcla, como inyectores de nitrógeno o metanol, y cualquier dispositivo que cambie la temperatura de entrada del combustible al sistema de alimentación.

6.3 Adquisición de datos preliminares

6.3.1 Características del motor

El motor CBR 600 F4i, de cuatro tiempos de tipo Superbike producido por Honda, tiene una cilindrada de 599 cc, cuatro cilindros en línea, doble árbol de levas y dieciséis válvulas. La refrigeración es por líquido. La tabla 1 muestra un resumen de características:

Tabla 1:
Características del motor Honda CBR 600 F4i

	ITEM	ESPECIFICACIÓN	
MOTOR	Relación de compresión	12.0:1	
	Apertura de admisión	22° APMS	
	Cierre de admisión	43° DPMS	
	Apertura de escape	38° APMS	
	Cierre de escape	7° DPMS	
	Orden de encendido	1-2-4-3	
SISTEMA DE ALIMENTACIÓN	Tipo	Inyección electrónica	
	Entrada de aire	38 mm	
TREN MOTRIZ	Embrague	Multidisco	
	Transmisión	Secuencial de 6 velocidades	
	Relaciones de transmisión	1ra	2,833
		2da	2,062
		3ra	1,647
		4ta	1,421
5ta		1,272	
6ta	1,173		
SISTEMA DE COMBUSTIBLE	Velocidad de ralentí	1300 ± 100 rpm	
	Presión absoluta del múltiple de admisión a ralentí	150 – 250 mm Hg	
	Presión de compresión	1,226 kPa (178 psi) a 350 rpm	

TERMOSTATO	Inicio de apertura	80 – 84°C
	Apertura completa	90°C
ENCENDIDO	Adelanto al encendido	13° APMS

Fuente: (Honda CBR 600 F4i Service Manual)

Este motor presentó numerosas mejoras con respecto a su antecesor, CBR 600 F4, siendo la principal la adición de un sistema electrónico programado de inyección de combustible de alta presión (50 psi), lo que le da la designación “F4i” al modelo.

Utiliza un inyector por cilindro. Desarrolla una potencia máxima de 81 kW (109 HP) a 12500 rpm con un torque máximo de 65 N-m a 10500 rpm. En la figura 48 se puede observar las curvas de potencia y torque realizadas en un dinamómetro antes y después de un cambio en el sistema de admisión:

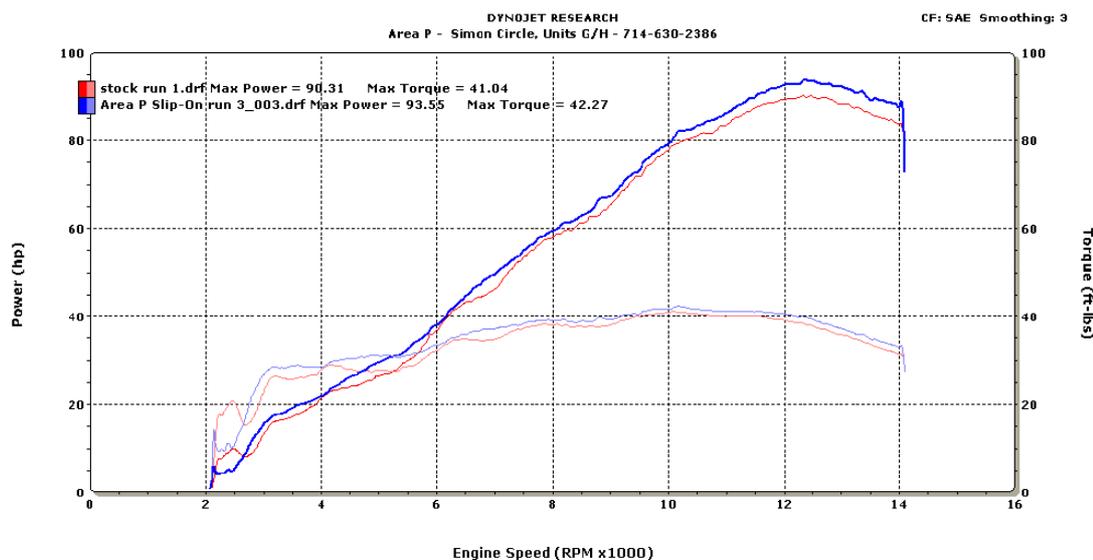


Figura 48: Curva de torque y potencia de Honda CBR600F4i.

En esta gráfica se ve dos curvas de potencia, la primera de color rojo corresponde a una prueba con el silenciador de escape original de la motocicleta que desarrolla una potencia máxima de 90.31 HP, mientras que la línea azul corresponde a una prueba realizada con un silenciador modificado obteniendo una potencia máxima de 93.55 HP.

Estos resultados varían drásticamente cuando el motor es utilizado en

un vehículo tipo Formula como los que participan en la FSG, esto se puede apreciar en la figura 49 que muestra los resultados obtenidos por la Universidad de Buffalo al realizar varias pruebas de potencia y torque con el motor utilizando las restricciones reglamentarias y diferentes reprogramaciones mediante una ECU Motec.

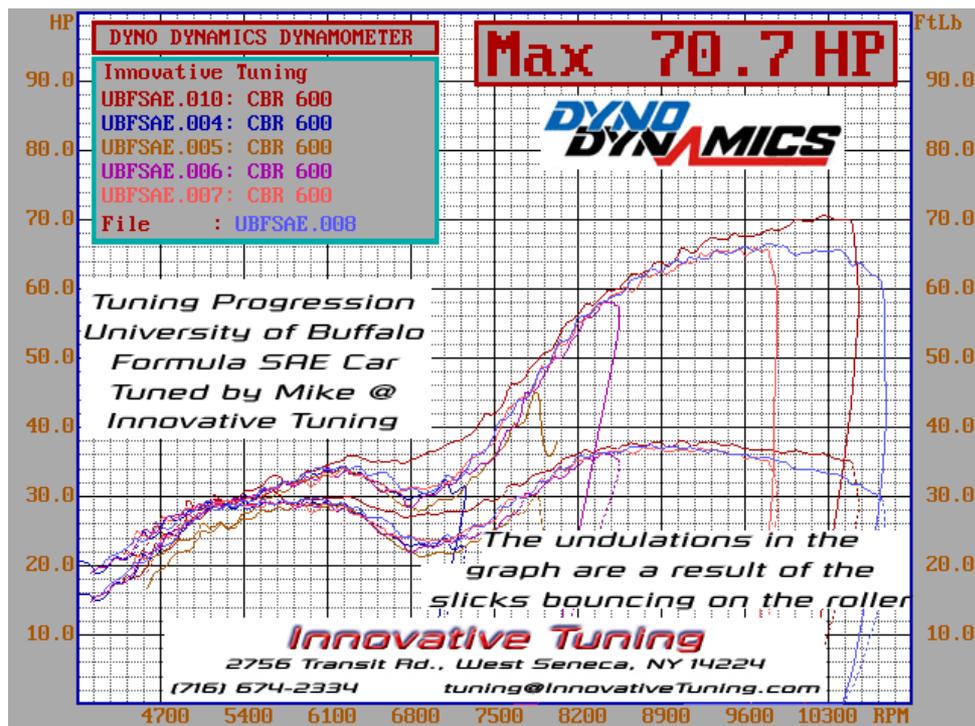


Figura 49: Curvas de potencia de diferentes reprogramaciones.
 Fuente: (UB Formula SAE Team, 2005)

Se puede ver una diferencia marcada entre las primeras pruebas realizadas que alcanzan una potencia máxima de 58 HP cerca de las 8200 rpm, en comparación con la última prueba que supera los 70 HP a una velocidad de 10300 rpm

6.3.2 Sistema de inyección

Es un sistema denominado PGM-FI (Inyección programada) usa un cuerpo de aceleración de 38 mm, como se indicó en la tabla 3.1.

Cuenta con un conjunto de sensores, temperatura de refrigerante y aire de entrada de admisión, posición de la mariposa de aceleración, cigüeñal y árbol de levas, opcionalmente un sensor de oxígeno, y actuadores, inyectores, bobinas de encendido individuales, válvulas de ralentí y recirculación de gases de escape, que le permiten un gran control sobre la inyección, mismos que se muestran en la figura 50.

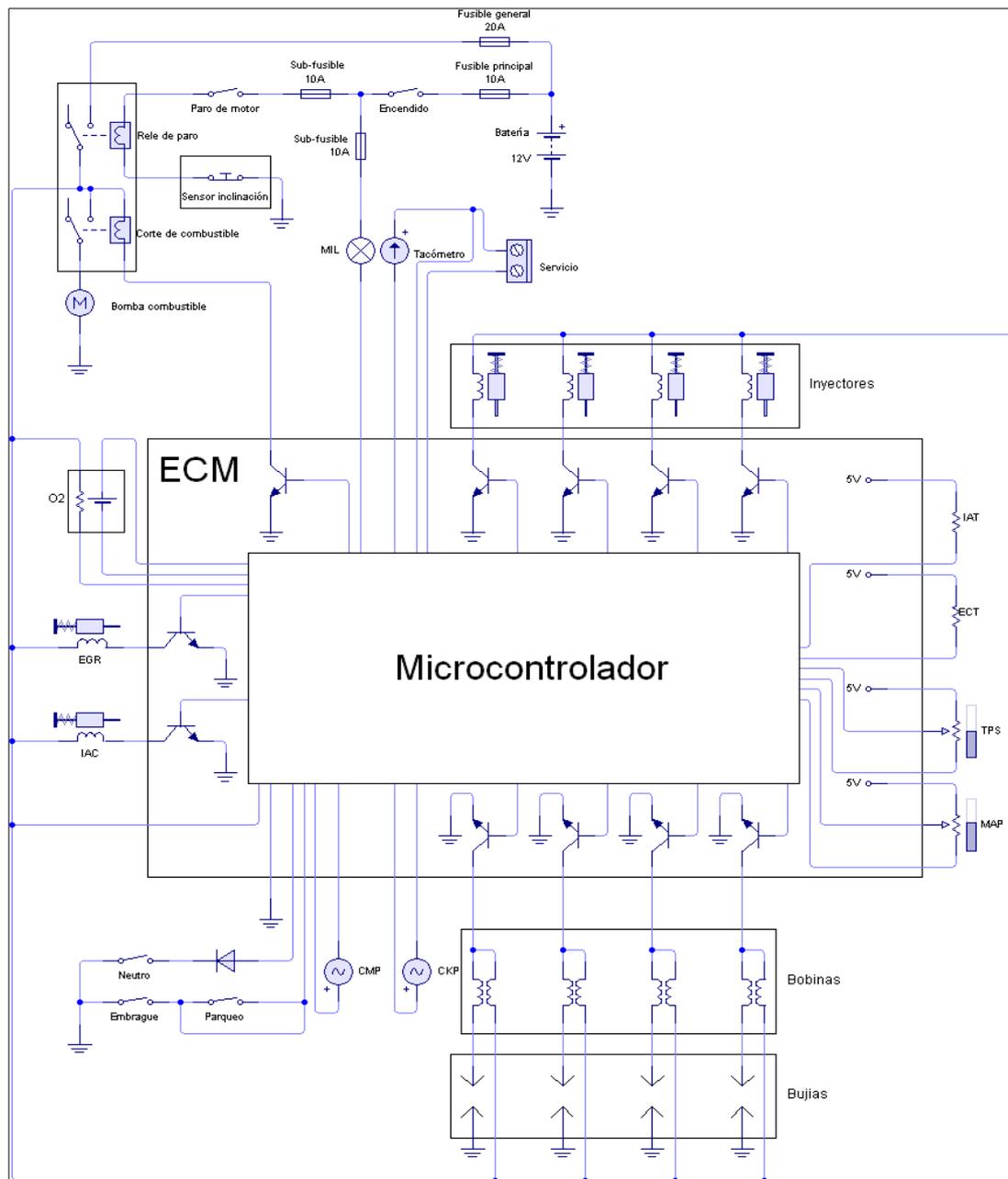


Figura 50: Circuito de sistemas de inyección y encendido.
Fuente: (Honda, 2003.)

Existen 4 versiones de este sistema de inyección, que se diferencian principalmente en la programación del controlador y algunos componentes adicionales que se exigen para la regulación ambiental. Estas versiones son japonesa, europea, americana y californiana. La californiana cumple con mayores exigencias sobre contaminación, por lo que se le incorpora un sensor de oxígeno y sistema de EVAP, que están mostrados en la figura. El motor del vehículo FESPE es versión americana.

6.3.3 Sistema de encendido

El sistema de encendido es transistorizado con bobinas individuales sobre las bujías. La ECU provee mapas 3D de encendido por cada par de cilindros. La base para el adelanto es de 13° BTDC.

6.4 Selección del método de reprogramación

Se hizo una selección en base a los métodos presentados en el capítulo 2: programador universal, equipo especializado y stand-alone.

Para la selección del mejor método se tomó en cuenta las limitaciones del reglamento de la FSG y el análisis de las características de los equipos disponibles en el mercado. La selección se determinó haciendo una calificación de propiedades cuantitativas y cualitativas. Las propiedades cuantitativas son:

- Precio
- Manejabilidad
- Adaptabilidad
- Reusabilidad
- Portabilidad
- Compatibilidad
- Ventajas

Cada una de ellas será valorada en una escala de 1 a 3, correspondientes a que tan aceptable es.

Las propiedades cualitativas serán evaluadas únicamente con un valor de 1 o 0, de acuerdo a si responde a la característica que demanda con si o no, estos valores son:

- Existencia en el mercado local
- Información técnica
- Soporte

Este motor no tiene un puerto de diagnóstico OBD, por lo cual se debe descartar de antemano cualquier dispositivo que utilice este medio.

6.4.1 Equipos de reprogramación para Honda

HONDATA provee equipo de reprogramación para Honda, que pese a no estar relacionados, se especializa en centralitas de esta marca de vehículos.

Aunque estos equipos están dirigidos mayoritariamente para automóviles y motocicletas que cuentan con puerto de conexión OBDII, también disponen de dispositivos que pueden ser usados montándolos directamente sobre la placa de la ECU, como el módulo s300/s300j, mostrado en la figura 51:

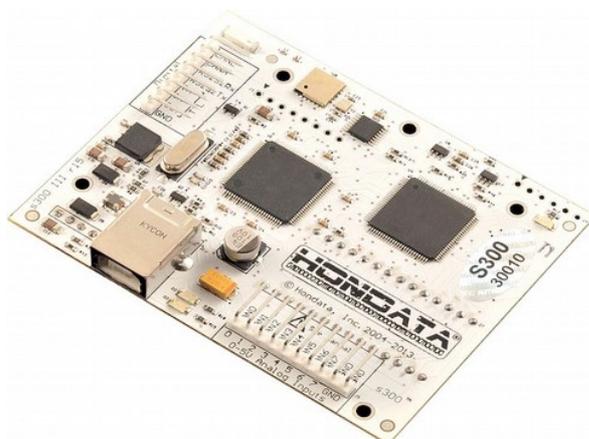


Figura 51: Adaptador de reprogramación s300 v3.
Fuente: (Hondata, 2014.)

Para poder utilizar este dispositivo es necesario montarlo en una posición adecuada como se muestra en la figura 52, además que debe realizarse un corte en la carcasa para permitir la conexión mediante el puerto USB del dispositivo.



Figura 52: Adaptador s300 en centralita.
Fuente: (Hondata, 2014.)

El precio de este dispositivo es de \$495 en Estados Unidos a través de Amazon, y \$806.72 traído al Ecuador, sin accesorios y sin instalación.

Este equipo dispone de una interfaz amigable con el usuario, mostrado en la figura 53:

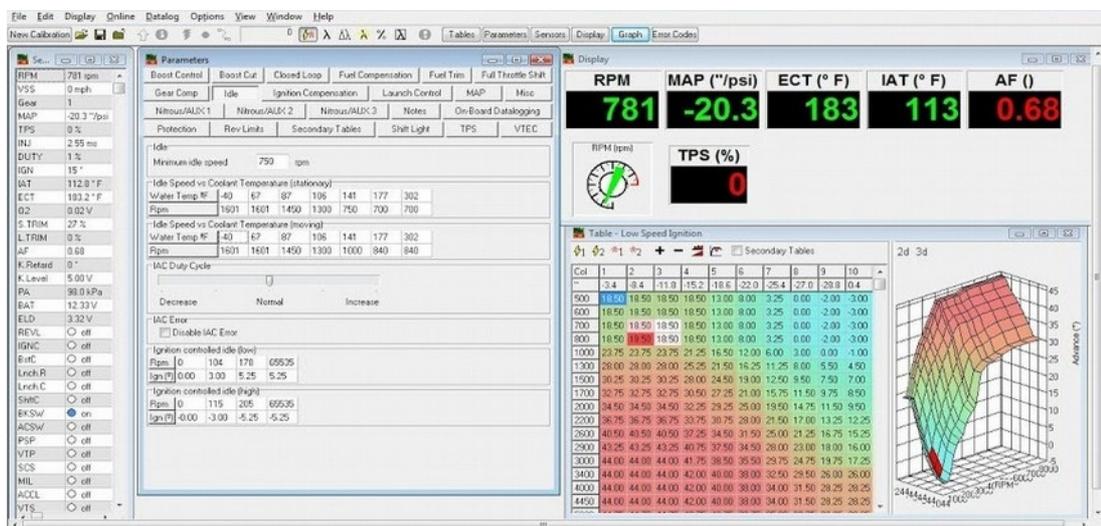


Figura 53: Software smanager para adaptador s300.
Fuente: (D-series, 2012.)

Dado que este dispositivo está diseñado para trabajar con Honda, no es compatible con ninguna otra marca, e incluso entre modelos de esta casa no se puede adaptar a los más recientes.

El equipo puede volver a ser usado en otra centralita de esta serie fácilmente dado que sus conectores son del tipo plug-and-play.

No necesita de adaptadores o de alimentación externa, por lo que su portabilidad está limitada a la del ordenador con que se lo utilice.

Resulta fácil de instalar por la documentación disponible en la página del fabricante, con diagramas y fotografías.

Su principal ventaja es que al ser equipo que se usa sobre la centralita del motor se pueden utilizar los mismos sensores y actuadores. También posee comunicación inalámbrica mediante Bluetooth.

6.4.2 Equipos de reprogramación multimarca

En estos equipos es necesario centrarse en aquellos que realicen el trabajo directamente sobre la memoria.

Los equipos BDM, como CMDFlash-BDM de Flastech y K-Tag de Alientech, incluyen información de los pines de la placa impresa que debe conectarse al dispositivo o las conexiones intermedias para poder acceder a la memoria, sin embargo en ninguna de las bases de datos de estas dos marcas, que son los de mayor alcance, existen indicaciones para el modelo del motor CBR 600 F4i o de la centralita, por lo tanto tampoco son recomendables.

El único método para herramientas multimarca que se puede usar en esta ECU es leer la memoria en un programador universal desoldándola de

la placa base. Al utilizar este método, se tiene la certeza de que se podrá utilizar en cualquier centralita pues se puede leer cualquier tipo de memoria. El precio de uno de estos dispositivos de tipo profesional, en la marca Eetools, en los Estados Unidos es de \$795 sin accesorios comprado directamente al fabricante, lo que significa que en el país llegaría a costar cerca de \$1200. Existen interfaces no profesionales que tienen un costo de \$30, pero están limitadas por el número de memorias que pueden reprogramar teniendo una base de datos muy corta, además de que están más orientados al segmento de los microcontroladores.

La portabilidad de este equipo es muy reducida porque necesita alimentación de la red eléctrica fija de 110V.

Dependiendo del tipo de memoria que utilice la centralita se necesita usar adaptadores para leerla, lo que disminuye su adaptabilidad y aumenta su precio.

La principal ventaja de usar estos dispositivos radica en que son de uso muy extendido, por lo que existe suficiente documentación para la modificación de la memoria, además de algunas empresas a nivel local que realizan este tipo de trabajos.

6.4.3 Equipo reprogramable Stand-alone

Los equipos reprogramables Stan-alone son ampliamente usados para potenciar vehículos de competencia y en el país son cada vez más utilizados por los equipos de rally nacional o en prototipos de instituciones de nivel superior, lo que ha permitido que se encuentre con facilidad a distribuidores de estos equipos, reprogramadores y servicio técnico.

Una de las principales marcas de estos dispositivos en el país es Haltech, que tiene distribuidores en las ciudades de Quito, Ambato y Cuenca, así como talleres que se dedican a su instalación y reprogramación

para vehículos de competencia, en las dos últimas ciudades.

La marca Haltech tiene diferentes modelos de centralitas con la capacidad de controlar desde motores monocilíndricos de dos tiempos hasta grandes motores de 8 cilindros de cuatro tiempos, diésel o gasolina, e incluso motores rotativos. También disponen de centralitas listas para instalar para determinados modelos de vehículos que se utilizan en competencias, pero no existe un modelo específico para el motor CBR 600 F4i, por lo tanto la mejor opción de centralitas Stand-alone es el modelo Haltech Platinum Sport 1000. Existe localmente a un costo de \$1900 con la ventaja de que algunos proveedores también ofrecen soporte para la instalación y la reprogramación.

La manejabilidad de una de estas computadoras es muy buena porque se comunican con la computadora portátil por puerto USB y en caso de usar dispositivos adicionales puede comunicarse por la red CAN del vehículo.

Se puede adaptar a cualquier motor, por lo tanto no tiene problema en funcionar con el motor Honda, pero para esto es necesario hacer un recambio total del cableado por el de la centralita.

Puede ser utilizada muchas veces y no hay problema en intercambiar entre vehículos, solo cambiando el archivo existente dentro de su memoria.

La principal ventaja de esta computadora es la facilidad que ofrece para la reprogramación y su adaptabilidad.

6.4.4 Comparación y selección de equipo

La comparación de los equipos se muestra a continuación en las tablas 2 de propiedades cuantitativas y 3 de propiedades cualitativas. En ellas se indica la propiedad, un comentario y la valoración que obtengan de acuerdo al análisis de los puntos anteriores.

Tabla 2:
Calificación de propiedades cuantitativas

Propiedad	Equipo para Honda (Hondata s300)		Equipo multimarca (TopMax 2 - eetools)		Equipo Stan-alone (Haltech PS 1000)	
	Comentario	Punt.	Comentario	Punt.	Comentario	Punt.
Precio	Mejor relación precio-finalidad	3	Muy elevado para su finalidad	1	Elevado	2
Manejabilidad	Conexión USB y Bluetooth	3	Necesita alimentación fija	1	Conexión USB	2
Adaptabilidad	Solo con determinadas centralitas Honda	1	Usa adaptadores	2	Con cualquier motor hasta 8 cilindros	3
Reusable	Solo con determinadas centralitas Honda	1	En otros dispositivos	3	Con un nuevo arnés	2
Portabilidad	Hay que desmontar de la centralita	2	No es portable	1	Se puede llevar fácilmente	3
Compatibilidad	Solo con determinadas centralitas Honda	1	Con cualquier memoria EEPROM	3	Necesita cambiarse el cableado	2
Ventajas	Ofrece una interfaz con soporte específico para Honda	2	Puede utilizar cualquier software para la reprogramación	1	Soporte técnico a nivel local	3
TOTAL	13		12		17	

Tabla 3:
Calificación de propiedades cualitativas

Propiedad	Equipo para Honda (Hondata s300)		Equipo multimarca (TopMax2- eetools)		Equipo Stan-alone (Haltech PS 1000)	
	Comentario	Punt.	Comentario	Punt.	Comentario	Punt.
Existencia local	No	0	Solo equipos no profesionales	0	En distribuidores especializados	1
Información técnica	En la página oficial	1	Muy amplia	1	En internet y distribuidores	1
Soporte	Vía internet	1	No	0	Con distribuidores y reprogramadores	1
TOTAL	2		1		3	

En ambas tablas se observa que la mejor opción para la reprogramación del control de inyección y encendido del motor Honda CBR 600 F4i es el uso de una computadora reprogramable Stand-alone. Se seleccionó la computadora Haltech Platinum Sport 1000 por sobre otros equipos reprogramables más económicos como son Megasquirt o MagnetiMarelli, porque ofrece asistencia y soporte local.

6.5 Reconocimiento del equipo reprogramable

La ECU reprogramable Haltech Platinum Sport 1000 cuenta con las características control listadas en la tabla 4 y las especificaciones de la tabla 5.

Tabla 4:
Opciones adicionales de control de ECU Platinum Sport 1000

Características de control de centralita Haltech Platinum Sport 1000	
Control de lazo cerrado del ralentí	Temporizador de turbo
Control electrónico de impulsos	Bloqueo del convertidor de par
Control variable de levas	Control de ventilador
Anti-lag	Control de aspersor de intercooler
Limitador de RPM	Corte de combustible

Fuente: Platinum Sport 1000 Specification v21. Haltech

Tabla 5:
Especificaciones de centralita Platinum Sport 1000

Especificación	Valor o descripción
Número de cilindros	1, 2, 3, 4, 5, 6, 8
Número de rotores	2
RPM máximas	16000
Sensor CKP y CMP	Hall, inductivo u óptico
Encendido	Un distribuidor, doble distribuidor, chispa perdida, chispa directa COP,
Inyección	Secuencial, multipunto y monopunto
Entradas de datos	CKP, CMP, MAP, TPS, IAT, ECT, Lambda, velocidad, 4 entradas analógicas y 3 entradas digitales
Salidas	4 inyectores expansible a 8, 4 bobinas expansible a 8, control de bomba de combustible, 4 salidas digitales
Almacenamiento de datos	Mapas y archivos de recuperación, 448 kB para data logging,

Fuente: Platinum Sport 1000 Specification v21. Haltech

La ECU tiene dos conectores, 34 y 26 pines, como se ve en la figura 54, en la que también se muestra la distribución de pines:

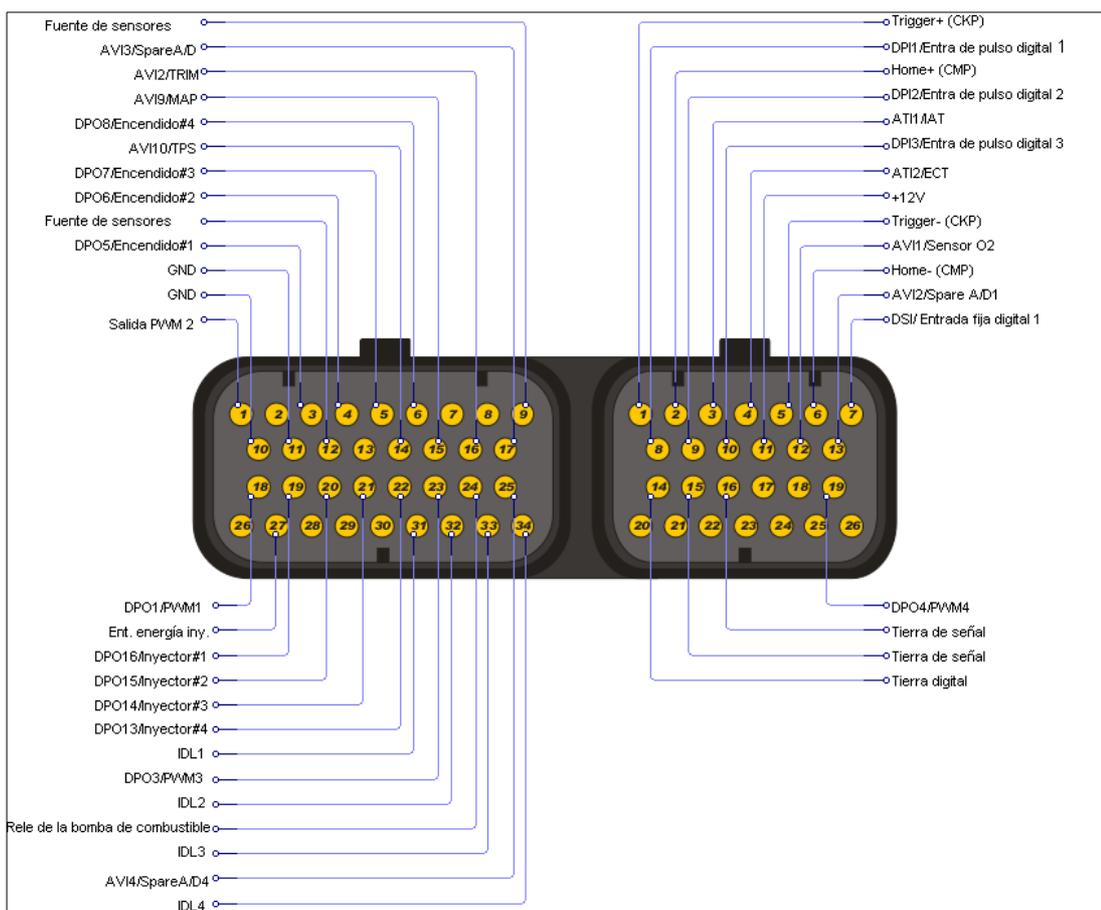


Figura 54: Asignación de pines.

Muchos de los pines de ambos conectores, especialmente los últimos del conector más pequeño, quedaron sueltos debido a que la carcasa de la computadora comparte modelo con la versión de la centralita Haltech Platinum Sport 2000 y 500, en las cuales se utilizan o sobran otros pines, por lo tanto no es necesario buscar funciones u operaciones adicionales que se puedan hacer a través de esas entradas sueltas.

Solo se utilizaron los pines necesarios para la instalación. El diagrama del circuito para el control de inyección y encendido del motor es similar al que se usa con la ECU original, con la diferencia clara del uso de la bobina de chispa perdida y la disminución de las válvulas de ralentí y recirculación, como se muestra en la figura 55.

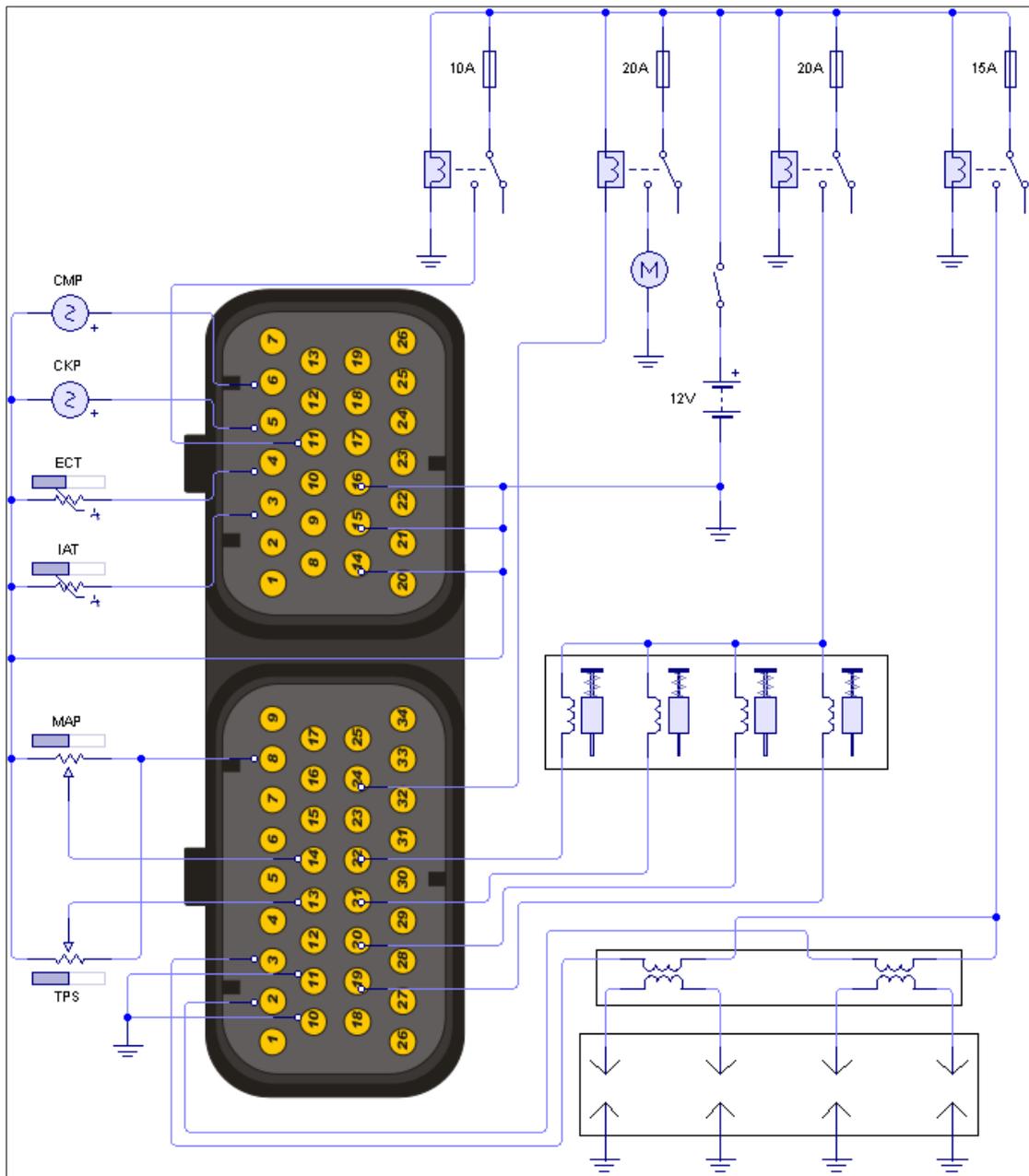


Figura 55: Diagrama de conexión ECU Haltech Platinum Sport.

Las características físicas de este dispositivo son: largo: 160mm, ancho: 104mm, alto: 39.75mm, peso: 400g. Posee un sensor MAP interno. Es de color plateado con la etiqueta de Haltech en la que se indica la familia, serie y modelo, como se muestra en la figura 56, además en el lado de la entrada del sensor MAP está el código de la computadora.



Figura 56: ECU Haltech Platinum Sport 1000.

Al lado derecho se puede ver la entrada del sensor MAP, junto a esta también están el puerto de red CAN, que permite expandir las propiedades de la ECU, el puerto USB para la conexión a la PC y dos luces led que indican cuando hay comunicación o fallas en el sistema.

Los requerimientos del PC son: sistema operativo: Windows 2000 SP4/XP/Vista/7, 1GHz de procesador, 256Mb de RAM, 128Mb de memoria gráfica con aceleración 3D, puerto USB y 250Mb de espacio en disco.

Para seguridad de la centralita se la montó debajo de la lámina de protección térmica (Firewall), empotrada a la estructura, como se muestra en la figura 57:



Figura 57: ECU empotrada.

6.5.1 Sensores y actuadores

El software de la computadora puede ser configurado con respecto a los

sensores si se tiene las curvas de funcionamiento, valores máximos y mínimos de voltajes o los valores de voltaje en una determinada condición de funcionamiento.

La ECU puede controlar directamente hasta 8 inyectores de alta impedancia ($>8\Omega$), sin embargo en el encendido, por protección, solo puede dar señal a módulos de encendido transistorizado y sistemas de encendido por descarga capacitiva. Es necesario utilizar un módulo de encendido para usar bobinas individuales o utilizar un sistema que solo necesite la señal del encendido. También se pueden usar las bobinas de Haltech que han sido diseñadas para trabajar con este equipo.

Se puede controlar otros actuadores a través de relés mediante el uso de las salidas digitales que se indicaron en la tabla 3.5.

6.6 Configuración del equipo reprogramable

6.6.1 Instalación del Software EcuManager

Para la instalación del software se puede utilizar el DVD que viene incluido con la centralita o descargar la última versión del instalador de la página del fabricante. El archivo descargado tiene el nombre de haltech_ecu_manager_1_13_5.exe de 129 Mb, que corresponde al más nuevo. La figura 58 muestra el archivo y sus propiedades.

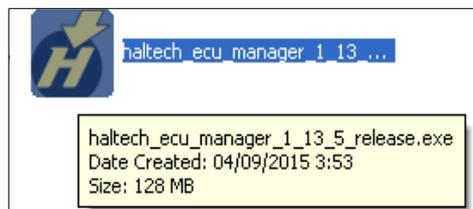


Figura 58: Archivo de instalación de software de Haltech.

Al ejecutar el instalador, se abrirá un recuadro de confirmación, se elije instalar o 'Setup' y empieza la extracción de archivos como muestra la figura 59:

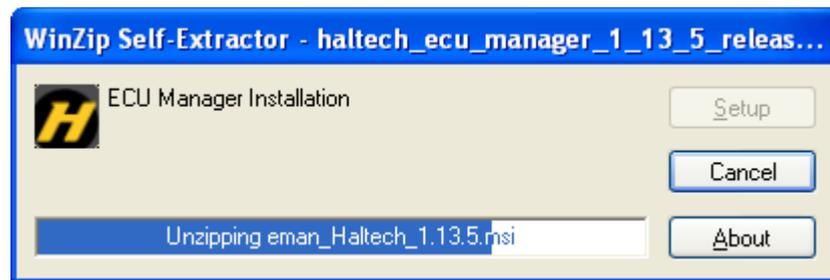


Figura 59: Extracción de los archivos de instalación.

Al finalizar se abrirá una ventana, como se muestra en la figura 60, en la cual se permite elegir si se instalará EcuManager y Data Log Viewer.



Figura 60: Ventana principal de instalación.

Se selecciona ECU Manager y se abre una ventana como la figura 61, en la que empieza la verdadera instalación:



Figura 61: Asistente de instalación

Después de hacer click en siguiente se abre la ventana del contrato de licencia, mostrado en la figura 62, se acepta y se hace siguiente:

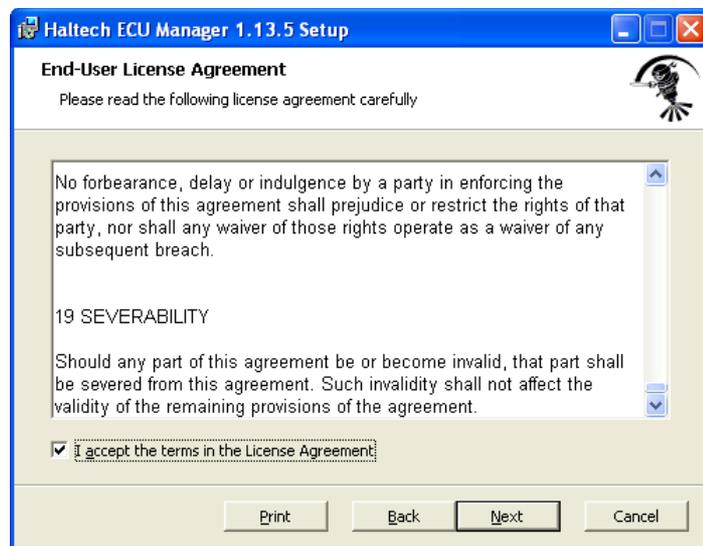


Figura 62: Licencia

La siguiente ventana, de la figura 63 permite seleccionar el destino de instalación, se deja o se cambia a uno adecuado y se pasa al siguiente.

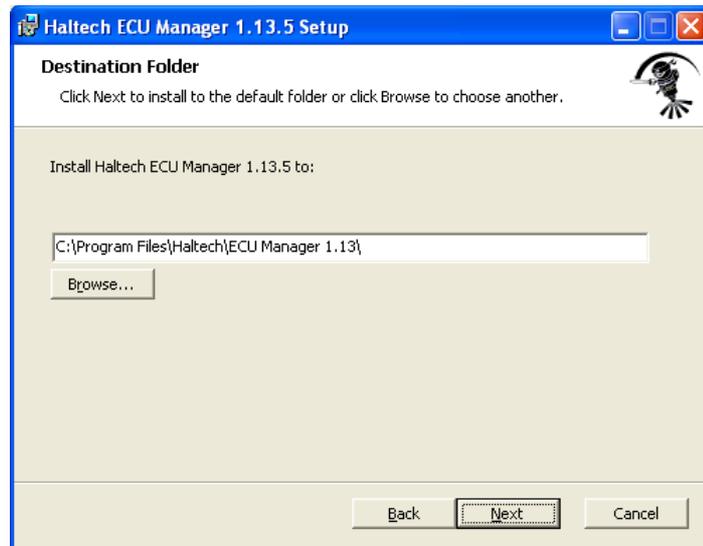


Figura 63: Ruta de instalación

La siguiente ventana indica que todo está listo para instalarse, se da click en instalar, aparecerá la ventana de progreso, de la figura 64, y se espera que finalice.

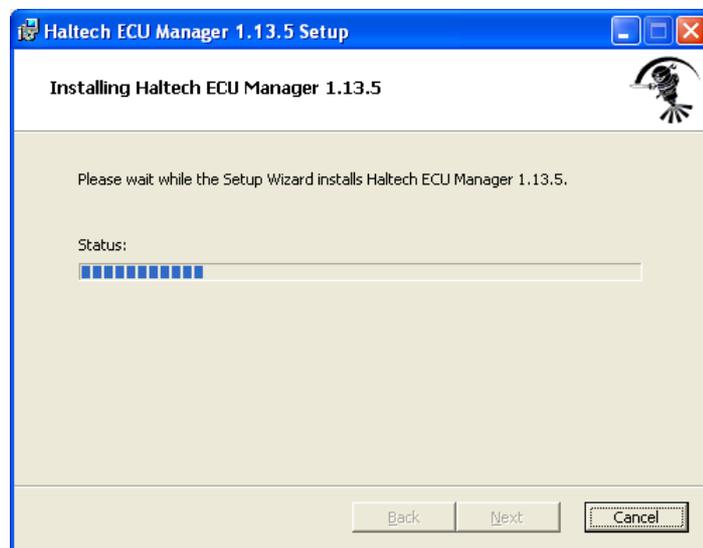


Figura 64: Progreso de instalación

Aparecerá una ventana, igual a la figura 65, informando que todo se ha completado y se seleccionará finalizar.

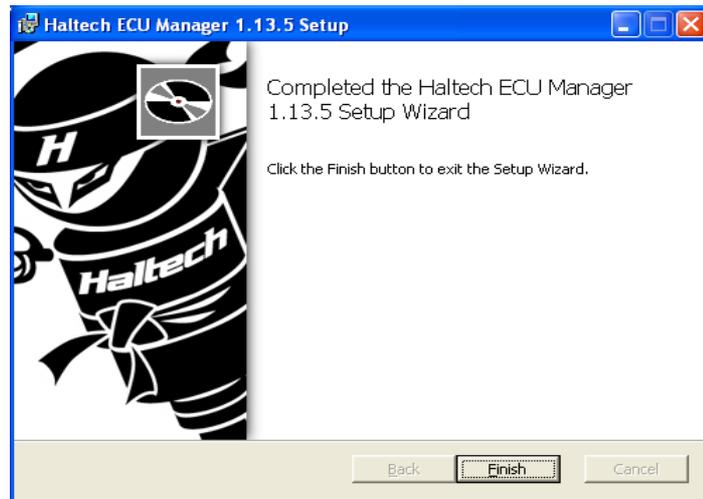


Figura 65: Confirmación de instalación

En caso de que haga falta el control de vídeo, ActiveX de Microsoft, para los mapas 3D el software lo notifica y abre una ventana para instalarlo.

6.6.2 Conexión de PC-centralita-motor

La centralita Haltech permite que exista tanto comunicación como control de la PC al motor, de modo que ésta actúa como puente, como se muestra en la figura 66:



Figura 66: Diagrama de comunicación PC-ECU-Motor.

6.6.3 Configuración principal del motor

Esta configuración define los datos más básicos del motor y el método de programación que se utiliza. La computadora debe estar conectada al motor, en contacto y con el cable USB conectado como se muestra en la figura 67.



Figura 67: Cable USB conectado a la ECU.

Se ingresa al programa y se accede a la ECU como está indicado en el capítulo 2.

Se entra a la ventana de configuración principal. Esta ventana se encuentra en el menú 'Configuración', en el sub-menú 'Principal' y en la pestaña 'Principal'. Se indica en la figura 68.

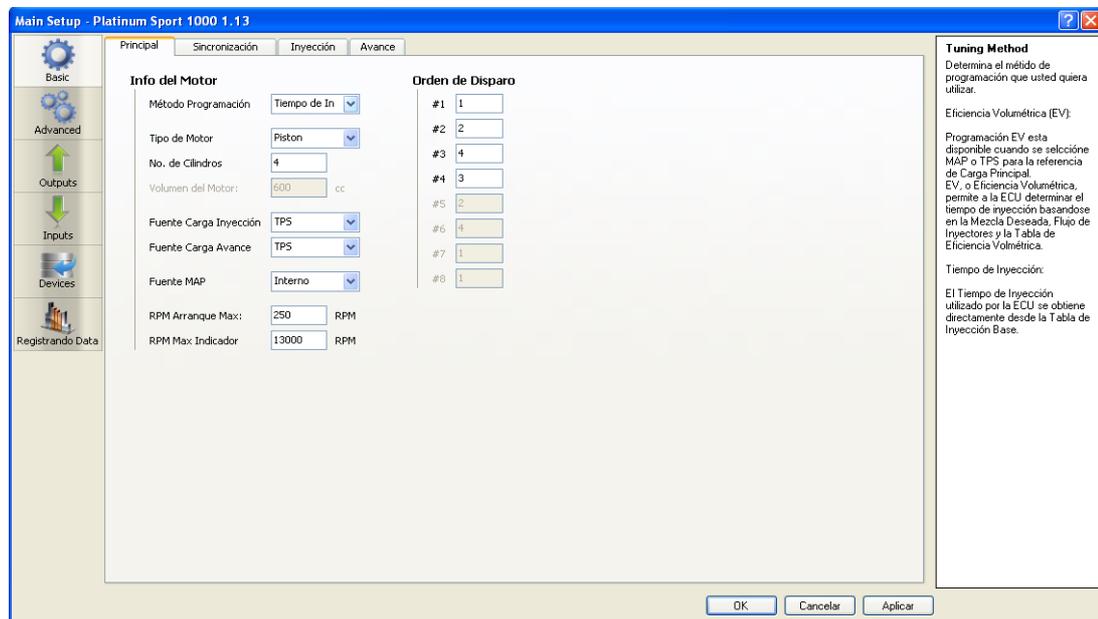


Figura 68: Ventana principal de configuración.

En la primera casilla se indica el método de reprogramación, se eligió el método de tiempo de inyección. Los siguientes recuadros piden el tipo de motor, dos o cuatro tiempos o rotativo, y en caso de ser un motor de pistones

se pide el número de estos. Después se debe indicar como se dará la señal para la inyección y el encendido, esta señal no se refiere al tiempo, sino a la carga del motor, por TPS o por MAP. En un motor de aspiración natural la carga del TPS es un reflejo del MAP, entonces se usó el TPS por su mayor precisión. En esta ventana también se puede indicar el valor máximos de velocidad del motor y el mínimo para el arranque. El último parámetro es el orden de encendido, que es 1-4-3-2.

6.6.4 Configuración y calibración de sensores

La calibración de los sensores se la realiza desde el menú de 'Configuración principal' en la barra de menú o presionando la tecla F4. Se despliega una ventana en la que se selecciona en la barra izquierda el submenú 'Entradas'. En la parte superior se encuentran varias pestañas correspondientes a los sensores.

6.6.5 Sensor ECT

El sensor ECT se encuentra instalado en el lugar antes ocupado por el termostato, justo debajo de una manguera, cubierto con un poco de aislante térmico y con dos cables, como se muestra en la figura 69:



Figura 69: Sensor ECT.

Para la calibración del sensor ECT se debe seleccionar la pestaña CTS (Coolant Temperature Sensor) de "Entradas" en la configuración principal. La

calibración se la realiza por medio de una tabla que contiene valores de voltaje y temperatura correspondientes entre si, también se muestra una línea de color blanco que corresponde a la curva de temperatura del sensor. Esta descripción puede ser observada en la figura 70.

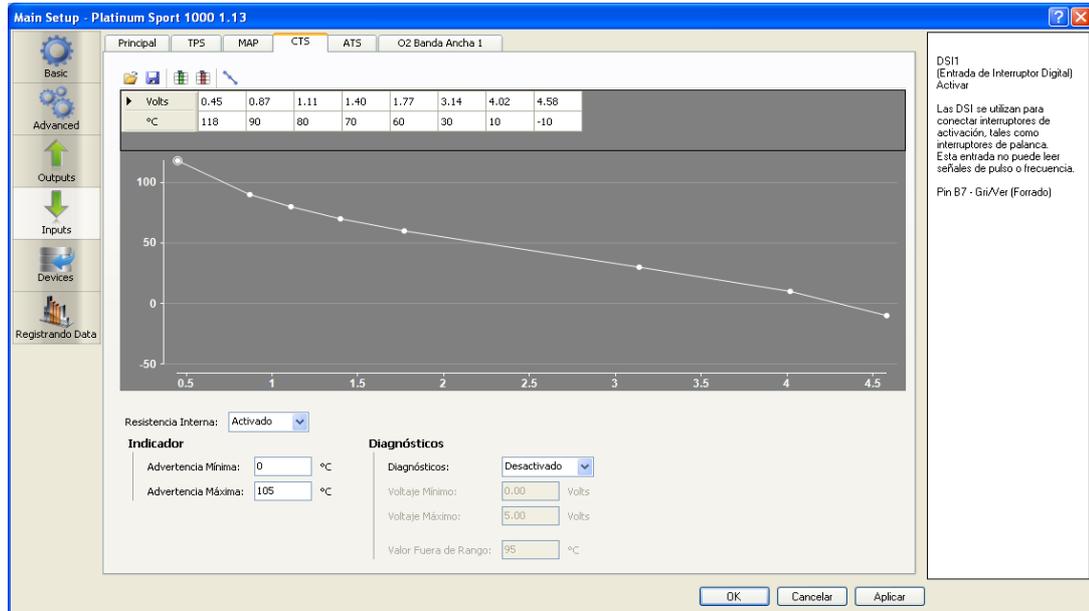


Figura 70: Curva sin cambios del sensor ECT.

Para modificar un valor solo hay que seleccionar una celda y escribir un valor que corresponda al voltaje o temperatura, se abrirá una pequeña ventana igual a la figura 71.

Figura 71: Ventana de modificación de sensores de temperatura.

Al momento de la conexión este sensor marcó 16°C de temperatura con el motor apagado en la ventana del software, que no varía demasiado de la temperatura real del agua del refrigerante que fue 15.4°C, como se muestra en la figura 72, cuya medición fue realizada con un termómetro digital de un multímetro. No se realizó ninguna corrección a la curva.



Figura 72: Temperatura del refrigerante.

6.6.6 Sensor IAT

El sensor IAT va montado en el plenum del múltiple de admisión para obtener un valor más real de la temperatura del aire antes de que entre al motor. La configuración del sensor IAT se encuentra en la pestaña ATS (Air Temperature Sensor), que despliega un recuadro igual a la figura 73.

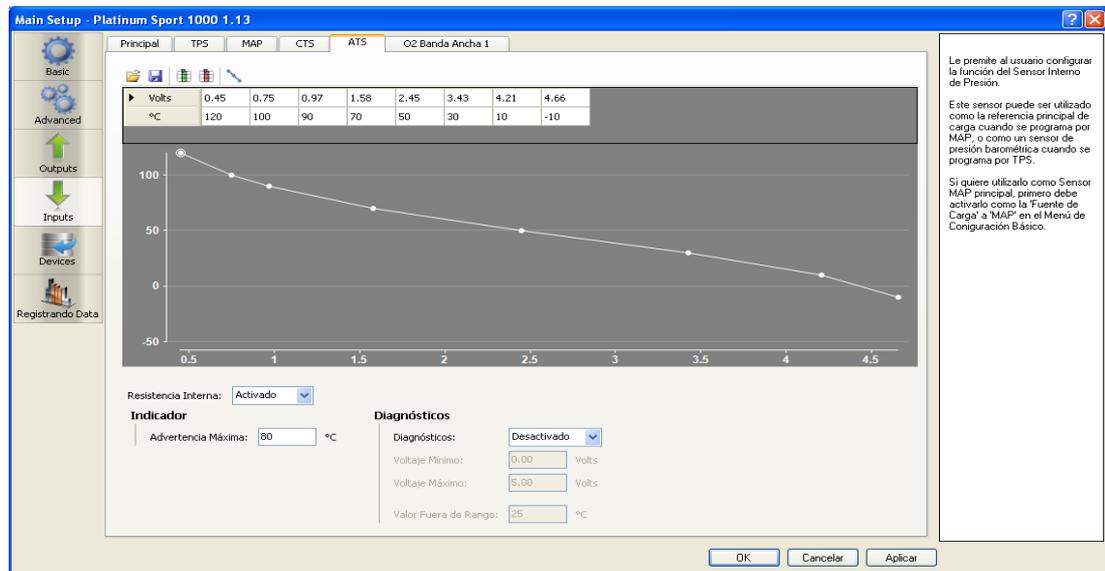


Figura 73: Curva del sensor IAT.

Las variaciones se realizan de la misma forma que el sensor ECT. Este sensor marca una temperatura de 16.2°C en la pantalla del software, esta temperatura varía en 0.5 de la temperatura del aire que marcó el termómetro digital, que se muestra en la figura 74, y corresponde a 15.7°C.



Figura 74: Temperatura del aire.

6.6.7 Sensor MAP

Se usó el sensor interno de la centralita, con una conexión entre una toma de vacío en el plenum y el sensor interno, ambas se muestran en la figura 75:

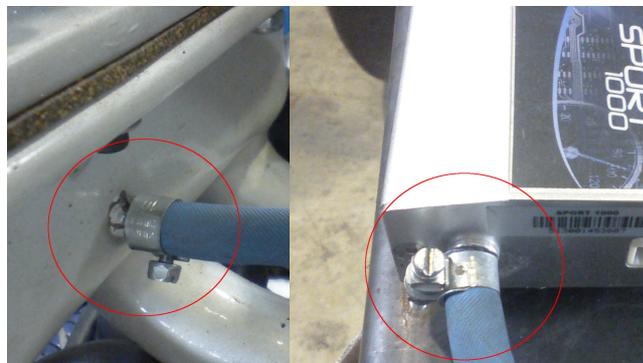


Figura 75: Conexión de la toma de vacío.

La calibración del sensor MAP no se realizó por cuanto se seleccionó el sensor interno de la centralita. Esta selección se la realiza en la pestaña 'Principal' marcando la casilla SIP (Sensor Interno de Presión) e indicando que uso se le quiere dar, ya sea sin usar, como sensor de presión barométrica o como MAP. La figura 76 muestra estas opciones.

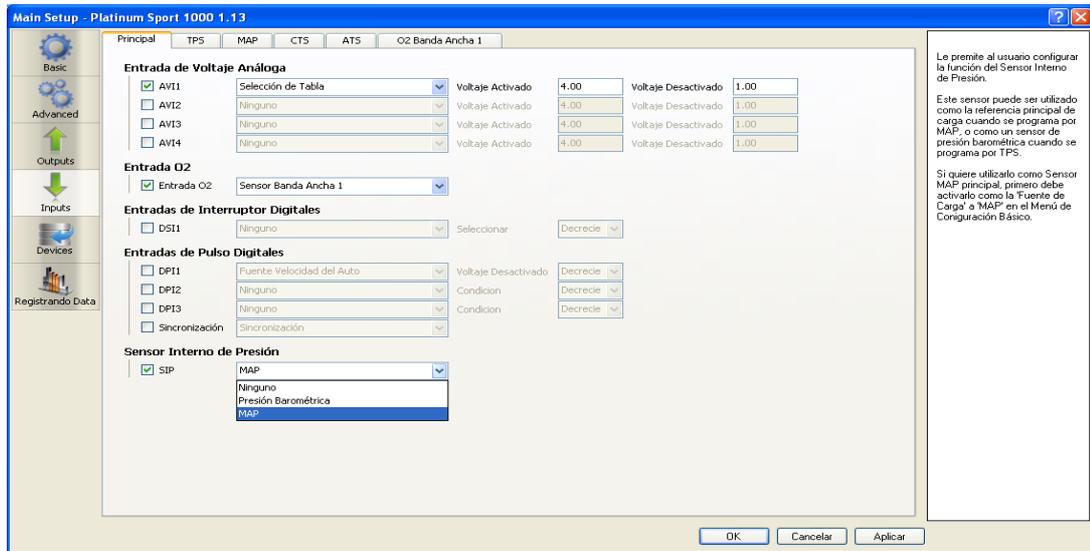


Figura 76: Selección del sensor MAP interno.

6.6.8 Sensor TPS

El sensor TPS está montado a un lado del restrictor de entrada de aire, como se muestra en la figura 77, y es accionado por la mariposa.



Figura 77: Selección del sensor MAP interno.

La calibración se realiza haciendo dos mediciones de voltaje con el software de la computadora, una con el pedal del acelerador levantado, que significa que la mariposa está totalmente cerrada, como se muestra en la figura 78, que equivale a 0%, y otra con el pedal pisado a fondo, que es con la mariposa totalmente abierta, ilustrada en la figura 79, que equivale a 100%.



Figura 78: Mariposa del acelerador cerrada.

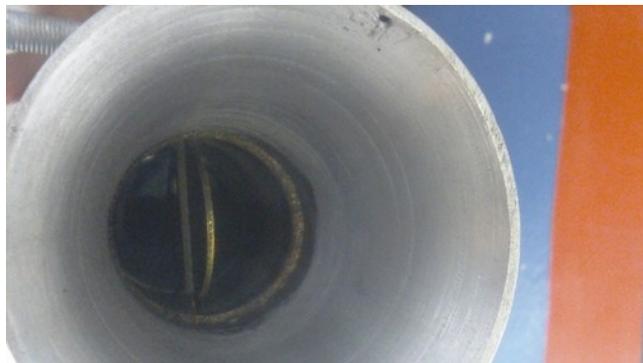


Figura 79: Mariposa del acelerador abierta.

De esta forma la computadora sabrá exactamente en que estado se encuentra la carga del motor entre 0 y 100%

La figura 80 muestra la pestaña del sensor y los valores medidos. Estos valores también pueden ser escritos si se conoce el voltaje en dicha posición, pero no es recomendable.

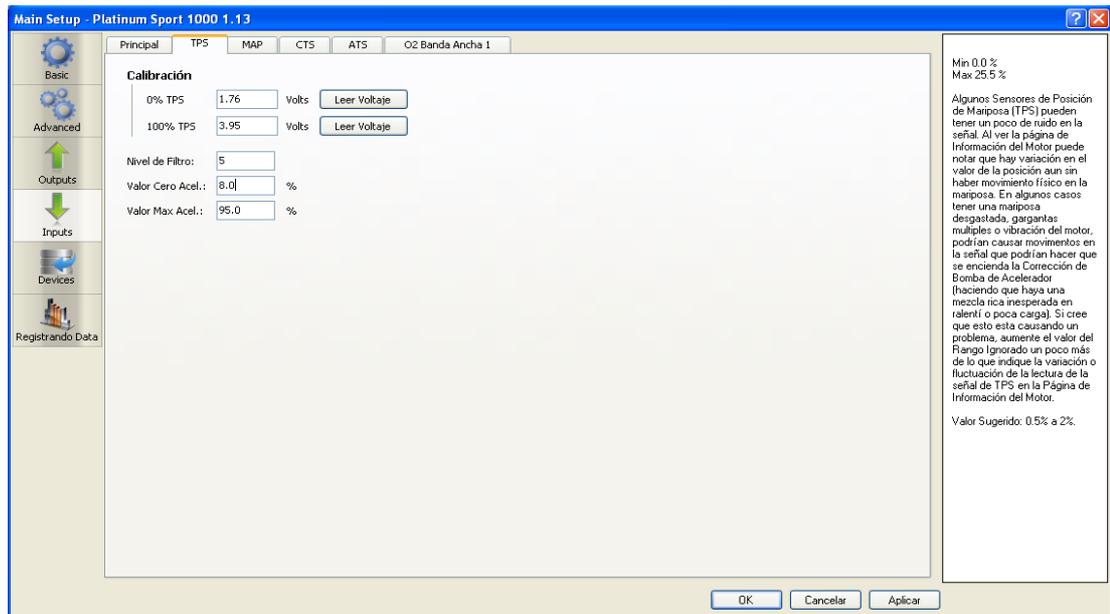


Figura 80: Calibración del sensor TPS

Se debe hacer esta calibración siempre que se va a encender el vehículo después de un periodo prologado sin uso o se aflojo el cable del acelerador.

6.6.9 Sensor CKP y CMP

Para su configuración se debe cambiar el sub-menu de la izquierda a la pestaña 'Principal', y seleccionar la pestaña 'Sincronización'.

En la ventana que aparece, igual a la figura 81, en el primer recuadro se selecciona la configuración de los sensores, existen muchas configuraciones preestablecidas o se puede crear una propia utilizando la opción 'Multidiente general' indicando el número de dientes de los sensores y los dientes de compensación que indican el momento del salto de la chispa, el segundo recuadro sirve para ingresar el 'Ángulo de referencia', que es la diferencia en grados entre el paso del diente de compensación por el sensor y el paso del primer pistón por el punto muerto superior, y el tercer recuadro de importancia es el de 'Tipo de sensor' en el que se indica si el sensor es de tipo Hall o inductivo.

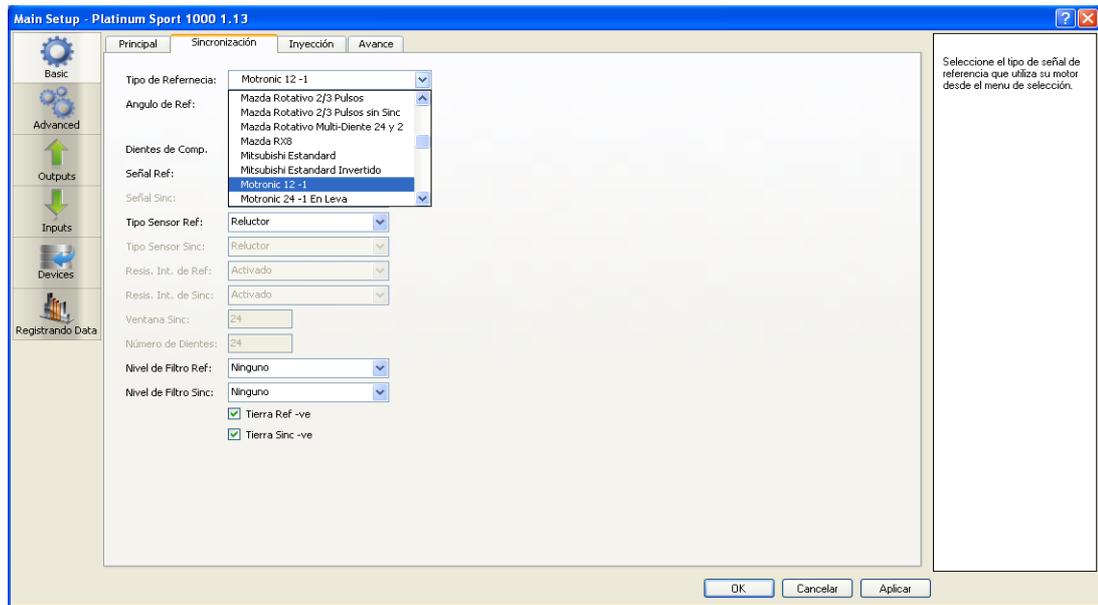


Figura 81: Configuración del método de sincronización.

El motor Honda CBR 600 F4i tiene un sensor CKP de 12 dientes y un sensor CMP de 3 dientes para la sincronización, sin embargo, esta configuración no está disponible en las opciones que presenta la lista.

Existen dos opciones que se adaptarían al motor: 'Multidiente general' que permite escribir el número de dientes del CKP así como los de sincronización del CMP, y 'Motronic 12-1' en cuyo caso hay que disminuir un diente del sensor CKP. Se eligió la configuración 12-1 por facilidad. El diente disminuido, que se muestra en la figura 82, da su señal 60° antes de que el pistón 1 esté en el punto muerto superior en compresión.



Figura 82: Sensor CKP con diente disminuido.

Este sensor es de tipo inductivo y debe ser indicado en la configuración como 'Reluctor'.

6.6.10 Configuración de actuadores

Para la configuración de actuadores hay que tomar en cuenta la configuración de la sincronización, pues ya que no se utilizó el sensor CMP no será posible utilizar la configuración de inyecciones individuales.

La configuración de los actuadores se realiza en la ventana de 'Configuración', en el sub-menu 'Principal'

6.6.11 Configuración de inyectores

Los inyectores se configuran en la pestaña que dice 'Inyección' y que se muestra en la figura 83.

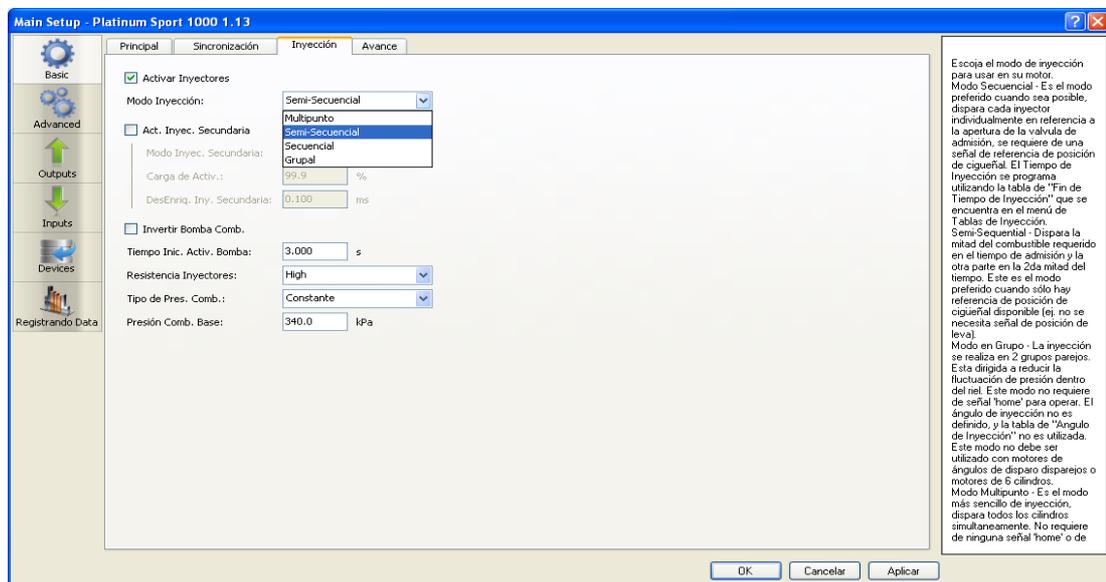


Figura 83: Configuración de inyectores

En el primer recuadro se escoge el tipo de inyección. Se seleccionó la inyección semi-secuencial, ya que es el mejor método de inyección sin utilizar el sensor CMP, el otro método es el grupal.

En esta ventana también se indica el tiempo inicial que se activa la bomba de combustible al hacer contacto, o en este caso al activar el Master Switch, la impedancia de los inyectores que es alta (15.8 ohms), la presión de la riel que es 50 psi (340kPa). También existe la opción desactivar los inyectores.

6.6.12 Configuración de encendido

El encendido se configura en la pestaña 'Avance', en esta ventana el primer recuadro indica los modos de salto de chispa disponibles, como se indica en la figura 84.

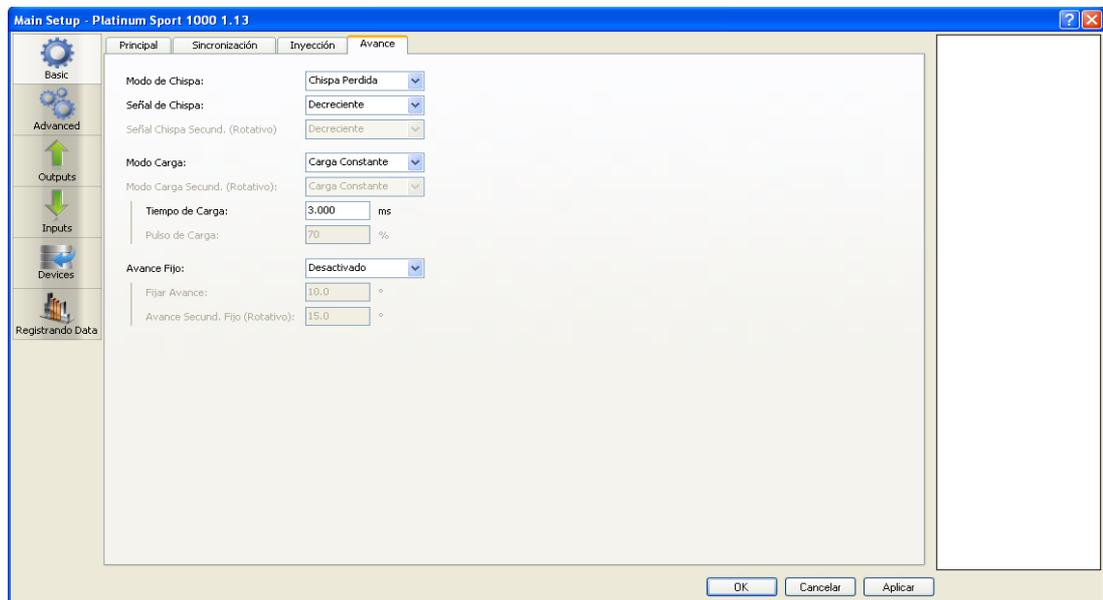


Figura 84: Configuración del encendido.

Se seleccionó la Chispa perdida, porque no se requieren de módulos adicionales para el encendido. La bobina, que es de un vehículo Chevrolet Corsa, tiene su propia tierra y alimentación. El modo de carga es constante con una duración de 3 ms., este es el tiempo de saturación del primario de la bobina.

Esta bobina está montada en la estructura tubular del vehículo, debajo del firewall y detrás del asiento, quedando lo suficientemente cerca del motor para que los cables alcancen las bujías, como se muestra en la figura 5:



Figura 85: Ubicación de la bobina.

A la bobina se le sujetó conjuntamente con una placa de aluminio para favorecer la disipación de calor, como se muestra en la figura 86.



Figura 86: Placa de aluminio para refrigeración.

Tanto la señal para el salto de chispa, como la alimentación llegan por el conector por la parte superior de la bobina, como se muestra en la figura 87, donde también se puede ver que los cables de las bujías no están ni apretados ni tensos:

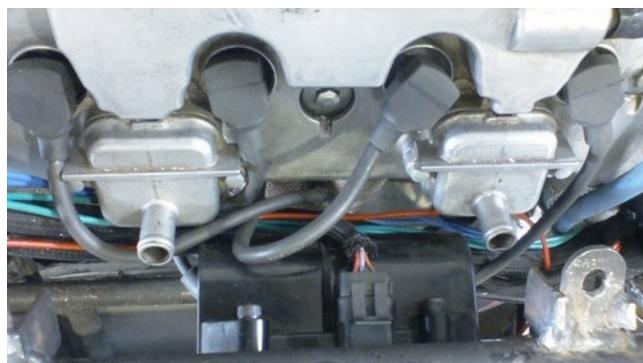


Figura 87: Alimentación, señal y cables de bujía de la bobina.

6.7 Reprogramación de inyección y encendido

6.7.1 Cálculo del tiempo de inyección

Se partió de la ecuación 2.1 de masa de aire desplazada, presentada en el capítulo 2:

$$M_{aire,motor} = (V_{motor}) * (\rho_{aire})$$

donde:

V_{motor} es la cilindrada del motor

ρ_{aire} es la densidad del aire en condiciones normales

La densidad del aire y el volumen del motor son tratadas como constantes. En condiciones normales (25°C y 101.325kPa) la densidad del aire es 1.205kg/m³, el volumen del motor 599cm³ y debe convertirse a metros cúbicos

$$M_{aire,motor} = 0.000599 m^3 * 1.205 kg/m^3$$

$$M_{aire,motor} = 0.000722 kg$$

$$M_{aire,motor} = 0.72179 g$$

La respuesta se transformó a un sub-múltiplo.

Con este valor se calcula la velocidad de desplazamiento de masa de aire a través del motor con la ecuación 2.2. Como base se usó la velocidad de ralentí de 1300 rpm:

$$\dot{M} = (V_{motor}) * (\rho_{aire}) * RPM / 2$$

$$\dot{M} = 0.723 g * 1300 rpm / 2$$

$$\dot{M} = 469.166 g / min$$

El valor de la velocidad de desplazamiento de masa de aire se reemplazó en la ecuación 2.3 para obtener el valor de masa de combustible.

$$M_{combustible} = \frac{M_{aire, entrada}}{(AFR_d) * RPM}$$

$$M_{combustible} = \frac{469.166 \text{ g/min}}{14.68 * 1300 \text{ rev/min}}$$

$$M_{combustible} = 0.02458 \text{ g}$$

donde:

AFR_d es la relación aire combustible deseada, lo ideal es 14.68

Dado que en el cálculo del tiempo de inyección las ecuaciones utilizan unidades del sistema inglés, esta masa de combustible se transforma a libras-masa.

$$M_{combustible} = 0.02458 \text{ g} * \frac{1 \text{ lb}}{453.59} \text{ g}$$

$$M_{combustible} = 5.42 * 10^{-5} \text{ lb}$$

Esta masa de combustible es la que consume el motor en un solo ciclo, por tanto un solo inyector permitirá el ingreso de esa masa de combustible dividida para el número de inyectores, de tal forma que la masa de combustible por inyector será:

$$M_{combustible-i} = M_{combustible} / 4$$

$$M_{combustible-i} = 5.4289584 * 10^{-5} \text{ lb} / 4$$

$$M_{combustible-i} = 1.3572 * 10^{-5} \text{ lb}$$

Para calcular el ancho de pulso del inyector se debe conocer la velocidad nominal de flujo del inyector, que en el caso del motor CBR 600 F4i es 23 lb/h (FSAE, 2004), y despejar el tiempo de la ecuación 2.6, la respuesta está en ms.

$$P_w = \frac{M_{combustible-i} * 3.6 * 10^6}{V_{f,I}}$$

$$P_w = \frac{1.3572 * 10^{-5} * 3.6 * 10^6}{23 \text{ lb/h}}$$

$$P_w = 2.124375 \text{ ms}$$

donde:

$V_{f,I}$ es la velocidad de flujo del inyector

Este tiempo es la base para desarrollar el mapa desde el punto más bajo de presión del múltiple o carga del TPS y velocidad de ralentí.

6.7.2 Mapas básicos de inyección y encendido

El mapa base de inyección recibe incrementos en cada celda de acuerdo al aumento de carga y de velocidad. Los incrementos deben realizarse en valores pequeños, entre el 1 y 5% del valor de la celda anterior, o inclusive menos si se hacen más divisiones en las tablas, para mantener una aceleración suave.

En la tabla, la carga que va del 0% al 100% puede ser dividida a razón de valores del 10%, mientras que la velocidad que va de 0 a 13000 rpm (máxima del motor) puede ser dividida en intervalos de 500 rpm.

En la primera fila de velocidad, cada celda recibirá un incremento del 2% con respecto al valor anterior obteniendo los valores de la tabla 6:

Tabla 6:

Valores de tiempo de inyección a velocidad de ralentí

rpm/%	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1500	2.121	2.163	2.207	2.251	2.296	2.342	2.388	2.436	2.485	2.535	2.585

El valor base de tiempo de inyección que se calculó en el punto anterior es el que está resaltado en color azul.

A partir de los valores de esta fila se calcula el tiempo de inyección a medida que aumenta la velocidad haciendo incrementos, obteniendo la tabla 7:

Tabla 7:
Tabla base de tiempo de inyección

rpm/%	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
13000	2.960	3.232	3.280	3.329	3.379	3.430	4.402	4.512	4.625	4.741	4.859
12000	2.950	3.106	3.153	3.200	3.248	3.297	4.150	4.253	4.360	4.469	4.580
11000	2.941	2.986	3.030	3.076	3.122	3.169	3.911	4.009	4.109	4.212	4.317
10000	2.827	2.870	2.913	2.956	3.001	3.046	3.687	3.779	3.874	3.970	4.070
9000	2.717	2.758	2.800	2.842	2.884	2.928	3.475	3.562	3.651	3.742	3.836
8500	2.664	2.704	2.745	2.786	2.828	2.870	3.374	3.458	3.442	3.538	3.616
8000	2.612	2.651	2.691	2.731	2.772	2.814	3.276	3.358	3.442	3.528	3.616
7500	2.561	2.599	2.638	2.678	2.718	2.759	3.180	3.260	3.341	3.425	3.511
7000	2.511	2.548	2.586	2.625	2.665	2.705	3.088	3.165	3.244	3.325	3.408
6500	2.461	2.498	2.536	2.574	2.612	2.652	2.998	3.073	3.150	3.228	3.309
6000	2.425	2.461	2.498	2.536	2.574	2.612	2.925	2.998	3.073	3.150	3.228
5500	2.389	2.425	2.461	2.498	2.536	2.574	2.853	2.925	2.998	3.073	3.150
5000	2.354	2.389	2.425	2.461	2.498	2.536	2.784	2.853	2.925	2.998	3.073
4500	2.319	2.354	2.389	2.425	2.461	2.498	2.716	2.784	2.853	2.925	2.998
4000	2.285	2.319	2.354	2.389	2.425	2.461	2.650	2.716	2.784	2.853	2.925
3500	2.251	2.285	2.319	2.354	2.389	2.425	2.585	2.650	2.716	2.784	2.853
3000	2.218	2.251	2.285	2.319	2.354	2.389	2.522	2.585	2.650	2.716	2.784
2500	2.185	2.218	2.251	2.285	2.319	2.354	2.460	2.522	2.585	2.650	2.716
2000	2.153	2.185	2.218	2.251	2.285	2.319	2.400	2.460	2.522	2.585	2.650
1500	2.121	2.153	2.185	2.218	2.251	2.285	2.342	2.400	2.460	2.522	2.585
1000	2.089	2.121	2.153	2.185	2.218	2.251	2.285	2.342	2.400	2.460	2.522
500	2.059	2.089	2.121	2.153	2.185	2.218	2.229	2.285	2.342	2.400	2.460
0	2.028	2.059	2.089	2.121	2.153	2.185	2.175	2.229	2.285	2.342	2.400

En las últimas filas de velocidad, que están marcadas en tono más oscuro, se puede hacer incrementos en mayores intervalos de velocidad, como de 1000 en 1000 porque las variaciones en la aceleración son menos sensibles.

Una vez que los incrementos se acercan al valor de velocidad en que el manual indica que se da el mayor torque, cerca de 10500 rpm, el combustible no debería aumentar más, pues no se aprovecharía totalmente, el valor debería mantenerse igual o recibir incrementos muy pequeños, tampoco debería decrecer porque podría conllevar a un sobrecalentamiento del motor.

Mediante el uso de software de cálculo computacional, se puede hacer una gráfica en tres dimensiones similar a un mapa a partir de la tabla de tiempos de inyección. Esta tabla generó un mapa, que se muestra en la figura 88, en el que se puede ver que cuando se pasa del 50% de carga el aumento en el tiempo de inyección de combustible es mucho mayor.

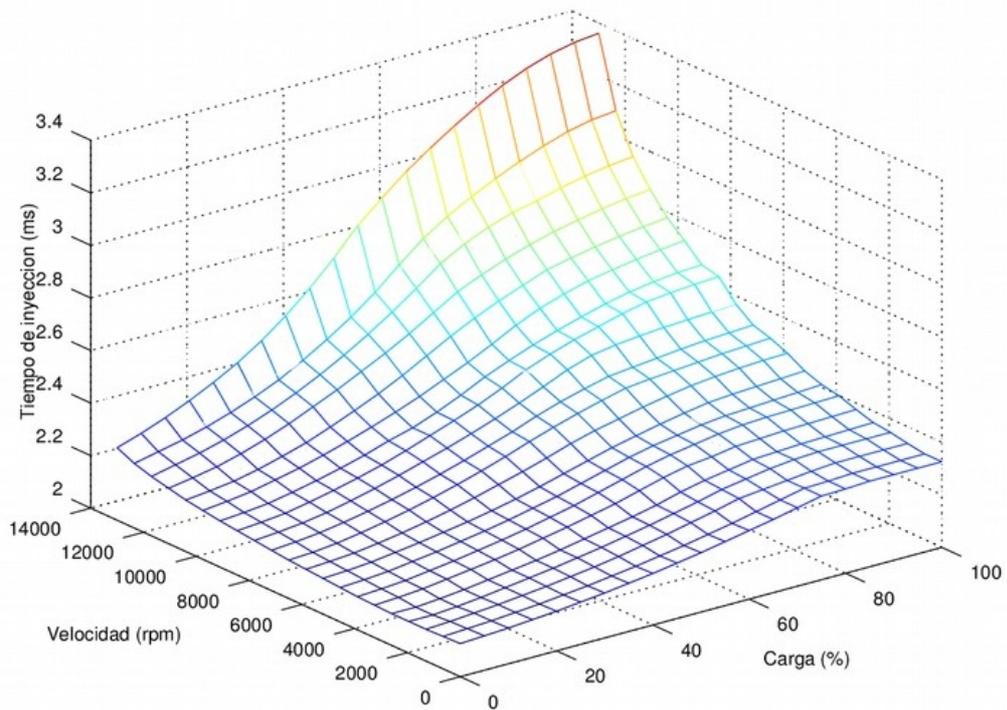


Figura 88: Mapa de la tabla base de inyección.

Para la tabla de avance al encendido primero se creó una tabla que tiene los valores de adelanto cuando el motor está con 0% de carga. Se partió del ángulo base que indica el manual, 13° antes del PMS. Este valor está en la velocidad de ralentí. Se hicieron incrementos de 0.5° a medida que aumentó la velocidad hasta las 3000 rpm. Entre 3500 y 6000 revoluciones los incrementos se hicieron en 0.2° , después el adelanto se mantuvo. Cuando llegó a la velocidad de torque máximo el avance disminuyó. Los resultados están en la tabla 8.

Tabla 8:
Valores de avance de encendido para el motor sin carga.

Velocidad	Avance	Velocidad	Avance	Velocidad	Avance	Velocidad	Avance
0	-	3000	14.5	6000	15.6	9000	15.6
500	-	3500	14.6	6500	15.6	10000	15.6
1000	-	4000	14.8	7000	15.6	11000	15.6
1500	13.0	4500	15.0	7500	15.6	12000	15.0
2000	13.5	5000	15.2	8000	15.6	13000	15.0
2500	14.0	5500	15.4	8500	15.6		

Esta tabla tiene incrementos pequeños porque en esa carga no se necesita que el motor se acelere, sino que regrese a la velocidad de ralentí de forma estable o se mantenga al momento de embragar para realizar un cambio de marcha, por lo que incluso se pueden hacer decrementos para favorecer la disminución de velocidad.

Una tabla similar se repite para el avance cuando el motor tiene un 10% de carga, pero los incrementos son mucho mayores. El valor del adelanto se mantiene en el intervalo entre 5500 y 11000 rpm para que el motor no se acelere con poca carga a alta velocidad de manera que permita hacer el cambio de marchas. El avance en la velocidad de ralentí tiene un aumento con respecto al del motor sin carga, este valor y el de torque máximo están marcados con azul. Se obtiene la tabla 9:

Tabla 9:
Valores de avance de encendido con 10% de carga

Velocidad	Avance	Velocidad	Avance	Velocidad	Avance	Velocidad	Avance
0	-	3000	18.7	6000	26.2	9000	26.2
500	-	3500	20.2	6500	26.2	10000	26.2
1000	-	4000	21.7	7000	26.2	11000	26.2
1500	14.2	4500	23.2	7500	26.2	12000	25.7
2000	15.7	5000	24.7	8000	26.2	13000	25.7
2500	17.2	5500	26.2	8500	26.2		

A partir de los valores que corresponden a esta columna se completó el resto de la tabla a medida que aumenta la carga del motor. Por debajo del

ralentí se usó un valor más elevado que evitará que se apague y por encima de la velocidad de torque máximo se uso un adelanto menor que evita un aumento de velocidad, a pesar que el equipo de Haltech puede hacer corte de combustible bajo cualquier condición de temperatura o velocidad. Se obtiene la tabla 10.

Tabla 10:
Tabla base de avance al encendido

rpm/%	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
13000	24.5	25.7	26.9	28.4	29.9	30.4	30.4	30.2	30.0	29.8	29.6
12000	24.5	25.7	26.9	28.4	29.9	31.4	31.4	31.2	31.0	30.8	30.6
11000	25.0	26.2	27.4	28.9	30.4	31.9	31.9	31.7	31.5	31.3	31.1
10000	25.0	26.2	27.4	28.9	30.4	31.9	31.9	31.7	31.5	31.3	31.1
9000	25.0	26.2	27.4	28.9	30.4	31.9	31.9	31.7	31.5	31.3	31.1
8500	25.0	26.2	27.4	28.9	30.4	31.9	31.9	31.7	31.5	31.3	31.1
8000	25.0	26.2	27.4	28.9	30.4	31.9	31.9	31.4	30.9	30.4	29.9
7500	25.0	26.2	27.4	28.9	30.4	31.9	31.9	31.4	30.9	30.4	29.9
7000	25.0	26.2	27.4	28.9	30.4	31.9	31.9	31.4	30.9	30.4	29.9
6500	25.0	26.2	27.4	28.9	30.4	31.9	31.9	31.4	30.9	30.4	29.9
6000	25.0	26.2	27.4	28.9	30.4	31.9	31.9	31.4	30.9	30.4	29.9
5500	25.0	26.2	27.4	28.9	30.4	31.9	31.9	32.3	32.7	33.1	33.5
5000	23.5	24.7	25.9	27.4	28.9	30.4	30.4	30.8	31.2	31.6	32.0
4500	22.0	23.2	24.4	25.9	27.4	28.9	28.9	29.3	29.7	30.1	30.5
4000	20.5	21.7	22.9	24.4	25.9	27.4	27.4	27.8	28.2	28.6	29.0
3500	19.0	20.2	21.4	22.9	24.4	25.9	25.9	26.3	26.7	27.1	27.5
3000	17.5	18.7	19.9	21.4	22.9	24.4	24.4	24.8	25.2	25.6	26.0
2500	16.0	17.2	18.4	19.9	21.4	22.9	22.9	23.3	23.7	24.1	24.5
2000	14.5	15.7	16.9	18.4	19.9	21.4	21.4	21.8	22.2	22.6	23.0
1500	13.0	14.2	15.4	16.9	18.4	19.9	19.9	20.3	20.7	21.1	21.5
1000	16.0	16.0	16.0	18.0	18.4	19.9	19.9	20.3	20.7	21.1	21.5
500	16.0	16.0	16.0	18.0	18.4	19.9	19.9	20.3	20.7	21.1	21.5
0	16.0	16.0	16.0	18.0	18.4	19.9	19.9	20.3	20.7	21.1	21.5

En esta tabla se resaltó los valores por debajo de la velocidad de ralentí, los valores que están por encima de la velocidad torque máxima y el ángulo base de adelanto.

El mapa que genera esta tabla, mostrado en la figura 89, muestra como

existe un cambio más uniforme al aumentar la carga en comparación con el mapa de inyección.

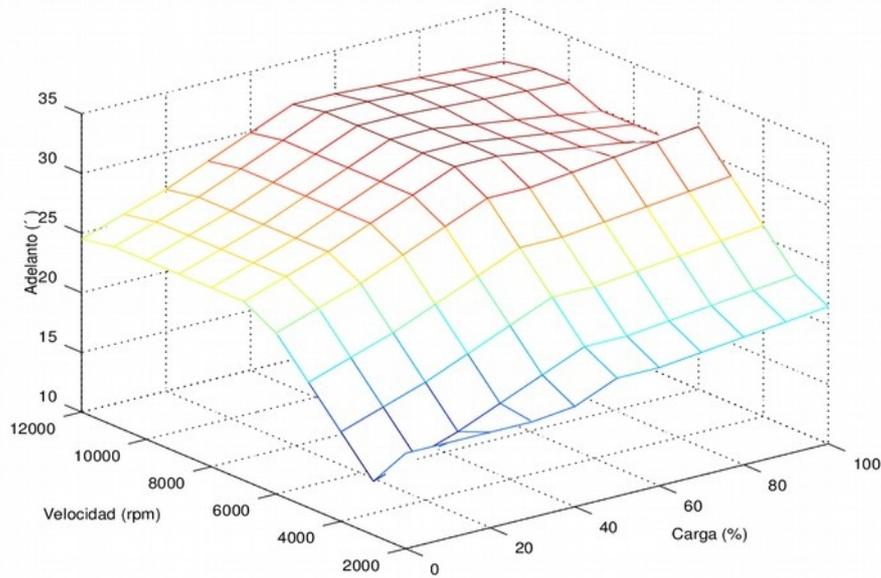


Figura 89: Mapa de la tabla base de avance al encendido.

Cada uno de los valores de las tablas anteriores se transcribieron a las tablas de tiempo de inyección y avance del ángulo de encendido de la ECU Haltech Platinum Sport 1000, con lo que se realizó una prueba para comprobar que el motor se encendiera.

Adicionalmente, puede ser necesario la creación de tablas de corrección para el arranque en frío, y si se dispone de un sensor de oxígeno se pueden crear tablas de objetivo de mezcla.

Las correcciones en los mapas pueden ser realizadas de diferentes formas o una combinación de ellas, ya sea con un sensor de banda ancha de oxígeno buscando la relación estequiométrica, en una pista o en un dinamómetro. El Data Login o almacenamiento de datos en vivo también es una herramienta útil para la corrección de las tablas porque puede almacenar el comportamiento del vehículo durante las pruebas sin estar conectada a la laptop.

6.7.3 Creación de mapas de inyección y encendido.

Para crear mapas de inyección y encendido en el software EcuManager no se parte desde 0. La computadora Haltech Platinum Sport 1000 contiene en su memoria un archivo por defecto que también viene incluido en la instalación del software EcuManager e incluso está disponible para su descarga desde el sitio web del fabricante. Al abrir este archivo por primera vez se muestra los indicadores de los sensores y la tabla principal de inyección con su respectivo mapa 3D. Esta tabla y el mapa se muestran en la figura 90 y 91.

Inyección - Base ms		Carga - Inyección %																	
		1.3	21.3	31.3	41.3	51.3	61.3	71.3	81.3	91.3	101.3	121.3	141.3	161.3	181.3	201.3	221.3	241.3	261.3
RPM	10000	0.450	1.700	2.574	3.062	3.552	4.042	4.532	5.020	5.510	6.000	7.124	8.250	9.374	10.500	11.624	12.750	13.874	15.000
RPM	9000	0.428	1.744	2.570	3.078	3.596	4.116	4.636	5.150	5.672	6.222	7.346	8.472	9.596	10.722	11.846	12.972	14.096	15.222
RPM	8000	0.424	1.788	2.566	3.096	3.640	4.190	4.738	5.282	5.834	6.444	7.568	8.694	9.818	10.944	12.068	13.194	14.318	15.444
RPM	7500	0.418	1.810	2.564	3.104	3.662	4.226	4.790	5.348	5.914	6.556	7.680	8.806	9.930	11.056	12.180	13.306	14.430	15.556
RPM	7000	0.412	1.834	2.564	3.112	3.686	4.264	4.842	5.412	5.996	6.666	7.790	8.916	10.040	11.166	12.290	13.416	14.540	15.666
RPM	6500	0.406	1.856	2.562	3.122	3.708	4.300	4.894	5.478	6.076	6.770	7.902	9.028	10.152	11.278	12.402	13.528	14.652	15.778
RPM	6000	0.400	1.878	2.560	3.130	3.730	4.338	4.946	5.544	6.158	6.790	8.012	9.138	10.262	11.388	12.512	13.638	14.762	15.888
RPM	5500	0.400	1.780	2.412	2.972	3.532	4.224	4.858	5.476	6.122	6.804	8.124	9.250	10.374	11.500	12.624	13.750	14.874	16.000
RPM	5000	0.400	1.644	2.264	2.814	3.452	4.110	4.770	5.408	6.086	6.816	8.048	9.096	10.142	11.190	12.238	13.286	14.334	15.382
RPM	4500	0.370	1.526	2.118	2.656	3.312	3.998	4.682	5.338	6.048	6.828	7.970	8.940	9.912	10.882	11.852	12.822	13.794	14.764
RPM	4000	0.340	1.410	1.970	2.498	3.174	3.884	4.594	5.270	6.012	6.842	7.754	8.668	9.580	10.492	11.406	12.318	13.230	14.144
RPM	3500	0.310	1.316	1.820	2.274	2.950	3.670	4.404	5.082	5.868	6.686	7.540	8.396	9.250	10.106	10.960	11.816	12.670	13.526
RPM	3000	0.280	1.220	1.680	2.110	2.788	3.516	4.244	4.922	5.700	6.528	7.326	8.122	8.920	9.718	10.516	11.312	12.110	12.908
RPM	2500	0.250	1.124	1.560	1.948	2.626	3.354	4.084	4.762	5.540	6.370	7.110	7.850	8.590	9.330	10.070	10.810	11.550	12.290
RPM	2000	0.250	1.042	1.438	1.786	2.466	3.194	3.924	4.604	5.384	6.214	6.896	7.578	8.260	8.942	9.624	10.306	10.988	11.672
RPM	1500	0.250	0.960	1.316	1.622	2.302	3.032	3.764	4.444	5.224	6.056	6.680	7.306	7.930	8.554	9.180	9.804	10.428	11.054
RPM	1000	0.250	0.880	1.184	1.460	2.142	2.872	3.604	4.286	5.068	5.900	6.466	7.034	7.600	8.168	8.734	9.302	9.868	10.436
RPM	500	0.250	0.876	1.180	1.454	2.078	2.752	3.426	4.050	4.776	5.550	6.084	6.616	7.150	7.684	8.218	8.750	9.284	9.818
RPM	0	0.280	0.874	1.188	1.460	1.982	2.566	3.150	3.682	4.316	5.000	5.524	6.050	6.574	7.100	7.624	8.150	8.674	9.200

Figura 90: Tabla por defecto de inyección de ECU Haltech.

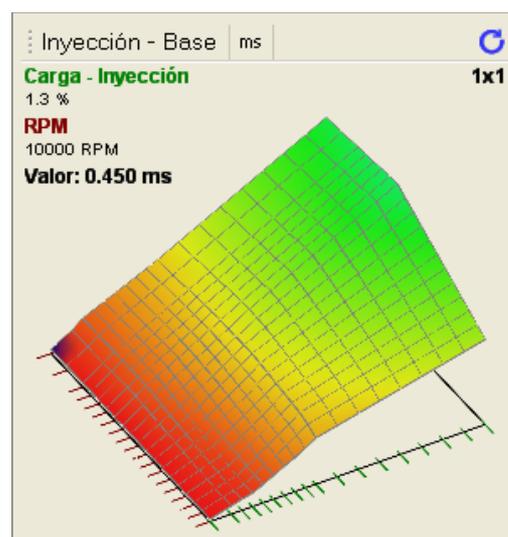


Figura 91: Mapa 3D de la tabla de inyección por defecto.

La velocidad que está en un rango entre 0 a 10000 rpm y la carga supera al 200%, se cambiaron para ajustarse al motor, velocidad de 0 a 13000 rpm y carga de 0 a 100%, como se muestra en la figura 92.

Inyección - Base		Carga - Inyección %										
		0.0	10.0	20.0	30.0	40.0	50.0	60.0	70.0	80.0	90.0	100.0
RPM	13000	0.450	0.992	1.618	2.460	2.998	3.488	3.978	4.468	4.956	5.446	5.936
	12000	0.450	0.992	1.618	2.460	2.998	3.488	3.978	4.468	4.956	5.446	5.936
	11000	0.450	0.992	1.618	2.460	2.998	3.488	3.978	4.468	4.956	5.446	5.936
	10000	0.450	0.992	1.618	2.460	2.998	3.488	3.978	4.468	4.956	5.446	5.936
	9000	0.438	1.006	1.658	2.462	3.010	3.528	4.048	4.568	5.082	5.604	6.150
	8500	0.430	1.010	1.678	2.462	3.018	3.548	4.082	4.616	5.146	5.682	6.256
	8000	0.424	1.016	1.698	2.464	3.026	3.568	4.118	4.666	5.210	5.762	6.364
	7500	0.418	1.022	1.718	2.464	3.032	3.588	4.152	4.716	5.274	5.840	6.472
	7000	0.412	1.030	1.740	2.468	3.040	3.610	4.188	4.766	5.336	5.920	6.578
	6500	0.406	1.036	1.760	2.470	3.048	3.630	4.222	4.816	5.402	5.998	6.686
	6000	0.400	1.042	1.780	2.470	3.054	3.652	4.258	4.866	5.466	6.078	6.706
	5500	0.400	0.990	1.670	2.326	2.898	3.510	4.140	4.774	5.394	6.038	6.714
	5000	0.400	0.940	1.562	2.182	2.742	3.368	4.024	4.684	5.324	5.996	6.720
	4500	0.370	0.872	1.450	2.040	2.586	3.226	3.908	4.592	5.252	5.954	6.726
	4000	0.340	0.804	1.340	1.896	2.428	3.086	3.790	4.500	5.182	5.914	6.734
	3500	0.310	0.746	1.250	1.754	2.214	2.862	3.582	4.308	4.992	5.756	6.578
3000	0.280	0.688	1.158	1.628	2.054	2.698	3.420	4.148	4.832	5.598	6.420	
2500	0.250	0.630	1.066	1.502	1.896	2.536	3.258	3.988	4.672	5.438	6.262	
2000	0.250	0.594	0.990	1.386	1.740	2.376	3.098	3.828	4.514	5.282	6.106	
1500	0.250	0.558	0.912	1.268	1.582	2.212	2.936	3.668	4.354	5.122	5.946	
1000	0.250	0.524	0.838	1.152	1.424	2.052	2.776	3.508	4.196	4.966	5.790	
Valor de	500	0.250	0.522	0.834	1.148	1.418	1.996	2.664	3.338	3.968	4.680	5.448
	0	0.250	0.520	0.832	1.146	1.414	1.912	2.490	3.074	3.612	4.232	4.910

Figura 92: Tabla de inyección modificada en velocidad y carga.

Los colores utilizados en las tablas por el software de Haltech sirven para identificar rápidamente los valores más bajos y altos de tiempo de inyección y de avance, la figura 93 muestra esta correlación.



Figura 93: Guía de color de la tabla.

Para realizar la reprogramación es recomendable estar en una posición desde la que se pueda controlar el acelerador, las marchas y el Master Switch del vehículo, puede ser desde el interior del vehículo con la computadora montada en la parte frontal, como se ve en la figura 94:



Figura 94: Sitio recomendable para realizar la reprogramación.

Con la computadora conectada se escribieron los valores de inyección calculados en la tabla 3.7. Se escribieron algunos valores de referencia en celdas alternadas, y luego se utilizó la herramienta de 'Linealizar' presionando la letra L. Las modificaciones se muestran en la figura 95, y se puede apreciar claramente los cambios en la distribución de colores.

Inyección - Base ms		Carga - Inyección %										
		0.0	10.0	20.0	30.0	40.0	50.0	60.0	70.0	80.0	90.0	100.0
RPM	13000	2.950	3.090	3.228	3.368	3.508	3.648	3.788	3.926	4.066	4.206	4.346
	12000	2.950	3.090	3.228	3.368	3.508	3.648	3.788	3.926	4.066	4.206	4.346
	11000	2.950	2.994	3.040	3.084	3.130	3.178	3.412	3.644	3.878	4.112	4.346
	10000	2.832	2.876	2.920	2.964	3.008	3.054	3.262	3.468	3.676	3.884	4.092
	9000	2.716	2.758	2.800	2.842	2.884	2.928	3.110	3.290	3.472	3.654	3.836
	8500	2.664	2.704	2.746	2.786	2.828	2.870	3.040	3.212	3.382	3.552	3.724
	8000	2.612	2.652	2.692	2.734	2.774	2.816	2.976	3.138	3.298	3.458	3.620
	7500	2.562	2.602	2.640	2.680	2.720	2.760	2.910	3.062	3.214	3.364	3.516
	7000	2.510	2.548	2.588	2.626	2.666	2.706	2.846	2.988	3.130	3.270	3.412
	6500	2.460	2.498	2.536	2.574	2.612	2.652	2.782	2.914	3.046	3.176	3.308
	6000	2.424	2.462	2.498	2.536	2.574	2.612	2.734	2.858	2.982	3.104	3.228
	5500	2.388	2.424	2.462	2.498	2.536	2.574	2.690	2.804	2.920	3.036	3.152
	5000	2.354	2.390	2.426	2.462	2.498	2.536	2.644	2.752	2.860	2.968	3.076
	4500	2.318	2.354	2.390	2.426	2.462	2.498	2.598	2.698	2.798	2.900	3.000
4000	2.284	2.318	2.354	2.388	2.424	2.460	2.552	2.646	2.738	2.830	2.924	
Objetivo	3500	2.250	2.284	2.318	2.354	2.388	2.424	2.510	2.594	2.680	2.766	2.852
	3000	2.218	2.252	2.286	2.320	2.354	2.388	2.466	2.546	2.626	2.704	2.784
	2500	2.184	2.218	2.250	2.284	2.318	2.354	2.426	2.500	2.572	2.644	2.718
	2000	2.152	2.184	2.218	2.250	2.284	2.318	2.384	2.450	2.516	2.584	2.650
	1500	2.120	2.152	2.184	2.218	2.250	2.284	2.344	2.404	2.464	2.524	2.584
	1000	2.088	2.130	2.174	2.218	2.262	2.304	2.348	2.392	2.434	2.478	2.522
Valor de	500	2.058	2.098	2.138	2.178	2.218	2.258	2.298	2.338	2.380	2.420	2.460
	0	2.028	2.064	2.102	2.140	2.176	2.214	2.250	2.288	2.326	2.362	2.400

Figura 95: Tabla de inyección modificada el tiempo de inyección.

Observado la distribución de colores de las tablas de inyección de las figuras 92 y 95 se encontró que existe una diferencia significativa en la zona de baja velocidad con alta carga y en la zona de alta velocidad con baja carga, habiendo en la primera una disminución del tiempo de inyección combustible, mientras en el segundo caso existe un aumento. En la figura 96 que compara los dos mapas 3D, a la izquierda el original y a la derecha el modificado, se puede apreciar de manera más marcada las diferencias después de la modificación.

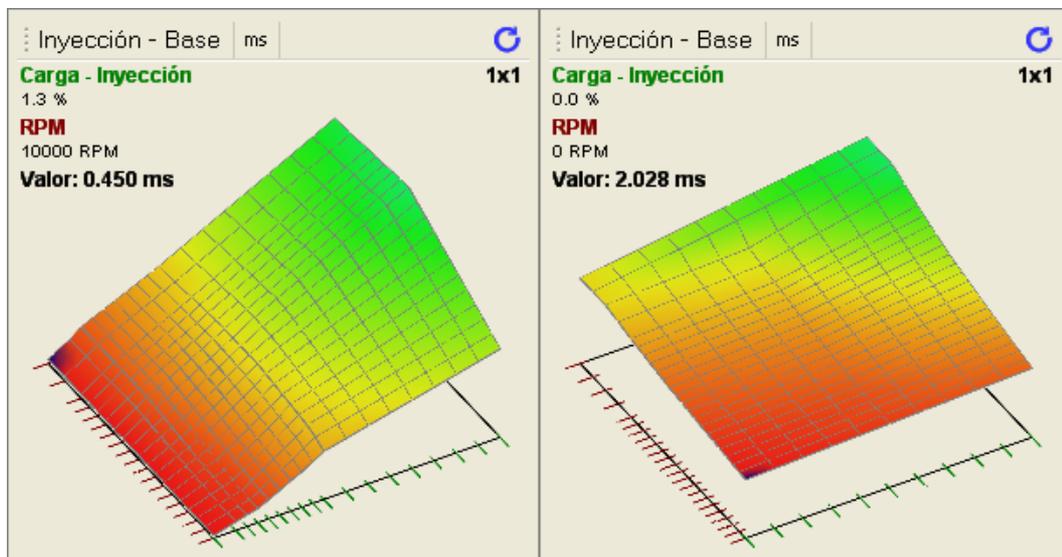


Figura 96: Comparación de mapa por defecto y modificado.

Estas variaciones son solo con respecto a la proporción, porque en el valor numérico cambiaron demasiado. Las diferencias no indican que un mapa esté mal o no, puesto que fue necesario hacer correcciones a los mapas durante el funcionamiento, lo primordial fue asegurar que el motor encienda de manera estable.

Al comparar una curva de tiempo de inyección a baja velocidad, por ejemplo a 1500 rpm, se pudo observar que el mapa original tiene una mayor pendiente a medida que aumenta la carga, como en la figura 97.

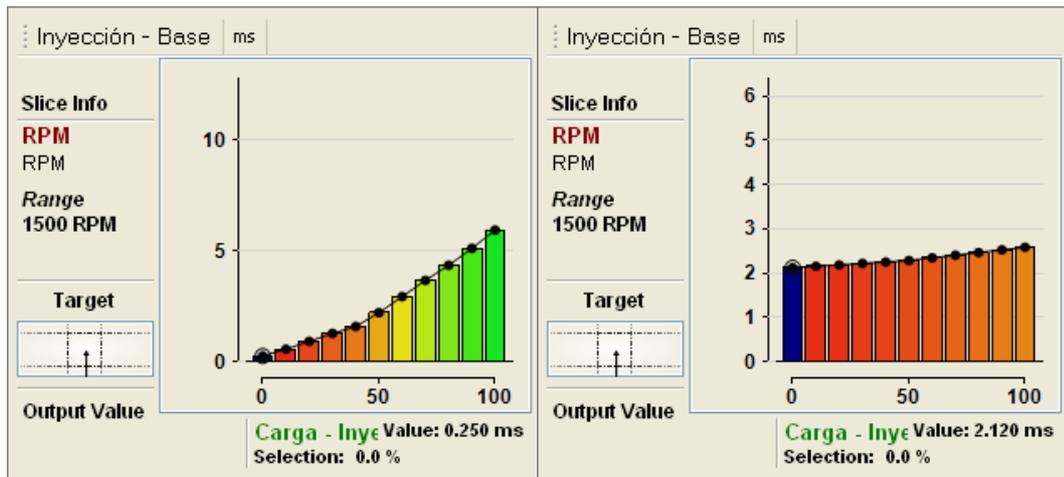


Figura 97: Comparación de curvas de inyección a baja velocidad.

Si se compara las curvas a una velocidad mayor, por ejemplo cerca de la velocidad de mayor torque a 10000 rpm, como la figura 98, la tendencia se mantuvo.

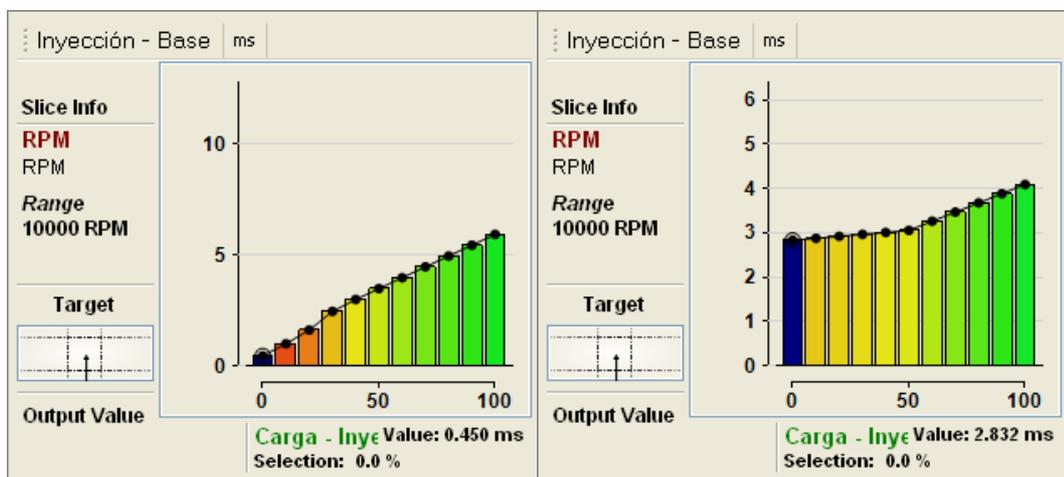


Figura 98: Comparación de curvas de inyección a alta velocidad.

El mapa de encendido también se creó de la misma manera. En la comparación de estos mapas, en la figura 99, se vio que el modificado sigue la misma estructura que el del fabricante.

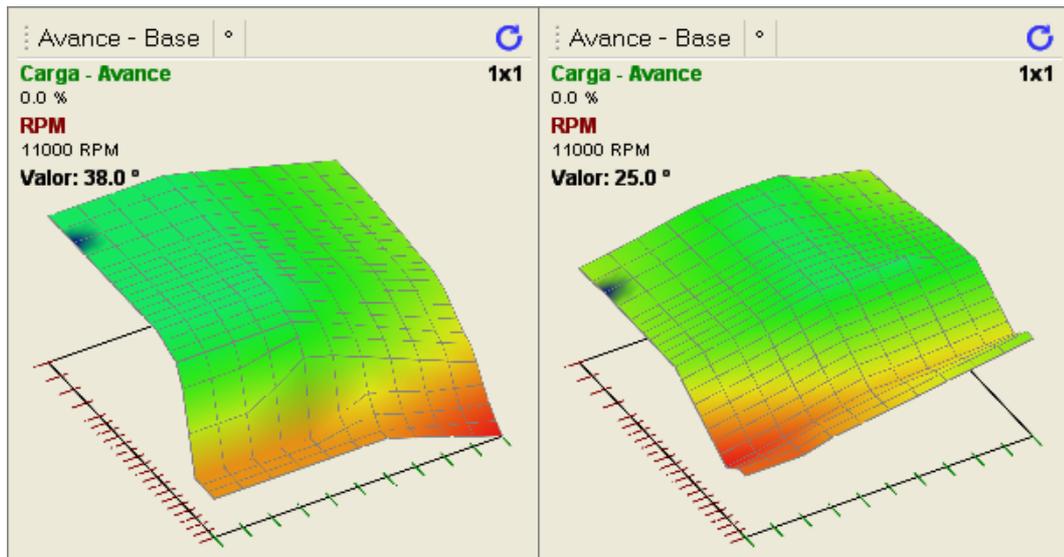


Figura 99: Comparación de mapas de encendido.

Sin embargo, en la comparación de las curvas de encendido a alta velocidad, mostradas en la figura 100, se vio que el mapa modificado procuró dar mayor adelanto en la zona central que en mantener un adelanto constante a baja carga.

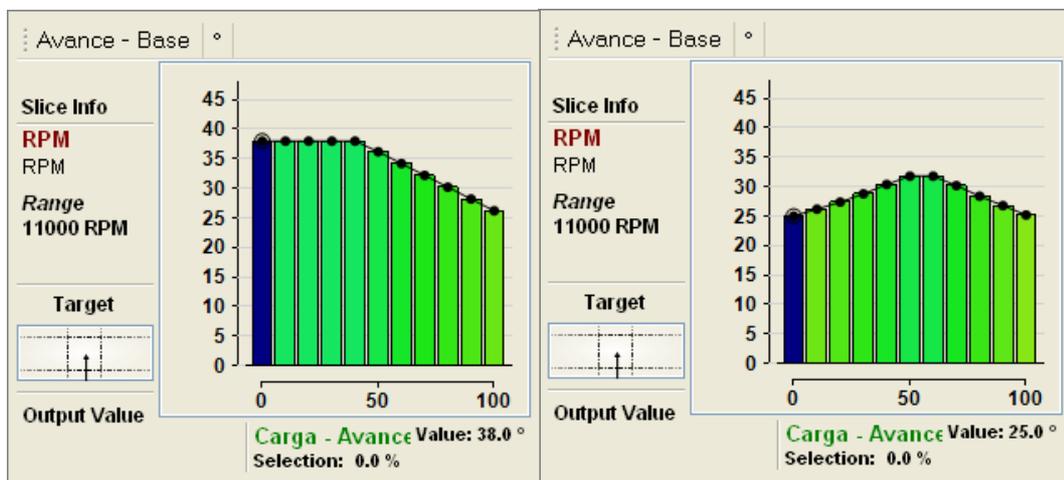


Figura 100: Comparación de curvas de encendido a alta velocidad.

Finalmente las correcciones de los mapas de base y los mapas de arranque en frío se realizaron de acuerdo a la respuesta del motor al realizar pruebas que permitieron obtener datos mediante Data Login.

CAPÍTULO IV

PRUEBAS Y CORRECCIONES

6.1 Encendido del motor.

6.1.1 Arranque en frío

El arranque en frío del motor con el nuevo controlador se probó por primera vez en la ciudad de Cuenca en horas de la tarde con una temperatura ambiental aproximada de 14°C, en la captura de pantalla de la figura 101 se muestra el funcionamiento del motor, que permaneció a una velocidad superior a los 1300 rpm de ralentí, y la lectura de los sensores.



Figura 101: Estado del motor en arranque en frío.

Para que el motor se encendiera fue necesario mantener ligeramente abierta la mariposa de aceleración durante el arranque, un 14% como se indica en el recuadro Cal-TPS, conservando esta posición durante unos minutos hasta que se estabilice, esto ocurre cuando el motor supera los 40°C que se muestra en el recuadro C-CTS con 44°C.

Si se realiza la aceleración brusca e inmediatamente se suelta el pedal el motor se apaga, y esto se repetía hasta que el motor superaba una temperatura de 60°C, a partir de este punto se podía acelerar sin problemas y desacelerar sin problemas. La corrección de este inconveniente se explica más adelante.

6.1.2 Tablas de corrección de arranque en frío

La tabla de corrección de arranque en frío permite hacer el ingreso de una mayor cantidad de combustible en cada inyección, es similar al 'choke' de los antiguos vehículos a carburador, pero totalmente automático y controlado electrónicamente.

Esta tabla hace un incremento porcentual del tiempo de inyección determinado por la temperatura del refrigerante del motor y la carga del acelerador en porcentaje, por lo cual actúa en todo el rango de revoluciones, La tabla 11 muestra los valores para la corrección que trae la computadora previamente guardada en su memoria, en un rango de 0 a 110°C,:

Tabla 11:
Valores de corrección de inyección por temperatura.

°C/%	0	100
110	10	10
100	0	0
80	0	0
60	11	9
40	23	19
20	36	30
0	44	38
-20	49	42

En la figura 102 se observa como está en el software de Haltech:

Fuel - Cool Temp Corr		%	
		Load - Fuel %	
		0.0	100.0
CTS			
°C	110	10	10
	100	0	0
	80	0	0
Target	60	11	9
	40	23	19
	20	36	30
	0	44	38
	-20	49	42

Figura 102: Datos de corrección de temperatura

Al igual que las tablas de inyección y encendido los valores más altos se muestran con color más frío, mientras los más bajos se muestran en color más cálido. Estos valores fueron muy elevados para la corrección, puesto que si el motor se apagaba repentinamente y no había llegado a calentarse, no podía volver a prenderse porque estaba ahogado, con las bujías mojadas y un claro olor a combustible saliendo por la admisión y el escape. Los nuevos porcentajes de enriquecimiento se muestran en la tabla 12:

Tabla 12:

Valores de corrección de temperatura modificados.

°C/%	0	100
110	10	10
100	2	2
80	2	2
60	9	7
40	18	14
20	23	17
0	30	24
-20	34	27

Estos cambios consideran la disminución de más del 30% a bajas temperaturas, y un incremento a altas temperaturas para que favorezcan la

refrigeración. Luego de esta modificación el motor ya no tuvo inconvenientes en volver a arrancar si llegaba a apagarse estando a bajas temperaturas.

6.2 Ralentí

Como se ve en la figura 4.1, el motor no se estabiliza a la velocidad de ralentí por su cuenta, requiere de la apertura del acelerador, lo que ocasiona que la velocidad permanezca más alta de lo establecido en las características del motor y disminuya bruscamente o se apague de una vez que se cierra totalmente la mariposa. Sin embargo este problema desaparece cuando el motor alcanza una temperatura superior a los 60°C.

6.2.1 Corrección de mapas para ralentí estable

Para alcanzar un ralentí estable fue más conveniente hacer modificaciones al mapa de encendido y solo en la zona cercana a esta velocidad. Los valores de adelanto recibieron incrementos de dos grados más en las celdas que se encontraban a menos de 1500 rpm, a esa velocidad se dejó el valor que se escribió en la primera tabla, mientras que en las celdas con velocidades mayores se le disminuyó en un grado.

Se obtuvo un ralentí mucho más estable, pero sigue teniendo variaciones de un valor aproximado de 500 rpm, cuando el manual indica que debería ser máximo 100 rpm.

6.3 Aceleración

6.3.1 Aceleración en vacío

En esta prueba no fue necesario hacer ninguna modificación a los mapas de inyección de combustible o avance, el motor respondió muy bien y de forma inmediata a los cambios provocados por el pedal tanto a baja como a

alta temperatura, el único inconveniente ocurría al soltar totalmente el acelerador, debido a que en ocasiones el motor reducía la velocidad por debajo de la velocidad de ralentí e incluso llegaba a apagarse momentáneamente hasta que se abriera de nuevo la mariposa.

6.3.2 Corrección de mapas para aceleración en vacío

No se realizó ninguna corrección para la aceleración en vacío.

6.3.3 Aceleración con carga

En esta prueba fue necesario utilizar el Data Loggin para determinar bajo que condiciones de velocidad y carga ocurrían los cambios de marcha que son los momentos en que el vehículo desacelera y necesita hacer una recuperación rápida de la velocidad, de tal forma que no llegue a detenerse totalmente.

6.3.4 Corrección de mapas para aceleración con carga

Después de haber hecho la prueba de conducción con diferentes pilotos, se llegó a la conclusión de que no existe una velocidad o carga en común en la cual se realice los cambios de marcha, dependen enteramente de los hábitos de conducción de cada uno y su capacidad de controlar el vehículo, por lo tanto tampoco se hicieron cambios para al mapa.

6.4 Desaceleración

6.4.1 Desaceleración total del vehículo.

Al momento de liberar el pedal del acelerador se determinó que el motor no tenía una respuesta uniforme, en ocasiones disminuía inmediatamente su velocidad y en otras se quedaba acelerado por unos segundos, esto

generalmente ocurría durante los primeros minutos de encendido hasta que la temperatura del refrigerante del motor superara los 60°C y cuando se alcanzaba una velocidad superior a las 6000 rpm. Sin embargo en ambos casos el motor no se quedaba encendido al final de la desaceleración.

6.4.2 Corrección de mapas en desaceleración

Para corregir la respuesta lenta a la desaceleración se disminuyó gradualmente el adelanto en las zonas que se superaba las 6000 rpm y existía baja carga, también se disminuyó ligeramente el tiempo de inyección. Para evitar que el motor se apagara totalmente al final de la desaceleración se aumentó 2° más a los valores de adelanto que están por debajo del ralentí en carga baja.

Como resultado se obtuvo una respuesta más uniforme, incluso antes de alcanzar la temperatura de 60°C y se evitó que el motor se apagara al soltar totalmente el pedal, como se muestra en la figura 103, que es una captura de Data Logging:

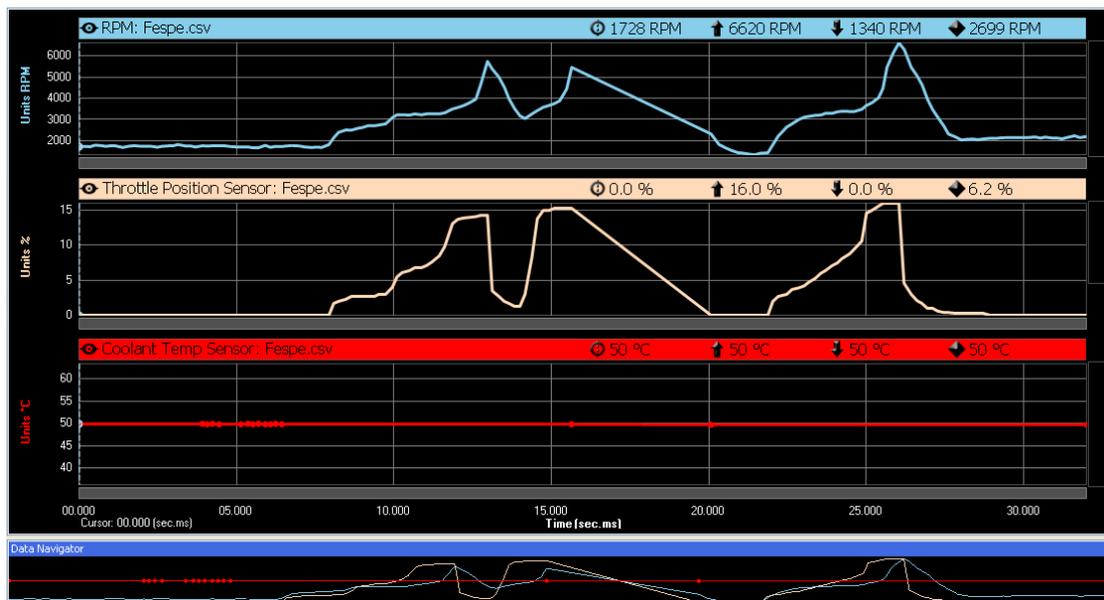


Figura 103: Respuesta del motor a la desaceleración.

En color celeste se muestra la velocidad, en crema la carga y en rojo la temperatura del refrigerante. Se puede apreciar que la respuesta de desaceleración tiene un retardo de casi solo 1 segundo, tomando en cuenta que la escala es de 5 segundos, además de que la temperatura se mantuvo casi constante durante ese tiempo a 50°C.

6.5 Torque y potencia

Para determinar el torque y la potencia que desarrolla el motor se realizó una prueba en un dinamómetro de chasis. El método de medición se denomina inercial, porque compara la potencia que desarrolla el vehículo funcionando en marcha directa con la potencia disipada al girar libremente.

6.5.1 Prueba de torque y potencia.

Para realizar esta prueba se debe tomar en cuenta algunas normas de seguridad para evitar daño colateral, tanto a quienes realizan la prueba como al vehículo y los equipos utilizados. El dinamómetro es de rodillos empotrado en el suelo, el vehículo debe anclarse a los puntos de seguridad que están cercanos al dispositivo, las ruedas motrices deben ajustarse a los rodillos de tal forma que el movimiento no provoque vibraciones. Finalmente hay que mantenerse lejos de cualquier parte móvil para evitar lesiones. La figura 104 muestra la disposición del vehículo en el dinamómetro:



Figura 104: Vehículo asegurado para prueba de potencia.

Se señaló con rojo la posición segura de los neumáticos en el dinamómetro y en verde los puntos seguros de anclaje.

El software que utiliza el banco dinamométrico se denomina Dynorace y se muestra en la figura 105:



Figura 105: Software de control de dinamómetro.
Fuente: Hinojosa, 2014

El procedimiento de esta prueba se realizó siguiendo el método inercial descrito brevemente al inicio de este subtema. Primero se simuló la conducción del vehículo como si se manejara normalmente, haciendo el cambio de marchas hasta llegar a directa que en el motor Honda CBR 600 F4i es la quinta, de esta forma se obtendría la potencia directa que entrega el motor a las ruedas. Una vez que la relación de transmisión fuera uno a uno se aceleraba hasta las 10000 rpm, en ese punto se esperaba unos instantes y se aplicaba el freno neumático del dinamómetro, en ese momento se soltaba el acelerador al tiempo que se presionaba el embrague a fondo para que las ruedas quedaran libres y hasta que se de tengan por si solas.

En la primera prueba que se realizó, el controlador fue cargado con el mapa de combustible creado en el capítulo 3, pero con un mapa de avance que había sido disminuido en las regiones de alta carga al menos 6° con la finalidad de evitar que el vehículo se saliera de control, sin embargo con esta modificación no se obtuvo el desarrollo esperado, ni siquiera se pudo conseguir que el motor alcance la velocidad de máxima potencia y torque,

dando como resultado una medición de una potencia muy pobre, que incluso permitía observar que el vehículo tenía problemas para acelerar aún sin carga.

La segunda prueba que se realizó fue con los dos mapas, inyección y encendido, que se elaboraron en el capítulo 3. En este caso la respuesta del motor fue muy diferente, ya que se alcanzó fácilmente la velocidad de máxima potencia y máximo torque, obteniendo valores muy superiores a los de la primera prueba. En la figura 106 se muestra los resultados obtenidos.

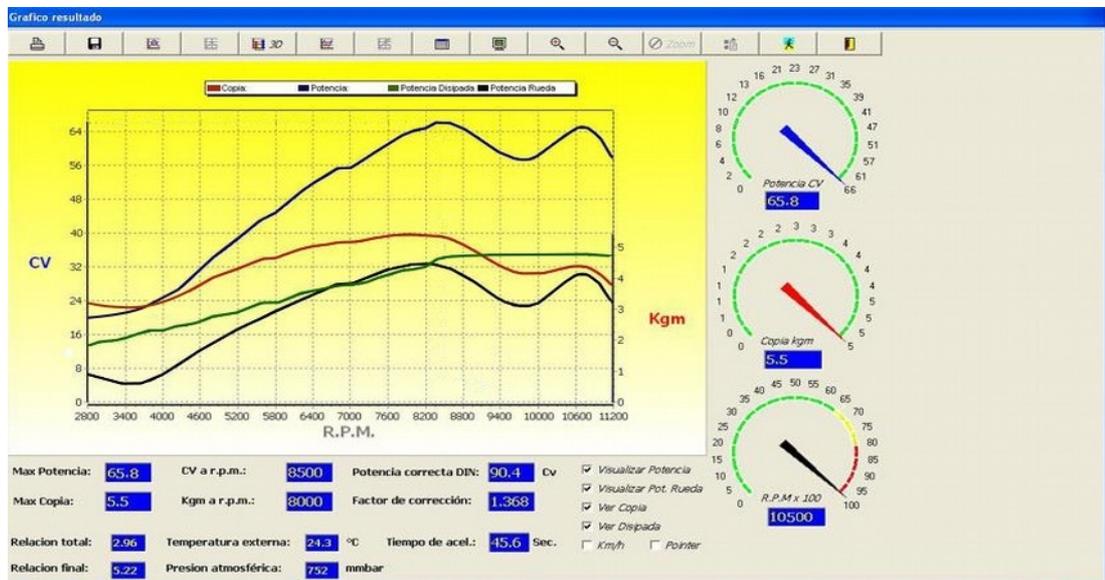


Figura 106: Resultado de prueba en el dinamómetro

La potencia máxima alcanzó los 65.8 CV a las 8500 rpm, lo que es aproximadamente 64.874 HP con un torque máximo de 5.5 Kg-m a las 8000 revoluciones. En la tabla 13 se muestra el resumen de la figura:

Tabla 13:

Resumen de la segunda prueba en dinamómetro

DESCRIPCIÓN	VALOR
Potencia máxima	65.8 CV @ 8500 rpm
Torque máximo	5.5 Kg-m @ 8000 rpm
Velocidad máxima	10500 rpm

Este resultado es comparado con el obtenido por el equipo UB Formula Team de la Universidad de Buffalo que se mostró en el capítulo 3, en el que

se muestra las curvas de potencia del motor una vez que ha sido montado en un vehículo tipo Formula, como se muestra en la figura 107

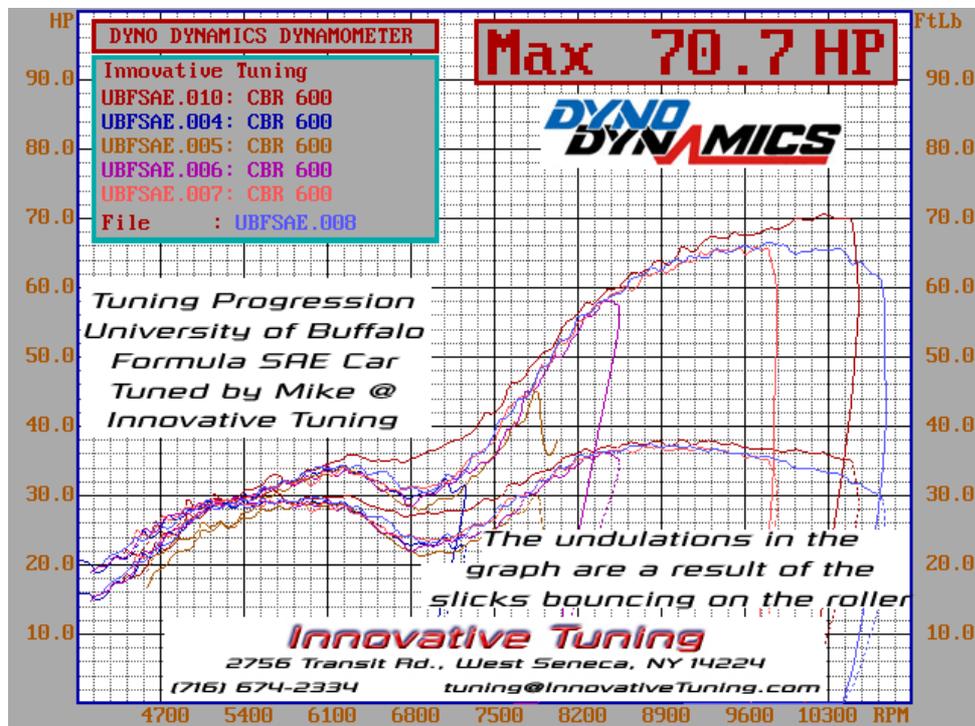


Figura 107: Prueba de potencia de UB Formula Team.
Fuente: (UB Formula Team, 2005)

En la primera prueba sin modificaciones se obtuvo una potencia máxima de 58 HP a las 8500 rpm, luego de varias modificaciones el equipo mejoró el resultado elevando la potencia hasta 70.7 HP a las 10300 rpm. En la tabla 14 se estos valores:

Tabla 14:
Prueba de potencia de UB Formula Team

PRUEBA	POTENCIA	VELOCIDAD
UBFSAE006	58 HP	8500 rpm
UBFSAE010	70.2 HP	10300 rpm
UBFSAE010	60 HP	8500 rpm

En la figura 108 se puede ver las 3 curvas de potencia superpuestas:

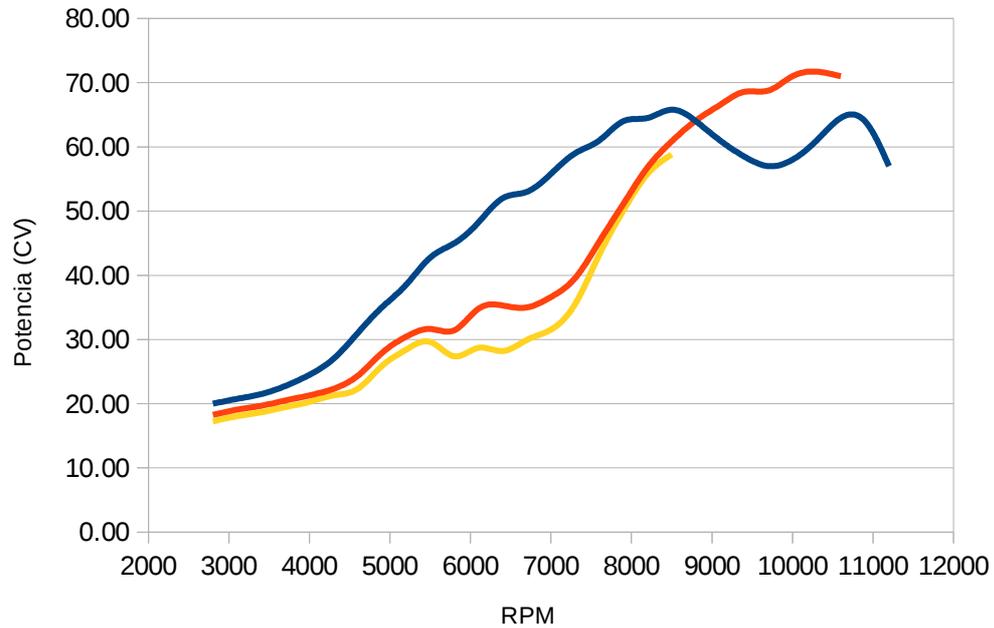


Figura 108: Comparación de curvas de potencia

En color azul se muestra la curva del vehículo Colibrí, en amarillo la prueba sin reprogramación del UB Team y en naranja la prueba del motor reprogramado. La principal diferencia entre las curvas de potencia obtenidas es que el vehículo Colibrí tiene un desarrollo más elevado hasta antes de alcanzar su máxima potencia, superando a ambas pruebas del UB Team a las 8500 rpm, pero la prueba reprogramada del UB Team empieza a superar al vehículo FESPE a mayores revoluciones.

Al comparar estos valores con el obtenido de la prueba de potencia en el banco dinamométrico del vehículo Fespe 2014 se ve que se obtiene una mejora de 6.87 HP con respecto a la primera prueba, y de 4.87 HP con respecto a la segunda a la misma velocidad. La gráfica 109 muestra la diferencia de resultados de los valores de potencia.

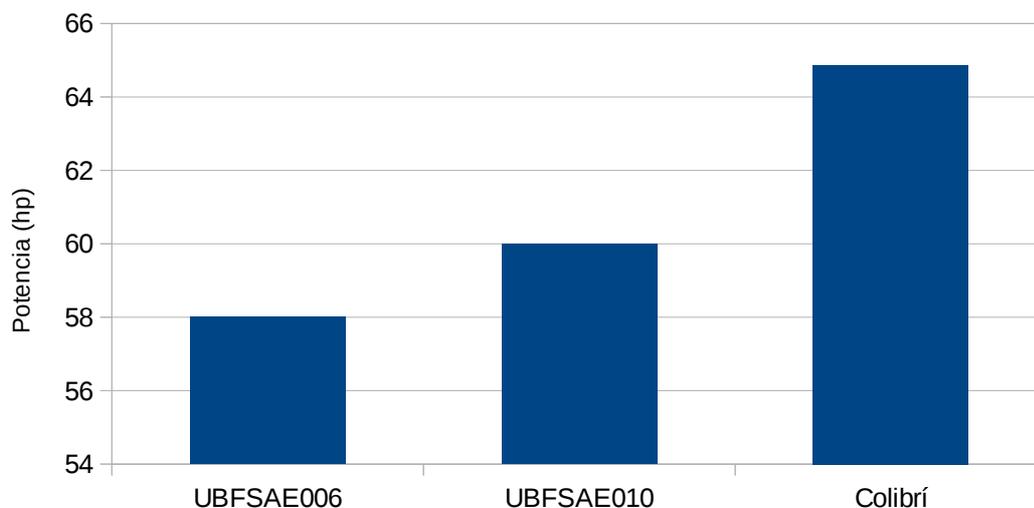


Figura 109: Comparación de potencia a 8500 rpm.

Esta gráfica representa que el vehículo 'Colibrí' obtuvo una mejora 10.6% con respecto al primer caso cuando el controlador no ha sido modificado, y de 7.5 % en el segundo con el motor ya reprogramado, cuando gira a 8500 rpm.

En el caso del torque, el vehículo FESPE tiene un torque superior a las dos pruebas del UB Team en todos los rangos de velocidad, como se ve en la gráfica comparativa 110:

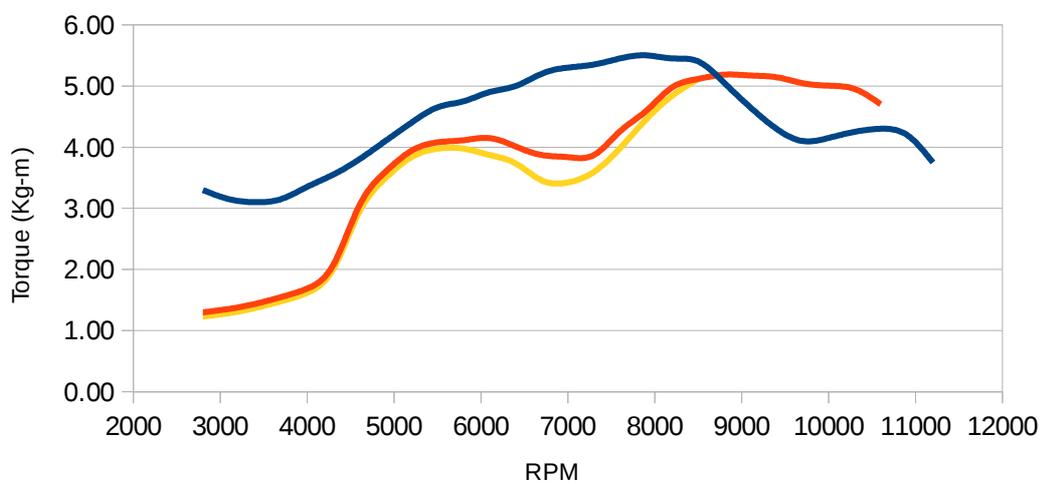


Figura 110: Comparación de curvas de torque.

Los colores utilizados son los mismos de la gráfica comparativa de potencia.

En la primera prueba de potencia del UB Team el torque máximo fue de 4.97 Kg-m, mientras que en su segunda prueba fue de 5.25 Kg-m. El vehículo Colibrí desarrollo un torque máximo de 5.5 Kg-m. La diferencia de estos resultados se muestra en la figura 111:

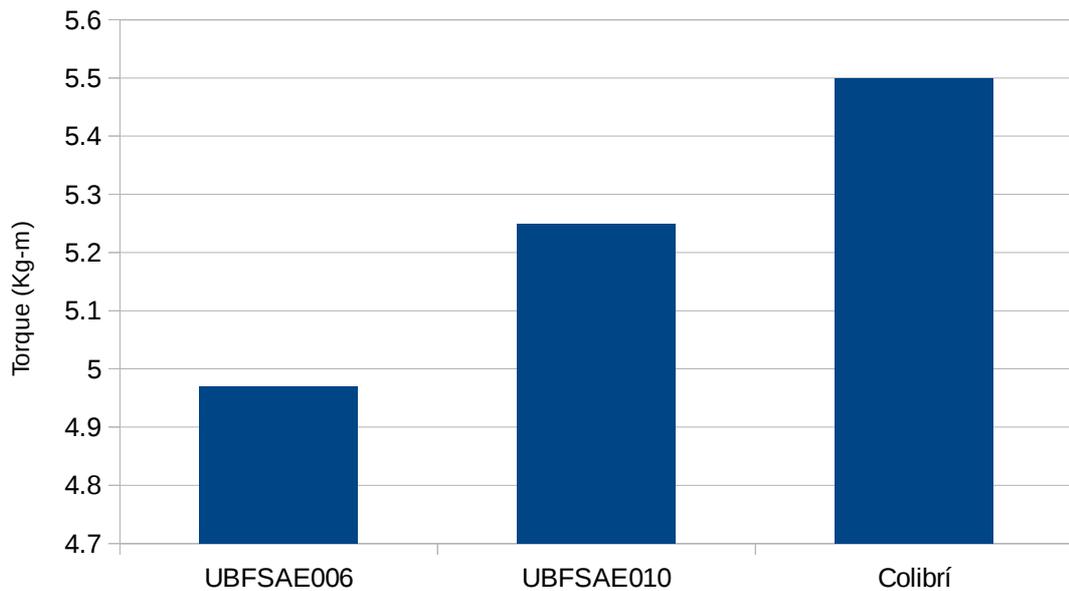


Figura 111: Comparación de torque.

En este caso la principal observación es que el motor del vehículo FESPE inicia con un par mucho más elevado que el del UB Team en ambos casos, pero de la misma forma que la potencia, decae una vez que se ha superado la velocidad de máximo torque.

CAPÍTULO V

MARCO ADMINISTRATIVO

6.1 Recursos

Dentro de los recursos que fueron necesarios para el desarrollo del tema de investigación REPROGRAMACIÓN ELECTRÓNICA DEL CONTROL DE INYECCIÓN Y ENCENDIDO DEL MOTOR CBR 600 F4i, PARA EL VEHÍCULO FORMULA STUDENT, se debe reconocer aquellos que son fundamentales para su culminación, es decir recursos humanos, tecnológicos y materiales.

6.1.1 Recursos humanos

Para realizar el presente proyecto se contó con la participación de personas capacitadas en las áreas de mecánica automotriz y electrónica, de tal forma que se cubra todas las áreas de investigación. La tabla 15 resume el recurso humano con que se contó.

Tabla 15:
Recurso humano del proyecto.

No.	Nombre	Detalle
1	Daniel Tinizaray	Investigador
2	Ing. Germán Erazo	Director
3	Ing. Wilson Trávez	Codirector

La culminación del proyecto se alcanzó con la participación del señor Daniel Gonzalo Tinizaray Romero que desarrolló la investigación científica en conjunto con la manipulación de los equipos utilizados, bajo la supervisión y guía de los señores ingenieros Germán Erazo y Wilson Trávez, quienes contribuyeron en gran medida para alcanzar los objetivos planteados al inicio del proyecto.

6.1.2 Recursos tecnológicos

El desarrollo de la investigación conllevó el uso de herramientas tecnológicas, como es la ECU reprogramable Haltech Platinum Sport 1000 con el software EcuManager, que permitieron realizar la reprogramación de manera rápida al mismo tiempo que se obtenían los datos del funcionamiento y los resultados del proceso a través del uso de otras herramientas especializadas, como es el banco dinamométrico de chasis de la Universidad Internacional de Quito y los instrumentos de medición del taller de Autotrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE de Latacunga.

En la tabla 16 se resumen los recursos tecnológicos utilizados en la investigación.

Tabla 16:
Recursos tecnológicos utilizados.

No.	Recursos
1	Computadora reprogramable
2	Computadora portátil
3	Software de reprogramación y adquisición de datos
4	Banco dinamométrico
5	Multímetro
6	Osciloscopio

6.1.3 Recursos materiales

Los recursos materiales que se utilizaron son aquellos que formaron parte del montaje de la interfaz junto con las herramientas necesarias para hacerlo y los elementos necesarios para establecer la conexión con la laptop para manipular el programa de la ECU.

En la tabla 17 se enumeran aquellos más relevantes.

Tabla 17:
Recursos materiales empleados.

No.	Elemento
1	Cable flexible de cobre #14
2	Tornillos
3	Pinza pelacables
4	Cortafríos
5	Alicate
6	Estaño
7	.Cautín
8	Cinta aislante
9	Relés
10	Fusibles
11	Cable USB de impresora
12	Batería 12V

6.2 Presupuesto y financiamiento

El presupuesto para la ejecución del proyecto y las pruebas del mismo se detalla en la tabla 18.

Tabla 18:
Presupuesto para el equipo de reprogramación y pruebas.

No.	Componente	Descripción	Cantidad	Valor
1	Ecu reprogramable	Haltech Platinum Sport 1000	1	\$1950
2	Arnés largo	6 pies con caja de fusibles	1	\$600
3	Aceite de motor	10w30	1 G.	\$32
4	Gasolina	Super	20 G	\$40
5	Prueba de potencia	Banco dinamométrico	2	\$30
TOTAL				\$2652

El costo total del proyecto es de \$2652.00, cuyo financiamiento se realizó por parte del señor estudiante Daniel Tinizaray.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- La reprogramación del control electrónico de inyección y encendido del motor CBR 600 F4i del vehículo Formula Student que se desarrollo, permitió obtener un funcionamiento adecuado del vehículo, cumpliendo con las normas establecidas en la competencia.
- Los componentes seleccionados para la reprogramación del control de inyección y encendido del motor Honda CBR 600 F4i, como son la ECU Haltech Platinum Sport 1000 y la bobina de encendido de chispa perdida del vehículo Chevrolet Corsa, permitieron hacer modificaciones del tiempo de inyección y el avance al encendido en un rango muy amplio de velocidad desde 1500 rpm hasta 13000 rpm y carga del acelerador con un funcionamiento estable en ralentí y controlado durante la aceleración.
- Se investigó fuentes bibliográficas y de internet que permitieron comprender las modificaciones que se debían hacer a los mapas de inyección y de encendido, así como los valores de tiempo de inyección que debían variarse.
- Las mediciones de los sensores y actuadores del motor antes de la reprogramación con observaciones realizadas a su funcionamiento permitieron determinar de forma general el comportamiento esperado del motor.
- La interfaz de la nueva computadora del vehículo fue de fácil entendimiento, permitiendo un manejo intuitivo del controlador mediante el uso de medidores digitales, mapas tridimensionales y tablas de corrección que son sencillas de interpretar.

- Los cálculos desarrollados del tiempo de inyección a partir de la teoría investigada permitieron obtener la mejor configuración del mapa de inyección para el funcionamiento del motor durante las pruebas de aceleración y conducción del vehículo.
- Se alcanzó una potencia de 65.87 HP a 8500 rpm, con lo que se obtuvo un aumento de 10.6% de potencia (6.87 HP) con respecto a un motor Honda CBR 600 F4i sin reprogración y un aumento de 7.5% (4.87) en un motor igual funcionado a la misma velocidad reprogramado por la Universidad de Buffalo para un vehículo de competencia tipo Formula, por lo que si se obtiene una mejora.
- Se desarrollaron varias configuraciones del controlador que permitieron evidenciar como influían los cambios realizados a los mapas de inyección, encendido, tablas de corrección de temperatura, tablas de sensores para conseguir un funcionamiento estable en ralentí y carga en conjunto con una aceleración suave.

6.2 RECOMENDACIONES

- Hacer pruebas de consumo y contaminación que puedan llevar al desarrollo de mejores configuraciones del controlador, sin dejar de lado los parámetros de torque y potencia.
- La adición de otros sistemas que permitan a la computadora disponer de un mayor número de datos que mejoren el funcionamiento del motor, como un sensor de oxígeno, pueden ayudar para realizar calibraciones más finas.
- Investigar acerca de sistemas de seguridad pasiva que permitan preservar la integridad de los equipos que se utilizan para la reprogramación, de manera especial la ECU, a fin de evitar contratiempos que puedan implicar un gasto adicional de tiempo y dinero.
- Se debe tener especial cuidado al momento de realizar trabajos en el vehículo que implique el uso de electricidad ya que pueden provocar daños en el controlador, desde desconfigurarlo incluso hasta quemarlo.

BIBLIOGRAFÍA

Augeri, F. (2006). "Curso de potenciación". Buenos Aires - Argentina: Cise

Banish, G. (2007). "Engine Management: Advanced Tuning". England: CarTech, Inc.

Banish, G. (2009). "Designing and Tuning High-Performance Fuel Injection Systems ". England: CarTech, Inc.

Guillieri, S. (2002). "Preparación De Motores De Serie Para Competición". Barcelona: CEAC.

Hartman, J. (2004). "How to Tune and Modify Engine Management Systems (Motorbooks Workshop)". Texas: Motorbooks.

Reglamento de la Fórmula SAE. (2014)

Walker, D. (2002). "Engine Management: Optimizing Modern Fuel and Ignition Systems (Haynes High-Performance Tuning Series)". England: Haynes Publishing.

Manuel, J. (2006) "Manual ECM2001 Version Francaise V1". Vercelli: Alientech.

Hinojosa, D. (2014) "Diseño y construcción del sistema de control de ingreso y salida de gases del motor Honda CBR 600 f4i para el prototipo Formula SAE 2014". Latacunga – Ecuador.

NETGRAFÍA

FERNÁNDEZ Samuel. (16 de septiembre de 2012). Eficiencia volumétrica. Obtenido de Piratamotor: <http://www.piratamotor.com/art%C3%ADculos-t%C3%A9cnicos/eficiencia-volumetrica.html> [Recuperado 12 de septiembre de 2014]

FERNÁNDEZ Samuel. (16 de septiembre de 2012). Ecendido y puesta a punto. Obtenido de Piratamotor: <http://www.piratamotor.com/megasquirt/ecendido-y-puesta-a-punto.html> [Recuperado 12 de septiembre de 2014]

E-auto. (12 de mayo de 2014). Avance de encendido. Obtenido de E-auto: http://e-auto.com.mx/manual_detalle.php?manual_id=247 [Recuperado 15 de septiembre de 2014]

RC Engineering, Inc. (15 de abril de 2014). Technical Notes. Obtenido de RC: <http://www.rceng.com/technical.aspx> [Recuperado 12 de mayo de 2014]

BARNHILL Brian. (28 de abril de 2014). Load control 101. Obtenido de Tunertools: <http://tunertools.com/articles/Load-Control-101.asp#Alpha-N> [Recuperado 12 de mayo de 2014]

HALTECH. (07 de mayo de 2012). VE Tuning. Obtenido de Haltech forum: <http://forums.haltech.com/viewtopic.php?f=23&t=9469> [Recuperado 23 de junio de 2014]

FSAE. (20 de agosto de 2004). Injectors and coils. Obtenido de FSAE forum: <http://www.fsae.com/forums/archive/index.php/t-7515.html?s=5ce42bd67e1ff12ad0ef134603742939> [Recuperado 12 de septiembre de 2014]

SNTUNING. (02 de junio de 2014). CMD Flashtec. Obtenido de: <http://www.sntuning.com/cmd-flashtec/> [Recuperado 12 de septiembre de 2014]

ANEXOS



ESPE

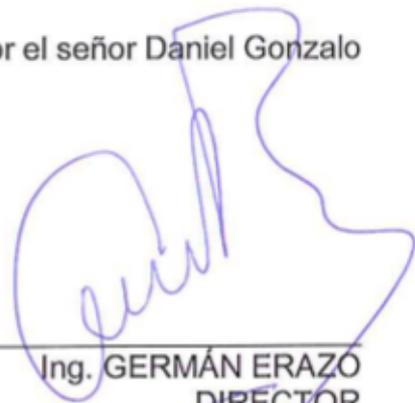
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

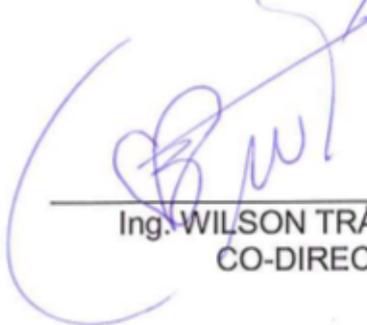
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICACIÓN

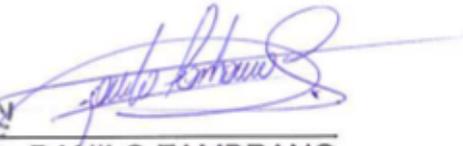
Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por el señor Daniel Gonzalo Tinizaray Romero, bajo mi supervisión



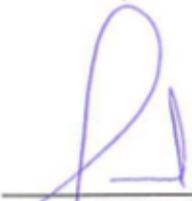
Ing. GERMÁN ERAZO
DIRECTOR



Ing. WILSON TRÁVEZ
CO-DIRECTOR



Ing. DANILO ZAMBRANO
DIRECTOR DE LA CARRERA



Dr. JUAN CARLOS DÍAZ
SECRETARÍO ACADÉMICO