

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ

**ELABORACIÓN DE MAQUETA DIDÁCTICA DEL
SISTEMA INYECCIÓN Y ENCENDIDO DEL MOTOR
GM 3800 CC DE UN VEHICULO PONTIAC**

TESIS PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO
AUTOMOTRIZ.

AUTOR:

Freddy Fernando Ortega Orellana.

DIRECTOR:

Ing. Paúl Narváez.

CUENCA, 8 DE FEBRERO DE 2013

DECLARACION.

Yo, Freddy Ortega Orellana, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que ha sido consultado en las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Universidad Politécnica Salesiana, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normatividad institucional vigente.



Freddy Fernando Ortega O.

CERTIFICACION.

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por el Sr. Freddy Fernando Ortega Orellana, bajo mi supervisión.



Ing. Paúl Narváz

AGRADECIMIENTOS.

Al finalizar este proyecto en el cual se han presentado dificultades y sobre todo se ha contado con el aporte de personas que han facilitado de una u otra manera poder concluir exitosamente quiero expresar mis más sinceros agradecimientos en este espacio.

Primeramente agradecimiento es para Dios quien permite que vivamos cada instante de nuestras vidas y podamos disfrutarlo, él ha hecho que todo se haya logrado con éxito.

Agradezco también al Ing. Paúl Narváez por su importante aporte en la elaboración de este proyecto en calidad de director de tesis.

A mi familia, mi esposa y mi hijo le agradezco por todo su apoyo brindado durante todo el tiempo.

A todas las personas que supieron apoyarme con herramientas, equipos, espacio de trabajo para la elaboración de la parte práctica del proyecto, les agradezco infinitamente por todo su apoyo.

A mis compañeros de trabajo quienes me supieron apoyar en todo momento para que se realice este proyecto.

A mis padres por su apoyo incondicional que siempre me han dado.

DEDICATORIA.

Este trabajo largo y arduo va dedicado a mi familia quienes han estado en todo momento apoyándome para realizar el proyecto, mi esposa y mi hijo, son el mayor tesoro que Dios me ha dado y son ellos los que inspiran mi vida, recuerdo a mi hijo diciéndome cada fin de semana “papi vamos al motor” quería estar siempre viendo como lo encendía, les dedico todo el logro adquirido con este proyecto.

A mis padres quienes han estado conmigo en todo momento también les dedico con todo corazón este proyecto.

INDICE.

DE CAPITULOS.

INDICE.	VI
CAPÍTULO 1.	1
1 Datos generales del funcionamiento y constitución del motor LG3 Buick V6 3800cc Pontiac en función de sus características de funcionalidad estándar.	1
1.1 Introducción.	1
1.2 Datos generales del motor Pontiac 3.8 L LG3 Buick V6	7
1.3 Parámetros generales del motor.	8
1.3.1 Relación de compresión.	8
1.3.2 Relación carrera diámetro.	10
1.3.3 Velocidad media del pistón.	10
1.3.4 Consumo específico de combustible (sfc).	11
1.3.5 Torque y potencia.	11
1.4 Características del sistema de inyección.	12
1.4.1 Tipo de sistema de inyección.	13
1.4.2 Componentes electrónicos y mecánicos de adquisición de información del sistema de inyección.	15
2 Verificación del estado mecánico electrónico actual del motor Pontiac.	21
2.1 Situación y mejoras.	24
2.2 Estado actual del sistema de inyección.	25
	VI

2.3	Ubicación general de sensores.....	25
2.3.1	Sensor de posición de la mariposa del acelerador.....	28
2.3.2	Sensor de flujo de aire en el colector de admisión (MAF).....	29
2.3.3	Sensor de temperatura del líquido refrigerante del motor (ECT).....	30
2.3.4	Motor de pasos (IAC).....	31
2.3.5	Bomba Eléctrica De Combustible.....	32
2.3.6	Inyector de combustible.....	32
2.3.7	Válvula reguladora de presión.....	33
2.3.8	Recirculación de gases del motor (EGR).....	33
CAPITULO 3.....		34
3	Reconstrucción del sistema mecánico, electrónico del motor Pontiac y control de los sistemas básicos de funcionamiento.....	34
3.1	Determinación del circuito eléctrico del sistema de inyección.....	34
3.2	Esquemas de conexión de los pines de la ECU.....	34
3.3	Colocación de los instrumentos electrónicos y mecánicos en el motor.....	37
CAPITULO 4.....		39
4	DISEÑO E IMPLEMENTACION DE LA MAQUETA DIDACTICA DEL SISTEMA DE INYECCION.....	39
4.1	Requerimientos generales de maquetas didácticas de motores de combustión interna.....	39
4.2	Elementos mínimos del sistema para la construcción de la maqueta del sistema de inyección.....	40
4.3	Análisis estructural.....	41
4.4	Sistemas principales.....	42

4.4.1	Sistema de alimentación.....	42
4.4.2	Consideraciones ambientales.	42
4.4.3	Consideraciones eléctricas.	42
4.5	Sistema de control y monitoreo.	43
4.5.1	Consideraciones de los elementos del sistema de monitoreo.....	44
4.5.2	Sistema anti fuego y de seguridad.....	45
4.6	Determinación de los procesos medibles.....	45
4.7	Manual de funcionamiento de la maqueta didáctica.....	50
	Conclusiones y recomendaciones.....	68
	BIBLIOGRAFIA.....	69
	ANEXOS.....	70

De Figuras.

Fig. 1.	Primera generación	2
Fig. 2.	Segunda generación	2
Fig. 3.	Tercera generación	3
Fig. 4.	Cuarta generación	3
Fig. 5.	Quinta Generación. Fuente: www.pontiac.com	4
Fig. 6.	Sexta generación. Fuente: www.pontiac.com	4
Fig. 7	Séptima generación. Fuente: www.pontiac.com	5
Fig. 8	Octava generación. Fuente: www.pontiac.com	5
Fig. 9	Novena generación. Fuente: www.pontiac.com	6
Fig. 10	Décima generación. Fuente: www.pontiac.com	6
Fig. 11	Modelo Pontiac, fuente autor.	7

Fig. 12. Resultados de medición de potencia indicada motor 3.8 LG3 Buick V6 Del vehículo Pontiac Bonneville, fuente: el autor	12
Fig. 13 Diagrama de orden de encendido: la inyección se da en el ciclo de admisión. Fuente: el Autor.....	14
Fig. 14. Formula de control de fracción parcial del sensor O2.	19
Fig. 15. Motor Pontiac 3800 V6, estado original de entrega. Fuente: el Autor.	21
Fig. 16 Estado del múltiple de admisión. Fuente: el Autor.	22
Fig. 17. Estado del bloque motor y del cabezote, examinados durante el desarmado. Fuente: el Autor.....	23
Fig. 18 Ubicación real del CKP y Modulo de inyección. Fuente: el autor.	25
Fig. 19. Ubicación de inyectores. Fuente: el autor.	26
Fig. 20 Ubicación de sensor MAF y sensor TPS. Fuente: el autor.	27
Fig. 21 Ubicación sensor de oxígeno. Fuente: el Autor.	27
Fig. 22 Ubicación de sensor IAT, actuador IAC. Fuente: el autor.	28
Fig. 23. Medición del TPS nuevo montado en el motor mediante un analizador analógico de sensores. Cable rojo positivo, negro negativo y amarillo señal. Fuente: el Autor. ...	29
Fig. 24. Sensor MAF, conectado al analizador analógico, el cual da como respuesta un pulso. Fuente: el Autor.	30
Fig. 25. Medición del funcionamiento de la ECT, aportando calor externo, y midiendo su respuesta analógicamente. Fuente: el Autor.	31
Fig. 26. Conector naranja 32 pines. Fuente: el Autor.....	34
Fig. 27. Conector negro 32 pines. Fuente: el Autor.	35
Fig. 28. Conector negro 24 pines. Fuente: el Autor.	37

Fig. 29. Dibujo de la estructura actual de la maqueta previo al análisis estructural en Inventor. Fuente: el Autor.	42
Fig. 30. Estimación del sistema de control del sistema de inyección. Fuente: El Autor.	51
Fig. 31. Sistema de Control real. Fuente: El autor.	51
Fig. 32 Conexión de puente para obtener código de falla. Fuente: el autor.	53
Fig. 33. Gráfica del inyector medido con CJ4 osciloscopio. Fuente: el Autor.	54
Fig. 34. Grafica de forma de onda de los inyectores 1 y 2, a 200ms, y ralentí. Fuente: El Autor.....	55
Fig. 35. Operación del MAF a ralentí. Fuente: El Autor.....	56
Fig. 36. MAF, señal en aceleración, la frecuencia aumenta, pero se mantiene los el voltaje máximo. Fuente: el autor.	56
Fig. 37. Medición del tiempo entre pulso de señal del sensor MAF. Fuente: el Autor... ..	57
Fig. 38. Señal del TPS, en un impulso escalón de aceleración. Fuente: El Autor.	58
Fig. 39. Señal del O2, desde el sensor (1) y desde el sistema de control (2). Se Observa mayor cantidad de ruido y un corte de señal inducido por un interruptor de control. Fuente: El Autor	58
Fig. 40. Señal del CKP (2) y del CMP (1) en la fase de control de posición pistón PMS como punto de referencia para el encendido e inyección. Fuente: El Autor.....	59
Fig. 41. Ckp e inyector 1 en aceleración. Fuente: El Autor.	60
Fig. 42. Ckp e inyector 1 en ralentí. Fuente: El Autor.	61
Fig. 43. Variación del ángulo de ignición vista desde la polea del cigüeñal. Fuente: El Autor.....	62
Fig. 44 Variación del TPS conectado al partidor de tensión con voltaje de referencia 5vdc. Fuente: El Autor.	63

Fig. 45. Variación de inyección y pulso del CMP. Fuente: El Autor.....	63
Fig. 46 Conexión de TPS a partidor de tensión con voltaje de referencia 5VDC del pin 6 conector naranja. Fuente: El Autor.....	64
Fig. 47. Variación del tiempo de inyección y el pulso de inyección a bajas rpm y altas rpm. Fuente: El Autor.....	65
Fig. 48 Conexión de ECT a partidor de tensión con voltaje de referencia 5VDC del pin 6 conector naranja. Fuente: El Autor.....	66
Fig. 49 Switch de accionamiento del ventilador independiente de su funcionamiento automático. Fuente: El Autor.	67
Fig. 50 Grafica de programa inventor, Factor de seguridad. Fuente: El autor	70
Fig. 51 Gráfica de programa inventor, deformación máxima. Fuente: El autor	70
Fig. 52 Gráfica de programa inventor, esfuerzo de Von Mises. Fuente: El autor.....	71

Resumen.

El presente trabajo de investigación tiene la finalidad de elaborar una maqueta didáctica del sistema de inyección y del sistema de encendido de un motor multipunto, V6, con el cual se pueda analizar las relaciones existentes entre los funcionamiento de control del módulo central ECU para el óptimo funcionamiento real.

Se inicia el estudio con las características generales del motor Pontiac 3800cc, una breve introducción histórica de los diferentes modelos existentes, hasta llegar a los datos específicos del modelo 1988, y del motor LG3 Buick V6.

Posteriormente se analiza características básicas de la configuración del motor, para conocer los parámetros generales de funcionamiento tales como velocidad media del pistón, relación de compresión, relación carrera diámetro, consumo específico de combustible, torque y potencia, mediante el análisis real del motor sobre banco de pruebas o dinamómetro.

En la sección 1.4 se realiza el estudio del sistema de inyección y su interrelación entre los diferentes parámetros, estableciendo tres parámetros principales de control:

- a. Control de cantidad de inyección.
- b. Control de adelanto del tiempo.
- c. Retroalimentación del sistema.

Y de los tipos de control a lazo abierto o cerrado de la ECU y las características de un sistema EEPROM.

En el capítulo dos se realiza la verificación del estado actual del motor V6 3800cc, concedido por la Universidad Politécnica Salesiana, para la realización de la maqueta, con la finalidad de determinar la funcionalidad real del motor. Sobre esto se determinó la existencia de elementos electrónicos y mecánicos de control del sistema de inyección faltante o defectuosa, tales como: la ECU, TPS, O2, radiador, ventilador, entre otros; y las pruebas básicas de cada sensor y actuador para conocer el estado de funcionamiento y sus parámetros generales de voltajes nominales de trabajo y resistencias.

En este proceso se tuvo que realizar un trabajo mecánico interno, debido a que por estar el motor sin funcionamiento durante un largo periodo de tiempo, se tenía el riesgo de una falla mecánica en los elementos móviles generadores del trabajo. Esto dio como resultado el cambio de elementos tales como las camisas secas del bloque, cambio de rines, limpieza de los ductos de admisión y escape, y empaquetadura para eliminar fugas del líquido lubricante, a más de la limpieza general de los elementos internos y calibración básicas de torque y distancias o juegos mecánicos.

En el tercer capítulo, se procedió a la reconstrucción del sistema de inyección, mediante la colocación de los diferentes sensores faltantes y la determinación de las líneas de conexión hacia la ECU, y la diagramación del circuito eléctrico básico de inyección e ignición.

En el capítulo cuatro, se realiza la elaboración de la maqueta, partiendo de las necesidades de seguridad, de control de monitoreo y sistemas básicos de funcionamiento. Se realizó además un análisis estático de cargas sobre la estructura original del motor dado por la Universidad, para establecer su resistencia estática constructiva.

Como el objetivo de la maqueta es la funcionalidad del sistema de inyección e ignición y los procesos de control, se generó una tabla de ponderación sobre la cual se analizó cuáles de los parámetros pueden ser analizados y generan una visualización del funcionamiento de control. En base de ello se eligieron 8 procesos que intervienen en los tres parámetros generales anteriormente indicados.

Para finalizar se realizó un manual general de las formas de ondas normales y las generadas al actual en el sistema de control o panel de control, con la finalidad de generar una base inicial para el estudio del comportamiento.

CAPÍTULO 1.

1 Datos generales del funcionamiento y constitución del motor LG3 Buick V6 3800cc Pontiac en función de sus características de funcionalidad estándar.

En este capítulo se hablará una breve historia de la marca Pontiac y luego se tratará de los aspectos que se han considerado importantes conocer del motor en el cual se elaborará este proyecto.

1.1 Introducción.

Pontiac se inició en el año 1926, como marca de General Motors, su enfoque estaba direccionado a autos deportivos con alto rendimiento a precio razonable, es una marca americana dirigida a los países de EEUU, Canadá y México, Pontiac existió hasta el año 2010.

El primer Pontiac fue producido con motor de seis cilindros y fue en donde empezó a ganar ventas en el mercado americano, fue inspirada en la serie animada el meteoro.

El modelo Bonneville fue introducido al mercado en el año 1957 y ha ido innovando en sus líneas aerodinámicas como en los demás sistemas del vehículo, este modelo fue producido hasta el año 2005.

Las características de cambio de los diferentes modelos del Pontiac, se pueden observar a continuación:

Primera generación



1958 Pontiac Bonneville coupe

Also called	Parisienne (Canada)
Model years	1958
Body style	2-door convertible 2-door coupe
Layout	FR layout
Engine	370CID Tempest 395 255hp 4-bbl V8 370CID Tempest 395 300 hp "Tri-Power" V8 370CID Tempest 395 Fuel-Injection 310 hp V8 ^[1]
Transmission	3-speed manual Super Hydra-Matic
Wheelbase	122 in (3,099 mm) ^[1]
Length	211.7 in (5,377 mm)
Width	77.4 in (1,966 mm) ^[1]

Fig. 1. Primera generación

Fuente: www.pontiac.com.

Segunda generación



1960 Pontiac Bonneville Safari

Also called	Parisienne (Canada)
Model years	1959–1960
Assembly	Pontiac, Michigan, United States Flint, Michigan, United States Ypsilanti, Michigan, United States Wentzville, Missouri, United States
Body style	2-door convertible 2-door coupe 4-door sedan 4-door station wagon
Layout	FR layout
Engine	389CID Tempest 420 300 hp V8 ^[1]
Transmission	3-speed manual; Super Hydra-Matic ^[3]
Wheelbase	124 in (3,150 mm) ^[1]
Length	220 in (5,588 mm)

Fig. 2. Segunda generación

Fuente: www.pontiac.com

Tercera generación



1962 Pontiac Bonneville convertible

Also called	Parisienne (Canada)
Model years	1961–1964
Assembly	Pontiac, Michigan, United States Flint, Michigan, United States Ypsilanti, Michigan, United States
Body style	2-door convertible 2-door coupe 4-door sedan 4-door station wagon
Layout	FR layout
Platform	B-body
Engine	389 cu in (6.4 L) V8 421 cu in (6.9 L) V8 400 cu in (6.6 L) V8
Transmission	3-speed manual; 4-speed manual; Hydra-Matic ^[5]
Wheelbase	123 in (3,124 mm) ^[6]
Length	218.6 in (5,552 mm)
Related	Buick LeSabre Chevrolet Impala Pontiac Catalina/Laurentian Chevrolet Bel Air

Fig. 3. Tercera generación

Fuente: www.pontiac.com

Cuarta generación



1965 Pontiac Bonneville convertible

Also called	Parisienne (Canada)
Model years	1965–1970
Assembly	Pontiac, Michigan, United States Flint, Michigan, United States Ypsilanti, Michigan, United States
Body style	2-door convertible 2-door coupe 4-door sedan 4-door station wagon
Layout	FR layout
Platform	B-body
Engine	389 cu in (6.4 L) V8 421 cu in (6.9 L) V8 400 cu in (6.6 L) V8 428 cu in (7.0 L) V8 455 cu in (7.5 L) V8
Related	Buick LeSabre Chevrolet Impala Pontiac Catalina/Laurentian Chevrolet Bel Air Chevrolet Caprice

Fig. 4. Cuarta generación

Fuente: www.pontiac.com

Quinta generación



1976 Pontiac Bonneville coupe

Also called	Parisienne (Canada)
Model years	1971–1976
Assembly	Pontiac, Michigan, United States Flint, Michigan, United States Ypsilanti, Michigan, United States
Body style	4-door hardtop 2-door coupe 4-door sedan
Layout	FR layout
Platform	B-body
Engine	455 cu in (7.5 L) V8 400 cu in (6.6 L) V8
Related	Buick LeSabre Chevrolet Impala Pontiac Catalina/Laurentian Chevrolet Bel Air Chevrolet Caprice Oldsmobile 88

Fig. 5. Quinta Generación. Fuente:

www.pontiac.com

Sexta generación



Also called	Parisienne (Canada)
Model years	1977–1981
Assembly	Ypsilanti, Michigan, United States
Body style	2-door coupe 4-door sedan 4-door station wagon
Layout	FR layout
Platform	B-body
Engine	231 cu in (3.8 L) Buick V6 265 cu in (4.3 L) Pontiac V8 301 cu in (4.9 L) Pontiac V8 350 cu in (5.7 L) Pontiac V8 350 cu in (5.7 L) Buick V8 350 cu in (5.7 L) Chevrolet V8 305 cu in (5.0 L) Chevrolet V8 350 cu in (5.7 L) Oldsmobile diesel V8 400 cu in (6.6 L) Pontiac V8 403 cu in (6.6 L) Oldsmobile V8
Wheelbase	116.145 in (2,950 mm)
Length	214 in (1979)
Width	76.4 in (1979) ^[8]
Related	Buick LeSabre Chevrolet Impala Pontiac Catalina/Laurentian Chevrolet Bel Air Chevrolet Caprice Oldsmobile 88

Fig. 6. Sexta generación. Fuente:

www.pontiac.com

Séptima generación



Model years	1982–1986
Assembly	Sainte-Thérèse, Quebec, Canada
Body style	4-door sedan 4-door station wagon
Layout	FR layout
Platform	G-body
Engine	3.8 L (231 cu in) Buick V6 5.0 L (305 cu in) Chevrolet V8 5.7 L (350 cu in) Oldsmobile diesel V8
Transmission	3-speed THM200 automatic 4-speed 200-4R automatic
Wheelbase	108.0 in (2,743 mm)
Length	214.3 in (5,443 mm) ^[9]
Related	Oldsmobile Cutlass Supreme Chevrolet Malibu Buick Regal

Fig. 7 Séptima generación. Fuente:

www.pontiac.com

Octava generación



Model years	1987–1991
Assembly	Ypsilanti, MI, United States 1987–1989 (early) Wentzville, MO, United States 1989 (late)–1991
Body style	4-door sedan
Layout	FF layout
Platform	H-body
Engine	3.8L LG3 Buick V6 Specifications [show] 3.8L LN3 3800 Buick V6 Specifications [show]
Transmission	4-speed THM440T4 automatic
Wheelbase	110.8 in (2,814 mm)
Length	198.7 in (5,047 mm) 1987–89 SE: 198.3 in (5,037 mm) 1990–91 SSE: 198.6 in (5,044 mm)
Width	1987–89: 72.4 in (1,839 mm) 1990–91: 72.1 in (1,831 mm)
Height	1987–89 LE & SE: 55.5 in (1,410 mm) 1987–89 SSE: 54.7 in (1,389 mm) 1990–91 LE & SE: 54.1 in (1,374 mm) 1990–91 SSE: 54.6 in (1,387 mm)
Curb weight	LE 3,325 lb (1,508 kg) SE 3,413 lb (1,548 kg) SSE 3,601 lb (1,633 kg)
Related	Buick LeSabre Oldsmobile Eighty-Eight

Fig. 8 Octava generación. Fuente:

www.pontiac.com

Novena generación



Model years	1992–1999
Assembly	Wentzville, MO, United States 1992–1993 Lake Orion, MI, United States 1994–1995 Flint, Michigan, United States 1996–1999
Body style	4-door sedan
Layout	FF layout
Platform	H-body
Engine	3.8L Series I L27 V6 Specifications [show] 3.8L Series I L67 V6 Specifications [show] 3.8L Series I L67 V6 Specifications [show] 3.8L Series II L36 V6 Specifications [show] 3.8L Series II L67 V6 Specifications [show]
Transmission	1992–97: 4-speed 4T60-E automatic 1992–96: 4-speed 4T60E-HD auto 1998–99: 4-speed 4T65-E automatic 1997–99: 4-speed 4T65E-HD automatic
Wheelbase	110.8 in (2,814 mm)
Length	1992–95 SE: 199.5 in (5,067 mm) 1992–95 SSE & 1992–93 SSEi: 201.1 in (5,108 mm) 1996–97 SE: 201.7 in (5,123 mm) 1996–99 SSE: 203.1 in (5,159 mm) 1998–99 SE: 202.0 in (5,131 mm)
Width	1992–97: 74.5 in (1,892 mm) 1998–99: 74.4 in (1,890 mm)
Height	55.7 in (1,415 mm) 1998–99 SSE: 56.0 in (1,422 mm)
Related	Buick LeSabre Oldsmobile 88 Oldsmobile LSS

Fig. 9 Novena generación. Fuente: www.pontiac.com

Décima generación



Model years	2000–2005
Assembly	Lake Orion, MI, United States 2000–2003 Hamtramck, MI, United States 2004–2005
Body style	4-door sedan
Layout	FF layout
Platform	H-body
Engine	3.8L Series II L36 V6 Specifications [show] 3.8L Series II L67 V6 Specifications [show] 4.6L Northstar LD8 V8 Specifications [show]
Transmission	4-speed 4T65-E automatic 4-speed 4T65E-HD automatic 4-speed 4T80-E automatic
Wheelbase	112.2 in (2,850 mm)
Length	2000–01 SE: 202.5 in (5,140 mm) 2000–01 SLE & SSEi: 203.2 in (5,160 mm) 2002–05: 202.6 in (5,150 mm)
Width	74.2 in (1,880 mm)
Height	2000–01 SE: 56.0 in (1,420 mm) 2000–01 SLE & SSEi: 56.4 in (1,430 mm) 2002–05: 56.6 in (1,440 mm)
Curb weight	3,596 lb (1,631 kg) (SE) 3,656 lb (1,658 kg) (SLE) 3,745 lb (1,699 kg) (SSEi)
Related	Oldsmobile Aurora Buick LeSabre

Fig. 10 Décima generación. Fuente: www.pontiac.com

1.2 Datos generales del motor Pontiac 3.8 L LG3 Buick V6



Fig. 11 Modelo Pontiac, fuente autor.

- Familia: GM Buick 90° V6
- RPO/VIN: LG3/3
- Desplazamiento: 3,791 cc (231 cu in)
- Carrera: 3.40 in (86 mm)
- Diámetro: 3.80 in (97 mm)
- Potencia: 150 hp (112 kW) @ 4400 RPM
- Torque: 210 lb·ft (285 N·m) @ 2200 RPM
- Tipo de combustible: Gasolina
- Sistema de inyección: SFI

- Configuración: 12V/OHV
- Relación de Compresión: 8.5:1
- Aspiración: Normal

1.3 Parámetros generales del motor.

Los parámetros de diseño de un motor determinan las características de funcionamiento básicas del mismo. La Relación de compresión, relación de carrera diámetro del pistón entre otras, determinan los resultados de la potencia, trabajo neto, eficiencia térmica, como ejemplo.

Dentro de estos parámetros nos enfocaremos en aquellos que nos permitirán determinar en forma aproximada, valores básicos de rendimiento, estabilidad y consumo del motor.

Los parámetros elegidos son:

- Relación de compresión.
- Relación carrera diámetro.
- Velocidad media del pistón.
- Consumo específico de combustible.
- Torque y potencia.

1.3.1 Relación de compresión.

La relación de compresión o razón de volúmenes del ciclo, es un valor que nos permite conocer, según el modelo de aire frío estándar, con la consideración de calores específicos constantes, la eficiencia de un motor, ya sea de ignición generada como de auto ignición. Su valor está definida por:

$$r_c = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} = \frac{V_u + V_{cc}}{V_{cc}}$$

V_{\max} = volúmen maximo del cilindro-camara

V_{\min} = volumen minimo del cilindro-camara

$$V_u = \text{volúmen unitario} = \text{Area} \times \text{carrera} = \frac{\pi D^2}{4} L$$

V_{cc} = volúmen de la camara de combustión.

por dato del motor tenemos $r_c=8.5$

Ecuación 1. Relación de compresión.¹

Para un motor cuyo ciclo de funcionamiento es isobárico/isocórico/adiabático, como es el ciclo otto, la relación de compresión define la eficiencia térmica mediante la ecuación.

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{r_c^{k-1}}$$

η_t = eficiencia termica

k = relacion de calores especificos (condiciones ideales 1.35)

Ecuación 2. Eficiencia termodinámica en función de la relación de compresión considerando modelo aire frio estándar y aire como fluido de trabajo.²

En función de los datos básicos del motor, los resultados obtenidos son los siguientes:

¹ PULKRABEK, Williard, *Engieniering Fundamentals of the Internal Combustion Engine*, 2003, volumen 2, p. 43.

² PULKRABEK, Williard, *Engieniering Fundamentals of the Internal Combustion Engine*, 2003, volumen 2, p. 49.

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{r_c^{k-1}} = 1 - \frac{1}{8.5^{1.35-1}} = 0.53$$

equivalente = 53%

1.3.2 Relación carrera diámetro.

Es la razón del diámetro para la carrera. Los valores usuales se encuentran entre 0.8 y

1.2. Utilizando la definición de la relación diámetro carrera con datos del motor Buick se obtiene:

$$R_{dc} = \frac{D}{S} = \frac{3.80in}{3.40in} = 1.11$$

donde

R_{dc} = Relación diámetro carrera

Ecuación 3. Relación carrera diámetro.³

1.3.3 Velocidad media del pistón.

La velocidad media del pistón es un parámetro de diseño y análisis que nos permite conocer, la velocidad a la cual el pistón puede trabajar en los regímenes de operación del motor. Una velocidad media elevada generaría un proceso de fatiga en el material de la biela, o de los cojinetes (hidrolubricación fallida) lo cual ocasionaría un efecto de destrucción en los componentes móviles del motor.

La velocidad media se calcula por medio de la ecuación:

³ PULKRABEK, Williard, *Engieniering Fundamentals of the Internal Combustion Engine*, 2003, volumen 2, p. 49.

$$\overline{U}_p = 2SN$$

donde

$$\overline{U}_p = \text{Velocidad media del pistón}$$

$S = \text{carrera}$

$N = \text{Revoluciones del motor}$

$$\overline{U}_p = 2 * 0.086m * 4400RPM * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}}$$

$$\overline{U}_p = 12.61 \frac{m}{s}$$

Ecuación 4. Velocidad media del pistón, característica básica en motores de combustión interna.⁴

En motores a gasolina el valor promedio se encuentra entre los 5 a 15 m/s.

1.3.4 Consumo específico de combustible (sfc).

El consumo específico de combustible es un variable que indica la cantidad mínima (y adecuada) para lograr el trabajo ideal del motor. Su valor es un promedio mas no así la cantidad real de combustible.

El valor medido en el vehículo de similares condiciones tenemos 12.61 l/100Km.

1.3.5 Torque y potencia.

El torque es un buen indicador de la habilidad del motor en convertir la energía en trabajo efectivo o indicado.

A continuación se muestra el grafico de torque y potencia obtenido en el banco dinamométrico de propiedad de la universidad politécnica salesiana medido a un

⁴ PULKRABEK, Williard, *Engieniering Fundamentals of the Internal Combustion Engine*, 2003, volumen 2, p. 35.

vehículo Pontiac Bonneville 1988 cuyo motor es idéntico al que se desarrolla este proyecto.

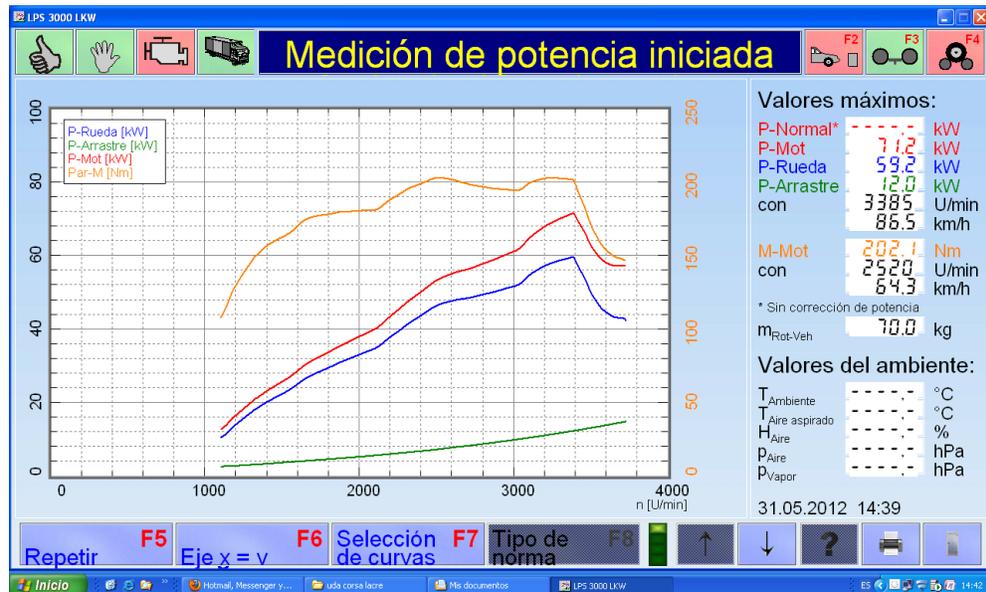


Fig. 12. Resultados de medición de potencia indicada motor 3.8 LG3 Buick V6 Del vehículo Pontiac Bonneville,

fuelle: el autor

1.4 Características del sistema de inyección.

El sistema de inyección electrónica de combustible como se conoce tiene la finalidad de lograr una potencia indicada o efectiva ideal para el consumo de combustible. Para ello posee elementos de control y de retroalimentación de información que en función de una programación estandarizada logra el aumento de potencia con la reducción del consumo de combustible. Para el modelo analizado, el consumo de combustible es una variable importante.

1.4.1 Tipo de sistema de inyección.

El sistema de inyección del motor 3.8 Buick V6, es un sistema SFI, inyección secuencial de combustible.

El sistema permite la inyección de combustible en función de los requerimientos independientes de cada cilindro, en función del orden de encendido (1-6-5-4-3-2) y los parámetros de flujo de aire, temperatura del motor, y la retroalimentación del Sensor de Oxígeno.

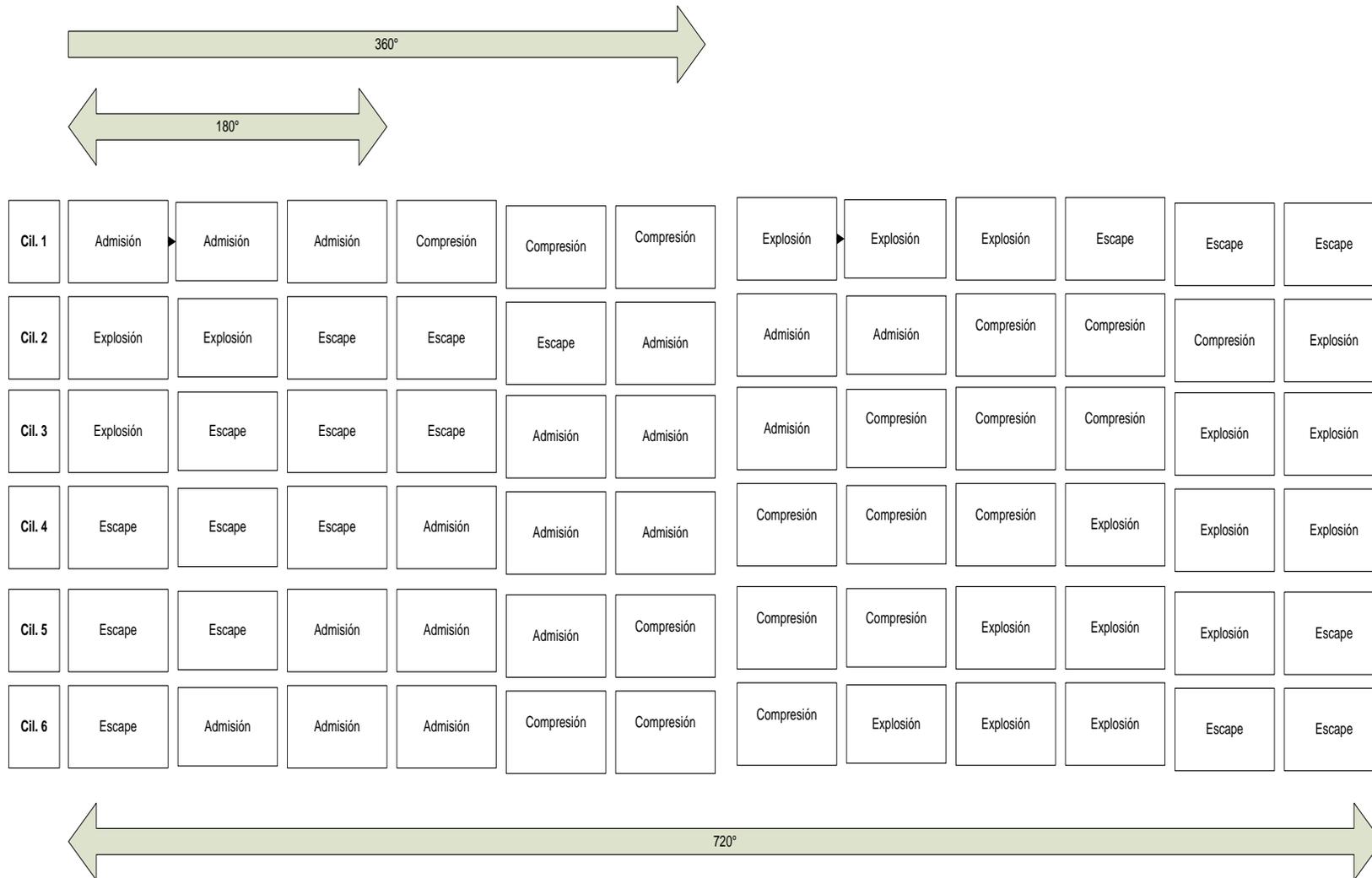


Fig. 13 Diagrama de orden de encendido: la inyección se da en el ciclo de admisión. Fuente: el Autor.

1.4.2 Componentes electrónicos y mecánicos de adquisición de información del sistema de inyección.

Dentro del sistema de adquisición de información para el funcionamiento del sistema de inyección y el cálculo de flujo de combustible por la ECU, en rangos de λ 0,9 < λ < 1.3, el sistema de inyección posee elementos de control de las emisiones del motor, carga de combustible, ángulo de ignición, todos analizados por el procesador central en función mapas configurados en su Eeprom, ram y rom.

El primer parámetro de control, es el de la inyección de combustible, que depende de parámetros de:

1. Flujo másico y/o volumétrico de aire aspirado en el tiempo (MAF, VAF).
2. Presión en el múltiple de admisión (MAP).
3. Angulo de carga (mariposa de aceleración) (TPS, APS).
4. Revoluciones del motor (CKP).
5. Angulo del cigüeñal y referencia del PMS (CKP, CMP).
6. Temperatura del motor (ECT).
7. Temperatura del aire (IAT).
8. Voltaje de la batería.

Estos valores medidos (por medio de sensores) tienen las funciones del control de:

- a. Control de la inyección por unidad de tiempo, determinado por la cantidad de aire aspirada por unidad de tiempo dependiendo de la relación aire combustible.
- b. Enriquecimiento de la mezcla en la fase de calentamiento del motor.

- c. Incremento del aire adicional o incremento adicional de combustible dependiendo de la temperatura de motor o de la fricción interna.
- d. Compensación del flujo dinámico en el múltiple de admisión.
- e. Compensación del flujo dinámico en la riel de combustible, dependiente de la temperatura.
- f. Control del consumo de combustible.
- g. Corrección de la medición del aire ambiental en función de su temperatura, presión barométrica y sus cambios.
- h. Control de revoluciones de ralentí.
- i. Límite de revoluciones del motor con corte de combustible.
- j. Control de la relación aire combustible.
- k. Recirculación de gases.

El control del ángulo de ignición, o inicio de ignición del combustible, dentro del proceso de funcionamiento del motor es de suma importancia, debido al impacto del consumo y emanaciones de combustible. En la combustión se presentan dos tiempos definidos y controlados:

- a. Inicio de inflamación, en donde la presión y temperatura en el interior del cilindro no es considerada, y depende de la presión temperatura y relación aire combustible externos, y es una equivalencia en el ángulo del cigüeñal con un incremento proporcional a las rpm de motor.
- b. Combustión, proceso en el cual la mezcla encendida se quema por completo y genera un momento y una aceleración sobre el pistón.

Los parámetros que son usados para el control del ángulo de ignición son:

- a. La presión del múltiple de admisión.
- b. La masa de aire de ingreso.
- c. El ángulo de abertura de la mariposa de aceleración.
- d. La relación aire combustible.
- e. Las señales de referencia del PMS y el cigüeñal.
- f. Temperatura del ambiente.
- g. Temperatura del motor.
- h. Voltaje de la batería.

Este ángulo depende además de algunas influencias tales como:

- a. Carga del motor determinada por el tiempo de inyección, las rpm del motor.
- b. La relación aire combustible que controla el tiempo de inflamación.
- c. Temperatura ambiental y su efecto sobre el efecto de denotación (knocking).

El sistema que permite el control del sistema de inyección es el procesador de información central, generalmente conocido como unidad electrónica de gestión del motor o abreviada como ECU. La función del sistema es lograr una optimización del combustible, la reducción de emisiones y la configuración de torque y potencia indicada en función de parámetros o mapas preestablecidos, con la finalidad de lograr una operación estable, logrando un alto rendimiento térmico. El sistema de control puede funcionar en dos modos: circuito abierto o circuito cerrado, dependiendo del sistema de retroalimentación que comande. Si usa el sensor de oxígeno como retroalimentación la unidad de control puede funcionar en lazo abierto en el tiempo que la señal del sensor se

establezca (tiempo de calentamiento del sensor y estabilización del voltaje), y luego con un sistema de lazo cerrado, mide el valor lambda y determina la mezcla rica o pobre, para controlar el tiempo o pulso de inyección y regular el valor lambda en los parámetros ideales.

Para esto, existen dos formas de control, en base a datos estandarizados (datos en memoria) y la variación de parámetros en función de los requerimientos (el sistema adaptativo). El primero de ellos basa su control por medio de datos tabulados, que funcionan como datos de comparación. Los parámetros principales para la comparación son la velocidad del motor, parámetros de carga (presión de aire, flujo), estado del motor (temperatura), los cuales luego compara y determina el mejor mapa de inyección, tiempo de encendido. La desventaja del sistema es que los parámetros predeterminados no logran un control efectivo del sistema, ni de la ubicación real del motor (altitud, temperatura) y sus variaciones temporales, con lo cual el sistema no brinda una efectividad alta del control de emisiones o consumo.

El sistema adaptativo, también utiliza mapas preestablecidos pero por medio de algoritmos en base de variables de control como relación A/F, recirculación de gases, entre otras, funciona como un sistema de lazo abierto y cerrado en el tiempo con el cambio de los parámetros de cálculo base en los cambios de sistema (ingreso de variables nuevas al sistema). El inconveniente es la necesidad de varios parámetros de calibración (más sensores) y elementos de control (actuadores) para lograr una operación estable, y la necesidad de una memoria programable en el tiempo denominada electrically erasable programmable read only memory, o EEPROM.

En el tercer caso, el sistema de control de emisiones, está compuesto por el sensor Lambda, o conocido como sensor de oxígeno, ubicado en el múltiple de escape, cuya función principal es la de medir el porcentaje de oxígeno existente en los gases. Un porcentaje alto o bajo indica que la mezcla no está dentro de los parámetros ideales para una combustión completa. Una variación de la relación lambda del 0.1% en largos periodos genera una doble emanación de gases no propios de la reacción ideal (CO, NOx, HC). Una variación en periodos pequeños permite una desviación de valores de lambda de 2 a 3% no generan una variación de las emisiones, por lo cual el consumo de combustible se mantiene en desviaciones positivas y negativas dentro de lo estándar.

El sensor de oxígeno puede tener dos configuraciones que permiten dicha disposición de variación de rangos, el sensor de dióxido de Zirconio, y el sensor de titanio estroncio. El sensor de dióxido de zirconio consiste en un electrodo de cerámica sólido que conduce los iones de oxígeno a temperaturas sobre los 250°. Posee un electrodo exterior de platino. La fracción parcial de presión entre las caras de los materiales expuestos a diferentes gases (emisiones y atmosféricos) permite generar una variación de voltaje entre los electrodos especificados por la ecuación:

$$V_{\lambda} = kT_{\text{sensor}} \ln \frac{p(O_2)_{\text{ambiente}}}{p(O_2)_{\text{escape}}}$$

Fig. 14. Formula de control de fracción parcial del sensor O2.⁵

⁵ KIENKE, Uwe y NIELSEN Lars, *Automotive Control System*, Segunda edición. Springer, Berlin, 2005, p. 104.

Con rangos de resistencia interna entre los $10\text{M}\Omega$ a 200°C a $5\text{k}\Omega$ a 800°C ., los valores típicos para este sensor están en los rangos de:

Mezcla rica 800 a 100 mV

Mezcla pobre 50 a 200 mV

En rangos de tiempo desde los 15 a los 30 ms.

El sensor de titanio estroncio es un semiconductor cerámico, cuya conductividad térmica depende de la temperatura y la fracción parcial de presión, sin que se halle afectada por los cambios en la estructura del compuesto por la alta temperatura. (Baja dependencia de la temperatura/resistencia). La temperatura de funcionamiento está en el régimen de los 880°C .

Los sensores se caracterizan en su no linealidad de salida de voltaje con la relación aire combustible, siendo necesario en el sistema de control un factor de sensibilidad K, lo que permite un ciclo de control entre los 0.1 Hz a los 10 Hz en estado de ralentí y de carga completa y altas revoluciones del motor respectivamente.

CAPITULO 2.

2 Verificación del estado mecánico electrónico actual del motor Pontiac.

El motor Buick cedido por la universidad politécnica salesiana para la creación del banco de aprendizaje fue analizado para constatar el estado de funcionamiento global e individual de los componentes.

Se realizó verificaciones del estado actual del motor, en el cual primeramente se obtuvo los datos del motor para obtención de información del mismo, el motor es fabricado por la casa comercial GM y montado en un vehículo marca Pontiac modelo Bonneville cuyo año de fabricación según los datos obtenidos en la numeración de chasis del vehículo es de 1988 (IG2HX54C3JW293623), el cual se encuentra montado en la estructura externa.



Fig. 15. Motor Pontiac 3800 V6, estado original de entrega. Fuente: el Autor.

Antes de encender el motor se realizó la prueba básica para comprobar la movilidad de los elementos internos mediante el giro del cigüeñal, obteniendo un resultado positivo, con compresión en los cilindros. Se procedió a realizar el cambio del aceite del motor y filtro de aceite, actividad en la que no encontró anomalías. Esto permitió la instalación del sistema de alimentación y encendido para generar el funcionamiento del motor, prueba en la cual el motor encendió con alguna dificultad especialmente con contra explosiones por el múltiple de admisión. Para verificar esta anomalía se procedió al desarmado del sistema de admisión (múltiple de admisión), encontrándose depósitos de carbonilla sólida adheridas a las paredes del múltiple. Como resultado de ello se procedió al desarmado íntegro del motor y verificación de cada uno de sus componentes y se realizó las reparaciones respectivas:



Fig. 16 Estado del múltiple de admisión. Fuente: el Autor.

- La luz de puntas entre rines se tomó la medición y estaba entre 1,8 y 2mm por lo cual se procedió a realizar el encamisado de los cilindros quedando una luz de puntas de 0.19mm aceptables para el funcionamiento del motor, adicionalmente todas la partes del motor al poseer carbonilla y oxido se procedió con una limpieza profunda para dejarlos nuevamente operativas.



Fig. 17. Estado del bloque motor y del cabezote, examinados durante el desarmado. Fuente: el Autor.

Se realizó el armado completo del motor dejándolo en condiciones de operación para poder proceder con la parte electrónica del mismo que es la parte correspondiente a este proyecto.

La reposición de los elementos faltantes y los demás componentes que se usaron en la fabricación del banco didáctico fueron suministrados por el titular de este proyecto.

2.1 Situación y mejoras

Luego de la evaluación de los componentes mecánicos y electrónicos se ha determinado que los componentes para el funcionamiento del motor que se requieren completar son:

- a. ECU
- b. TPS
- c. Sensor O2
- d. Bomba de gasolina
- e. Radiador
- f. Ventilador
- g. Sensor IAT
- h. Filtro de aire
- i. Depósito de combustible

Para ello se ha realizado la gestión de compra y reposición de dichos elementos para lograr el funcionamiento del motor, una vez instalado todos los elementos faltantes y realizado todas las conexiones eléctricas y electrónicas se ha procedido a encender el motor en el cual se ha generado inconvenientes y se ha realizado las reparaciones indicadas:

Inestabilidad en el motor, para ello se realizó limpieza de inyectores.

Ruido anormal al momento del arranque, se realizó el cambio del motor de arranque.

Alternador no carga, se realizó reparación del alternador.

2.2 Estado actual del sistema de inyección.

Se ha realizado el análisis de los componentes electrónicos del sistema de inyección con dos equipos que son el milímetro y el probador de sensores marca Actron modelo cp9087, el detalle de cada prueba de cada componente se describe a continuación:

2.3 Ubicación general de sensores

A continuación se ilustran los gráficos que indican la ubicación de cada sensor del motor:



Fig. 18 Ubicación real del CKP y Modulo de inyección. Fuente: el autor.



Fig. 19. Ubicación de inyectores. Fuente: el autor.



Fig. 20 Ubicación de sensor MAF y sensor TPS. Fuente: el autor.



Fig. 21 Ubicación sensor de oxígeno. Fuente: el Autor.



Fig. 22 Ubicación de sensor IAT, actuador IAC. Fuente: el autor.

2.3.1 Sensor de posición de la mariposa del acelerador.

Este sensor es un potenciómetro que envía una señal en voltaje proporcional a la apertura de la mariposa, el voltajes de señal va desde 0 hasta 5vdc, la resistencia de este sensor va desde 0 a $5K\Omega$, no debe existir saltos ni interrupciones en la medición, cabe indicar que la respuesta de este sensor es lineal proporcional a la carrera del pedal del acelerador.

Este sensor inicialmente no poseía el motor, este fue completado y luego se realizó las pruebas en el mismo.

Los valores obtenidos en posición de ralentí fueron:

Entre conector A y B $5,25K\Omega$

Entre conector B y C $0,70\Omega$

Entre conector A y C $4,67\Omega$

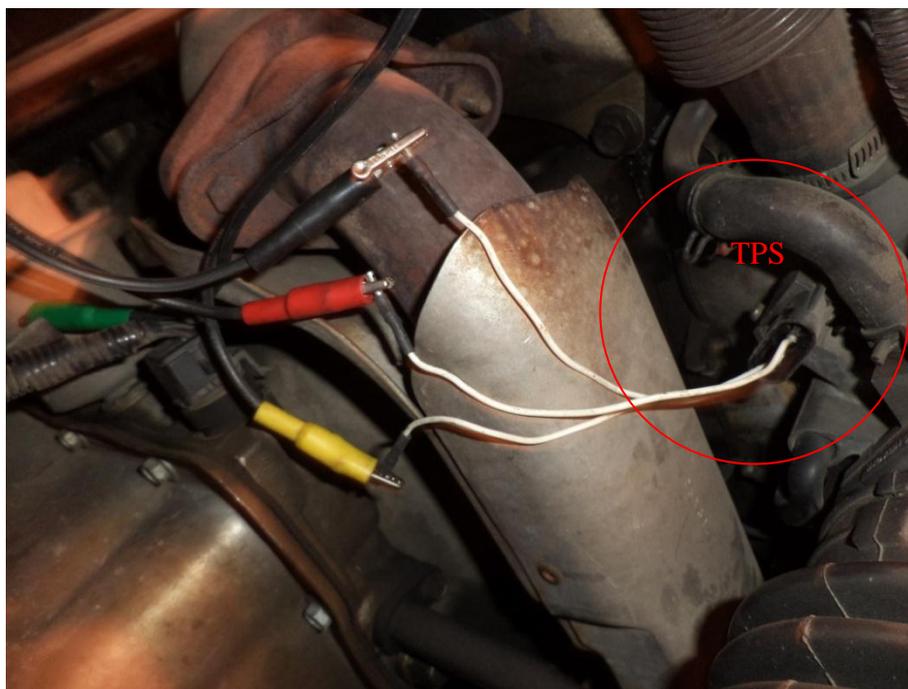


Fig. 23. Medición del TPS nuevo montado en el motor mediante un analizador analógico de sensores. Cable rojo positivo, negro negativo y amarillo señal. Fuente: el Autor.

Se realizó la prueba con el probador de sensores en el cual se muestra los resultados obtenidos lo que nos indica que este sensor se encuentra en buenas condiciones.

Con estas dos pruebas realizadas se concluye que el sensor de posición de la mariposa del acelerador se encuentra operativo y puede ser utilizado en el sistema de inyección.

2.3.2 Sensor de flujo de aire en el colector de admisión (MAF)

Este sensor tiene como objetivo transformar en señal de voltaje el flujo existente de aire en el colector de admisión y enviarlo a la ECU para cálculo de la inyección y ángulo de encendido. El analizador da como resultado un pulso que indica que el sensor esta funcional.

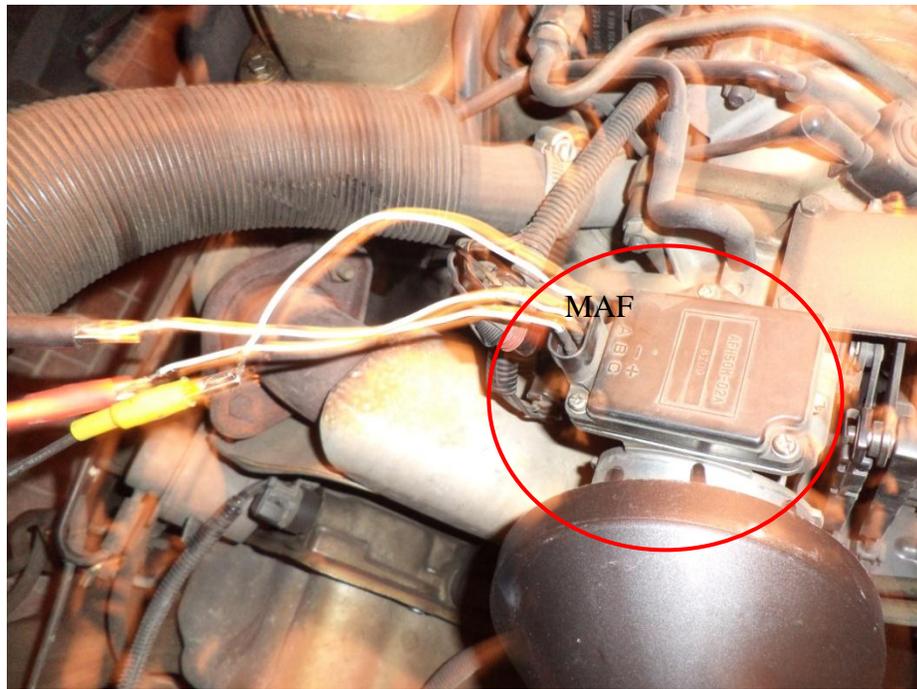


Fig. 24. Sensor MAF, conectado al analizador analógico, el cual da como respuesta un pulso. Fuente: el Autor.

2.3.3 Sensor de temperatura del líquido refrigerante del motor (ECT).

Este sensor transforma cambia su valor de resistencia de acuerdo a la temperatura que se encuentra el refrigerante del motor, al variar el valor de resistencia cambia el valor de voltaje que envía a la ECU, la misma que usa para correcciones en la inyección.

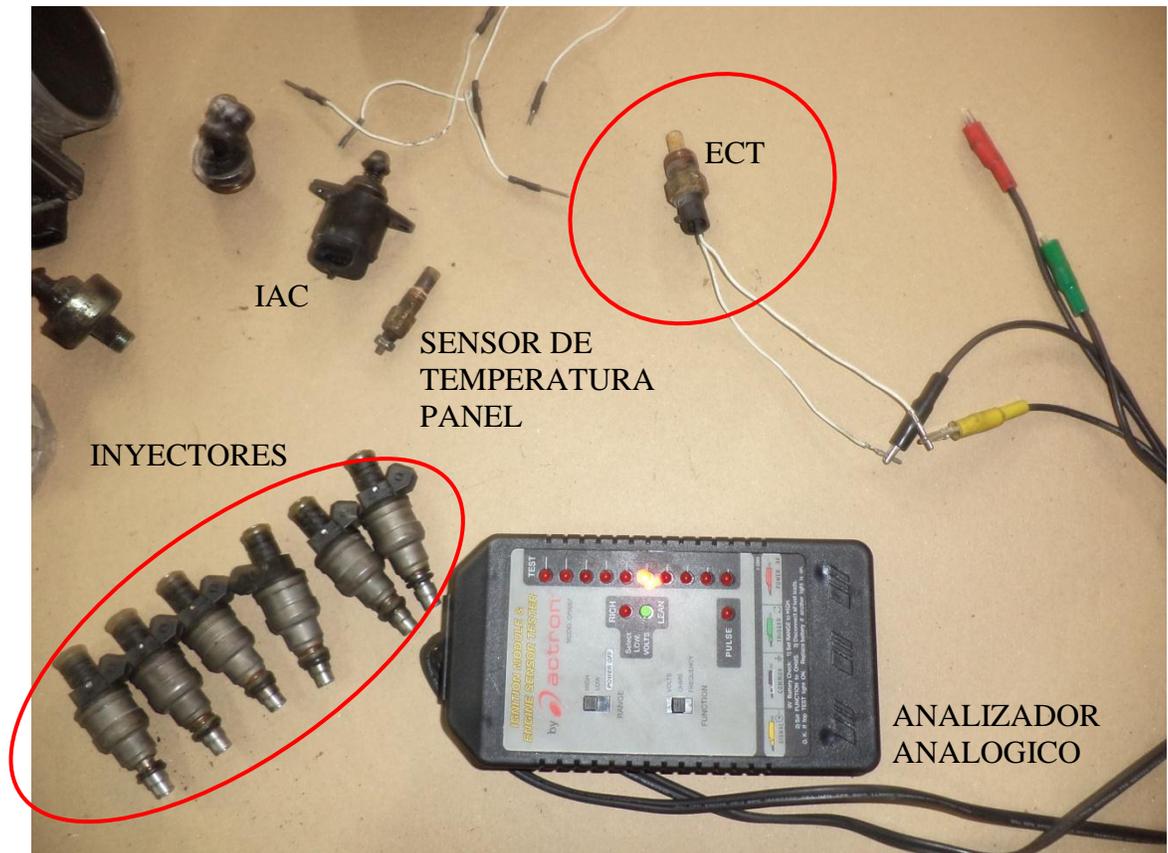


Fig. 25. Medición del funcionamiento de la ECT, aportando calor externo, y midiendo su respuesta analógicamente. Fuente: el Autor.

2.3.4 Motor de pasos (IAC).

Es un motor bipolar que se encarga de regular la marcha del motor en ralentí, es una válvula cónica que en su funcionamiento restringe total o parcialmente el ingreso de aire hacia el colector de admisión, esta válvula es controlada por la ECU y sus valores de resistencia en sus bobinas interiores deben ser similares, cabe indicar que al ser un actuador, es alimentado por la tensión del acumulador.

Los valores medidos de este actuador fueron de $53,2\Omega$ y $56,7\Omega$.

2.3.5 Bomba Eléctrica De Combustible.

Este componente se encarga de enviar el combustible desde el depósito hasta el riel y elevarlo a una presión de funcionamiento cuyo valor de presión va a depender del tipo de sistema de inyección.

Este componente inicialmente no poseía el motor, este fue completado y luego se realizó las pruebas en el mismo.

La presión de trabajo se encuentra en el rango de 40 a 45 psi.

La bomba de combustible es comandada por el relé, el mismo que es controlada por la ECU.

2.3.6 Inyector de combustible

Está formado por una parte eléctrica y una parte mecánica, toma el combustible del riel de inyectores y luego lo envía hacia la válvula de admisión por medio de unos orificios que ayudan a atomizar el mismo al ingreso en el cilindro, este paso de combustible es gobernado por la bobina, cuando esta abre acciona a un componente mecánico permitiendo el paso de combustible, el tiempo de apertura de cada inyector lo determina la ECU de acuerdo a varios parámetros de funcionamiento que son ingresados en forma de señales lógicas a la ECU.

Los valores medidos en los inyectores fueron:

- Inyector 1 $15,4\Omega$.

- Inyector 2 15,6Ω.
- Inyector 3 15,5Ω.
- Inyector 4 15,5Ω.
- Inyector 5 15,5Ω.
- Inyector 6 15,4Ω.

Los valores nominales de las bobinas en inyectores de gasolina de sistema de inyección electrónica oscilan entre 15 y 17 ohm para alimentación de 12vdc.

2.3.7 Válvula reguladora de presión.

Esta válvula se encarga de mantener una presión constante el riel de inyectores, la presión de combustible empuja a una válvula que esta presiona por un resorte, esta válvula abre el paso y el combustible regresa al depósito, la presión que debe mantenerse esta entre 1.8 a 2.2 bar y la presión en la línea de retorno está entre 0.7 a 0.8 bar.

2.3.8 Recirculación de gases del motor (EGR).

Esta válvula se encarga de pasar cierta cantidad de gases de escape hacia el colector de admisión, esta recirculación ayuda a reducir los compuestos de NOx.

CAPITULO 3.

3 Reconstrucción del sistema mecánico, electrónico del motor Pontiac y control de los sistemas básicos de funcionamiento.

3.1 Determinación del circuito eléctrico del sistema de inyección.

El sistema EFI que controla el motor buick v6 3.8 está constituido por una ECU de tres tomas independientes que se unen paralelo a la computadora de control del sistema de transmisión (caja automática), se ha determinado el diagrama eléctrico en función de los diferentes elementos electrónicos de control los cuales se muestran en las figuras.

3.2 Esquemas de conexión de los pines de la ECU

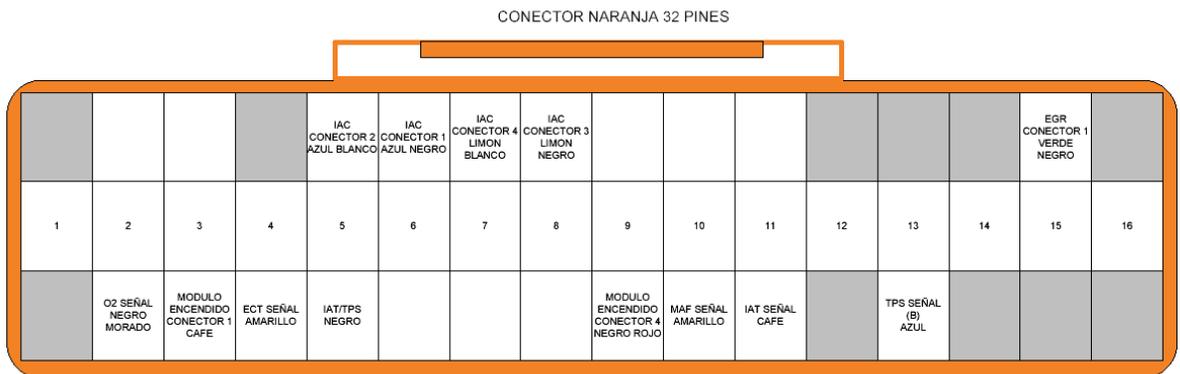


Fig. 26. Conector naranja 32 pines. Fuente: el Autor.

El conector naranja de 32 pines tiene utilizados 21 pines distribuidos para el motor en número de 13 pines de la siguiente manera:

Pin 5 superior: conector numero 2 IAC.

Pin 6 superior: conector numero 1 IAC.

Pin 7 superior: conector numero 4 IAC.

Pin 8 superior: conector numero 3 IAC.

Pin 15 superior: conector 1 EGR.

Pin 2 inferior: conector sensor de oxígeno.

Pin 3 inferior: conector 1 del módulo de encendido.

Pin 4 inferior: ECT señal.

Pin 5 inferior: IAT/TPS negro.

Pin 9 inferior: conector 4 módulo de encendido.

Pin 10 inferior: MAF señal amarillo.

Pin 11 inferior: IAT señal café.

Pin 13 inferior: TPS señal.



Fig. 27. Conector negro 32 pines. Fuente: el Autor.

El conector negro de 32 pines tiene utilizados 24 pines distribuidos para el motor en número de 17 pines de la siguiente manera:

Pin 2 superior: conector 3 EGR.

Pin 3 superior: conector 2 EGR.

Pin 5 superior: conector 9 módulo de encendido.

Pin 7 superior: conector 13 módulo de encendido.

Pin 10 superior: conector 4 ALDL.

Pin 13 superior: inyector N2.

Pin 14 superior: TPS gris.

Pin 15 superior: inyector N3.

Pin 1 inferior: MAF negativo.

Pin 2 inferior: conector 4 EGR.

Pin 6 inferior: conector 3 ALDL.

Pin 8 inferior: conector 11 módulo de encendido.

Pin 11 inferior: conector 12 módulo de encendido.

Pin 13 inferior: inyector N4.

Pin 14 inferior: inyector N6.

Pin 15 inferior: inyector N1.

Pin 16 inferior: inyector N5.

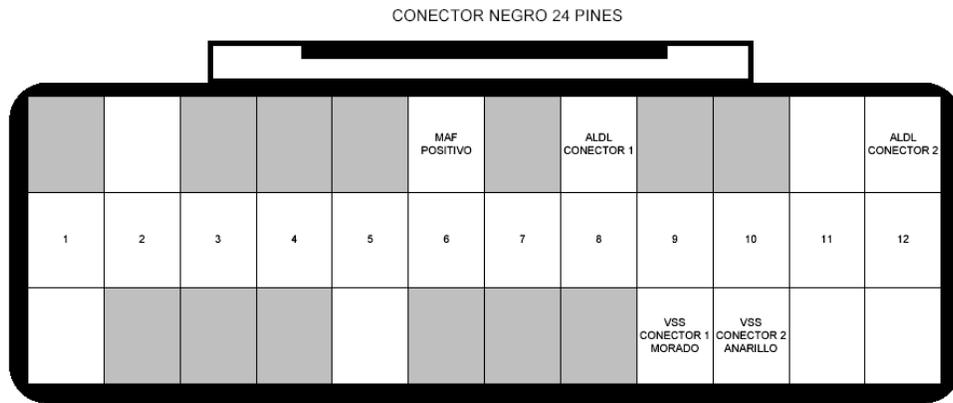


Fig. 28. Conector negro 24 pines. Fuente: el Autor.

El conector negro de 24 pines tiene utilizados 11 pines distribuidos para el motor en número de 5 pines de la siguiente manera:

Pin 6 superior: conector positivo MAF.

Pin 8 superior: conector 1 ALDL.

Pin 12 superior: conector 2 ALDL.

Pin 9 inferior: conector 1 VSS.

Pin 10 inferior: conector 2 VSS.

3.3 Colocación de los instrumentos electrónicos y mecánicos en el motor.

Para mejorar el control del motor se ha instalado los siguientes instrumentos:

1. **Tacómetro;** para la medición de RPM, para la velocidad a la que se opera el motor y poder identificar el aumento o pérdida de las mismas al momento de realizar las pruebas del sistema y la generación de fallas.
2. **Medidor de nivel de combustible;** para el control del nivel de combustible en el depósito del mismo, consta de una boya que va dentro del tanque y un indicador que se encuentra ubicado en el tablero de control, cabe indicar que la capacidad máxima del tanque es de 5gl.
3. **Switch principal;** para el control de encendido y apagado del motor, permite el paso de energía de la batería hacia los circuitos del motor, también para dar señal al relé del motor de arranque para cuando el operador encienda el motor.
4. **Botón de paro de emergencia;** para el apagado inmediato del motor con la facilidad de solo aplastar (hundir) el botón en forma de hongo de color rojo.
5. **Medidor de temperatura de refrigerante;** Permite realizar la medición de la temperatura a la cual el refrigerante se encuentra y con ello observar los distintos ajustes que se realizan en la inyección de acuerdo a la información solicitada.
6. **Switch de accionamiento del ventilador;** funciona de forma paralela al termoswitch, permite activar y desactivarlo de acuerdo al requerimiento del operador del banco excepto cuando esté accionado por el termoswitch.

CAPITULO 4

4 DISEÑO E IMPLEMENTACION DE LA MAQUETA DIDACTICA DEL SISTEMA DE INYECCION.

4.1 Requerimientos generales de maquetas didácticas de motores de combustión interna.

La finalidad de la maqueta didáctica es la representación controlada bajo parámetros preestablecidos de un funcionamiento real más conocido con el término “testing” de un motor dirigido al análisis del sistema de inyección con la funcionalidad de representar las respuestas del sistema a variaciones de operación, sin introducirse en la información relevante de los procesos lógicos (curvas, sistemas de control, etc.).

Si analizamos al motor como un volumen de control, los elementos o variables de ingreso al motor que deben ser controladas serán:

De ingreso

- Combustible.
- Ventilación.
- Masa de aire el motor.
- Refrigeración.
- Sistemas eléctricos.

De salida

- Gases de escape.
- Ventilación.
- Potencia.

Todos estos requerimientos deben poder ser medidos y controlados por el operador con la finalidad de lograr un funcionamiento lo más real posible en la maqueta previo el análisis del sistema de inyección.

Además de ello se debe controlar las vibraciones y la generación de sonido que aunque podrían generar fallas en el funcionamiento del motor, son consideradas más como elementos de seguridad para el operario.

Otro aspecto importante, es el sistema de control, en el cual se podrán realizar las pruebas básicas de funcionamiento y el control de las diferentes variables de ingreso en función de los tres parámetros de control que sustentan el funcionamiento del sistema de inyección (combustible, ignición y retroalimentación).

4.2 Elementos mínimos del sistema para la construcción de la maqueta del sistema de inyección.

En función de los requerimientos generales y apegados a la propuesta de la visualización del funcionamiento del sistema de inyección, se presentan las siguientes consideraciones mínimas en la estructura del banco o maqueta didáctica:

- Sistemas principales para el funcionamiento.
- Sistemas de control y monitoreo.
- Sistemas anti fuego y de seguridad.

En función de ello se ha planteado el modelo de estructura de la maqueta didáctica.

4.3 Análisis estructural.

El análisis estructural fue realizado en el software Inventos cuyo detalle se detalla en el anexo 1. En la cual se obtuvo que la estructura tiene un factor de seguridad de 15, una deformación máxima de 0.08mm y un esfuerzo máximo de 7.23MPa.

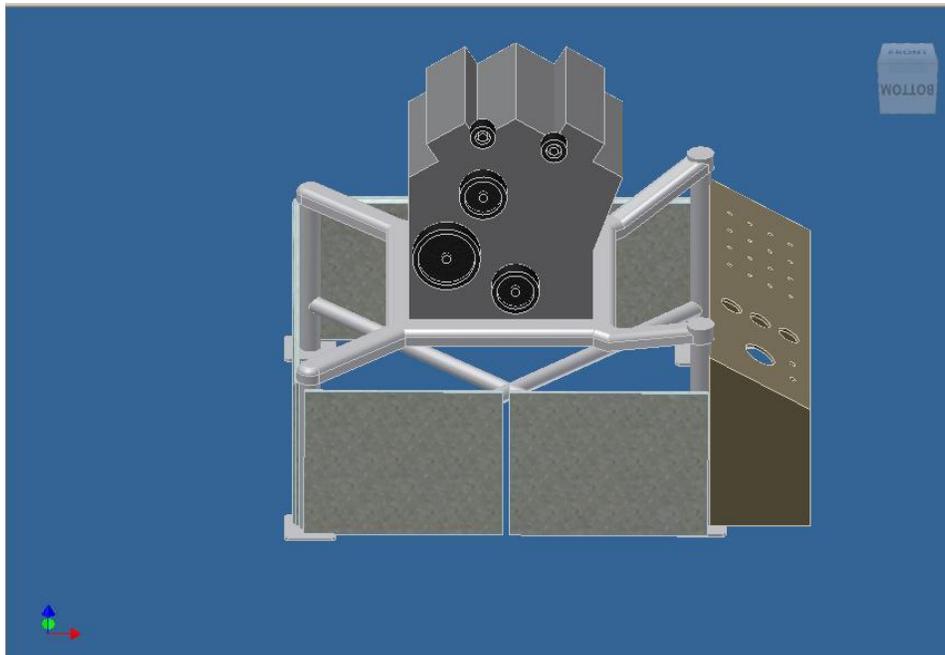


Fig. 29. Dibujo de la estructura actual de la maqueta previo al análisis estructural en Inventor. Fuente: el Autor.

4.4 Sistemas principales.

4.4.1 Sistema de alimentación.

Para pruebas estandarizadas es necesario que la presión del combustible este dentro de un rango de operación normal, con variaciones de 0.05 bar de la presión nominal por lo cual es necesario la colocación de un sistema de medición del mismo, si se desea tener mayor parámetros de control la temperatura sería la segunda variable a tomar en cuenta sin que fuera mandatorio su colocación.

4.4.2 Consideraciones ambientales.

La variación de los parámetros ambientales generan un cambio en los procesos de funcionamiento normal del sistema de inyección, específicamente en la determinación del flujo másico de aire aspirado, que está en función de la densidad, altura, presión parcial de vapor en el aire, como factores más importantes. Los valores recomendados para el testeo son de:

- Temperatura ambiental entre 5°C a 35°C, con uso de PC máxima 38°C.
- Humedad relativa del 50 al 90%.

4.4.3 Consideraciones eléctricas.

El inconveniente más grande en el sistema de control del motor sería el ruido generado por la inductancia magnética en los cables de potencia y de señal. Considerando que el

voltajes es bajo y las corrientes que comanda la ECU son también bajas se puede construir un sistema de control con segmentos de separación de cables de líneas de potencia y líneas de referencia.

4.5 Sistema de control y monitoreo.

El sistema de control y monitoreo tiene una función doble, que es la de permitir el monitoreo en tiempo real (datos), con lo cual es posible el control tanto retroalimentado como de acción por el operador. Dentro de estos sistemas se incluyen o forman parte algunos sistemas de seguridad tales como:

- a. **Función de paro de emergencia;** normalmente separada del sistema principal con alarma en caso de activación. Se utilizará un sistema no controlado o denominado de categoría cero.
- b. **Sistemas de monitoreo y alarmas;** para alto nivel y bajo nivel en los sistemas fundamentales del motor (combustible, temperatura del motor, presión de aceite, etc.).

Y sistemas generadoras de funcionamiento individual como:

- c. **Secuencia de testeo o módulo de control;** en el cual se localiza los elementos que permitirán verificar el funcionamiento correcto de los sistemas del motor en nuestro caso específico del sistema de inyección.

4.5.1 Consideraciones de los elementos del sistema de monitoreo.

4.5.1.1 Medición de presión de aceite.

Para evitar inconvenientes es necesario especificar la base o punto de referencia para la medición de presión, pudiendo ser de tres modos, absoluta, relativa o diferencial, en nuestro caso se utilizará un transductor de medición relativa de la presión.

4.5.1.2 Medición de temperatura de refrigerante y aceite.

Para medición de temperatura se utilizará un termistor (resistencia sensitiva a la temperatura), debido a su contacto directo con el fluido, seguridad en el montaje y tratamiento de señal con un rango entre -50°C hasta 200°C , para este caso se medirá la temperatura de líquido refrigerante y temperatura del aceite del motor.

4.5.1.3 Medición de rotación del motor (rpm).

Para medición de las revoluciones del motor (RPM) se empleará tacómetro el mismo que viene equipado con un indicador de revoluciones para comandar una luz indicadora de revoluciones seleccionadas por el operador, el rango del tacómetro va desde 0 hasta 11000 RPM.

4.5.1.4 Medición de consumo de combustible.

Para la medición de consumo de combustible se utilizara un medidor volumétrico visual (analógico), colocado en el tanque de combustible.

4.5.2 Sistema anti fuego y de seguridad.

Para lograr un sistema que sea seguro dentro de su operación tanto para el operario como para el resto de personas que se encuentren cerca, se ha considerado tomar las siguientes consideraciones:

- Paneles laterales, para evitar la introducción de objetos en las zonas de alta temperatura como de movimiento del motor.
- Colocación de los elementos de control del sistema de inyección y batería dentro de una consola aislada, lo que evitara un calentamiento de los componentes por radiación directa o por convección reduciendo el riesgo de variación de voltajes de operación.
- Protecciones de salida de gases, con inclinación del tubo de escape hacia abajo para evitar la condensación de agua directa en elementos del motor como en protectores laterales.
- Colocación de extintor lateral tipo ABC con agente extinguidor de PQS (polvo químico seco), capacidad de 10lbs, con toma rápida.

4.6 Determinación de los procesos medibles.

Con el funcionamiento correcto del motor de combustión interna en función de los parámetros básicos tratados, se hace viable la medición de los procesos de control del sistema de inyección dirigidos a los efectos que causan en los tres parámetros establecidos con anterioridad.

De la lista ubicada en el apartado 1.4, se ha procedido a evaluar cuál de ellos tiene la posibilidad de ser testeado, considerando:

- a. La capacidad de medición directa por el sistema (presencia del sensor).
- b. La importancia del cambio en los procesos de control del sistema.
- c. La capacidad de variar la señal analógica o digital para generar un cambio en el comportamiento.
- d. Accesibilidad para la implementación del sistema generador de variación de funcionamiento de las señales.
- e. La funcionalidad del sistema en circuito abierto o cerrado evaluado en cada sensor.

Sobre esta base y considerando una puntuación de 1 a 5, (menor a mayor importancia), se evalúan la lista de procesos a medir cuyos resultados se pueden apreciar en la tabla siguiente:

Sobre estas consideraciones se puede observar que existen procesos que son viables en su aplicación a la maqueta didáctica, sin dejar de lado que existieran otros procesos que en forma indirecta pudieran generarse en el proceso.

Tabla 1. Ponderación de los procesos de medición en base a los tres parámetros de control de un sistema de inyección, Fuente: El autor.

PROCESO DE MEDICION	A	B	C	D	E	TOTAL.
INYECCION DE COMBUSTIBLE						
Flujo másico y/o volumétrico de aire aspirado en el tiempo (MAF)	5	5	1	5	5	21
Presión en el múltiple de admisión (MAP)	0	5	4	1	5	15
Angulo de carga(mariposa de aceleración) (TPS)	5	5	3	5	5	23
Revoluciones del motor (CKP)	5	5	1	3	5	19
Angulo del cigüeñal y referencia del PMS (CKP, CMP)	5	5	4	5	5	24
Temperatura del motor (ECT)	5	5	4	5	5	24
Temperatura del aire (IAT)	5	5	4	3	5	22
Voltaje de la batería.	1	4	1	2	4	12
IGNICION						
La presión del múltiple de admisión	0	5	4	1	5	15

La masa de aire de ingreso	4	5	1	1	5	16
El ángulo de abertura de la mariposa de aceleración	4	5	5	5	5	24
La relación aire combustible	2	5	1	1	1	10
Las señales de referencia del PMS y el cigüeñal	5	5	1	3	5	19
Temperatura del ambiente	0	5	4	5	5	19
Temperatura del motor	5	5	4	5	5	24
Voltaje de la batería	4	5	1	5	1	16
Carga del motor determinada por el tiempo de inyección, las rpm del motor.	0	3	1	1	1	6
La relación aire combustible que controla el tiempo de inflamación	0	3	1	1	1	6
Temperatura ambiental y su efecto sobre el efecto de denotación (knocking).	2	3	3	1	1	10
RETROALIMENTACION						
Señal de lambda.	4	5	2	4	5	20

CONSIDERACIONES DE PONDERACION	PUNTUACION	CONSIDERACIONES PARA LA PUNTUACION
a. La capacidad de medición directa por el sistema (presencia del sensor).	1	MUY COMPLICADA-NO IMPORTANTE-NO ACCESIBLE
b. La importancia del cambio en los procesos de control del sistema.	2	COMPLICADA-REDUCIDA IMPORTANCIA-REDUCIDO ACCESIBLE
c. La capacidad de variar la señal analógica o digital para generar un cambio en el comportamiento.	3	REGULAR- NORMAL- MEDINO ACCESO
d. Accesibilidad para la implementación del sistema generador de variación de funcionamiento de las señales.	4	RELATIVAMENTE FACIL- IMPORTANTE, ACCESIBLE
e. La funcionalidad del sistema en circuito abierto o cerrado evaluado en cada sensor.	5	FACIL-MUY IMPORTANTE-MUY ACCESIBLE

En función de los resultados se generara los procesos de prueba para las relaciones ponderadas, descritas en el manual de funcionamiento.

4.7 Manual de funcionamiento de la maqueta didáctica.

Una vez definido los procesos, se procedió a la construcción de la parte de control, monitoreo y, de seguridad, para enfocarnos en la generación de un manual de operación en la cual se detallan las formas de ondas y los resultados que se desean obtener.

Para poder verificar el funcionamiento normal del sistema de inyección de requiere analizar varios componentes para lo cual se ha desarrollado conexiones que nos facilitan dicho análisis las mismas que se describen a continuación:

Todos los pines de la ECU están disponibles en el tablero de control para medición de voltaje, continuidad, frecuencia y aislamiento, dependiendo del equipo de medición usado.

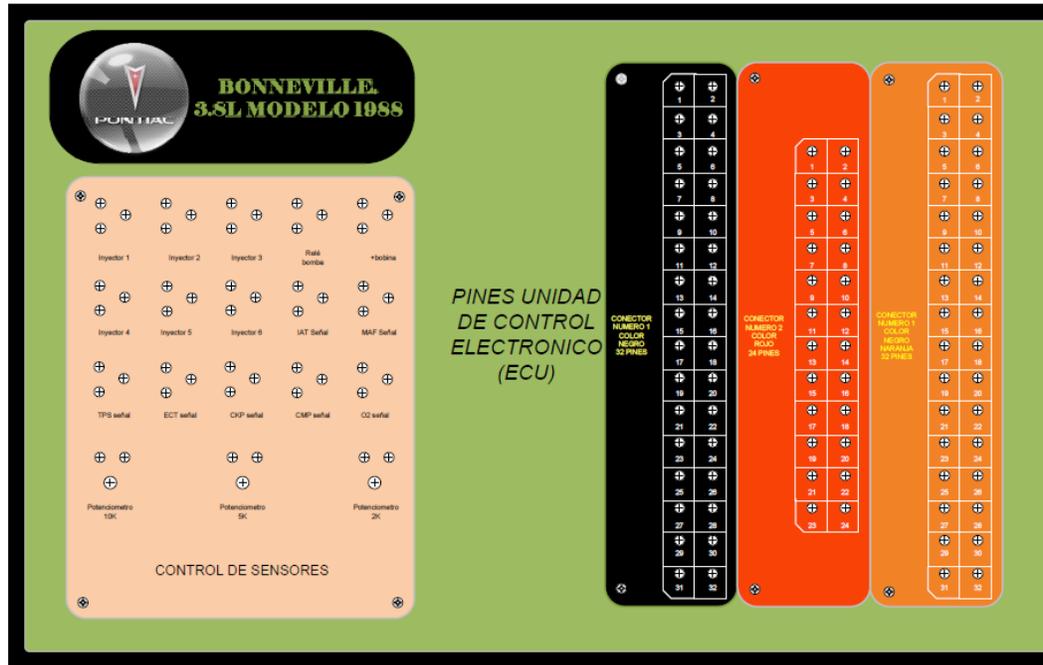


Fig. 30. Estimación del sistema de control del sistema de inyección. Fuente: El Autor

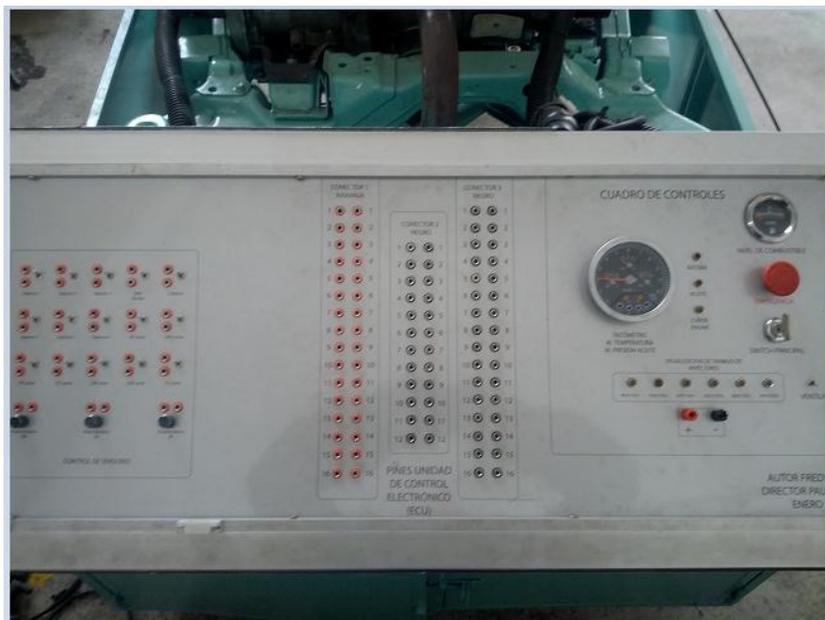


Fig. 31. Sistema de Control real. Fuente: El autor.

Para poder verificar el funcionamiento normal del sistema de inyección de requiere analizar varios componentes para lo cual se ha desarrollado conexiones que nos facilitan dicho análisis las mismas que se describen a continuación:

- a. Todos los pines de la ECU (88 pines) están disponibles en el tablero de control para medición de voltaje, continuidad, frecuencia y aislamiento, dependiendo del equipo de medición usado.
- b. Pines identificados de cada sensor y actuador para análisis de funcionamiento de cada uno ya sea por medio de osciloscopio mediante equipo de medición de voltaje, continuidad, frecuencia y aislamiento
- c. Potenciómetros que permiten cambiar o alterar la resistencia normal del sensor y poder analizar el funcionamiento con estos cambios
- d. Potenciómetro de $10k\Omega$ conectado como partidor de tensión en donde los pines se deben conectar la señal de ingreso en el pin derecho y la salida en el pin izquierdo.
- e. Los switch para activación y desactivación de sensores y actuadores están configurados para en la posición superior el circuito esté cerrado y en posición inferior circuito abierto para colocación de cables hacia los potenciómetros y generar un cambio en la resistencia.

- f. Para la generación de código de falla entregado por el indicador del tablero es necesario colocar un puente entre los pines de la unidad de control electrónico como se indica en la figura 32. En el anexo 2 se encuentra el significado de cada código de falla. El led indicador del tablero destellara de forma intermitente, el código de falla está compuesto por dos números el cual destellara el indicador haciendo una pausa entre cada número, destella tres veces cada código en caso de existir hasta volver a mostrar nuevamente el primer código, siempre empieza con el código 1-2 y luego el código de la falla correspondiente, en caso de no existir fallas únicamente mostrará el código 1-2.

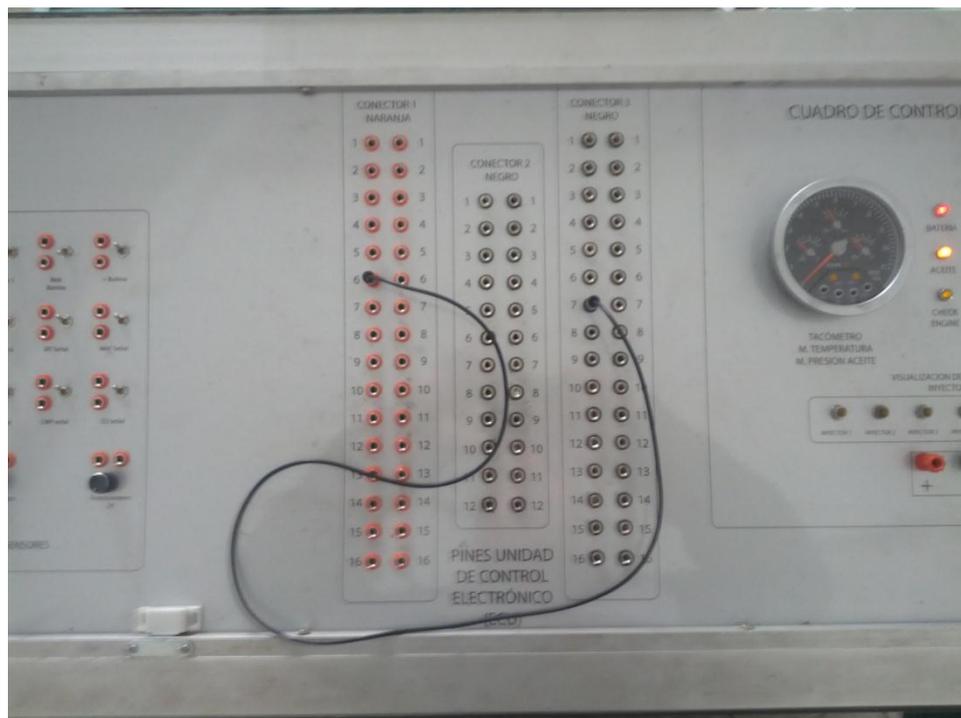


Fig. 32 Conexión de puente para obtener código de falla. Fuente: el autor.

4.7.1.1 Operación individual de cada sensor y actuador.

Los sensores de los 8 procesos de medición, y los 6 inyectores, como actuadores, tienen la generación de un puente a un sistema de control, mediante sistemas de apertura y cierre de continuidad.

En este punto se describe cómo hacer que cada sensor y/o actuador cambie su funcionamiento, las opciones de cada uno se describen a continuación.

A. Actuadores: Inyector.

La curva de los inyectores, medida a las 850 rpm (ralentí) y una escala de 100ms, presente un voltaje máximo de 12.34 voltios nominal con una inducción que sobrepasa los 20 voltios. El tiempo de inyección es de 4 ms con una frecuencia de 250 Hz.

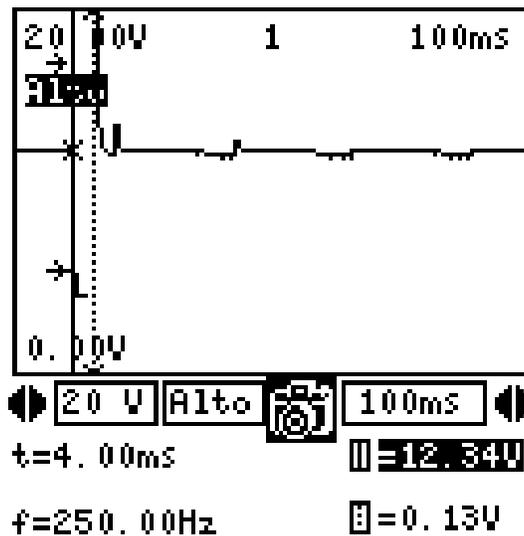
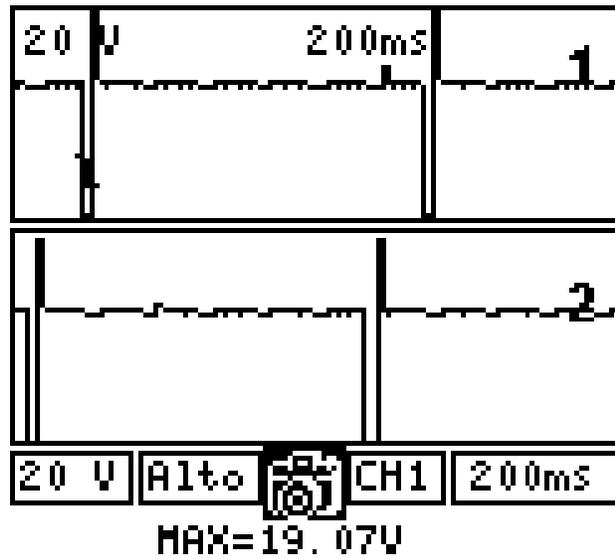


Fig. 33. Gráfica del inyector medido con CJ4 osciloscopio. Fuente: el Autor.



Screenshot.

Fig. 34. Grafica de forma de onda de los inyectores 1 y 2, a 200ms, y ralenti. Fuente: El Autor

B. Sensor: MAF.

El sensor de flujo de masa de aire, tiene una señal digital de 0 a 5 voltios. La señal aumenta en frecuencia al acelerar de ralenti a 2500 rpm dando graficas que se pueden observar a continuación.

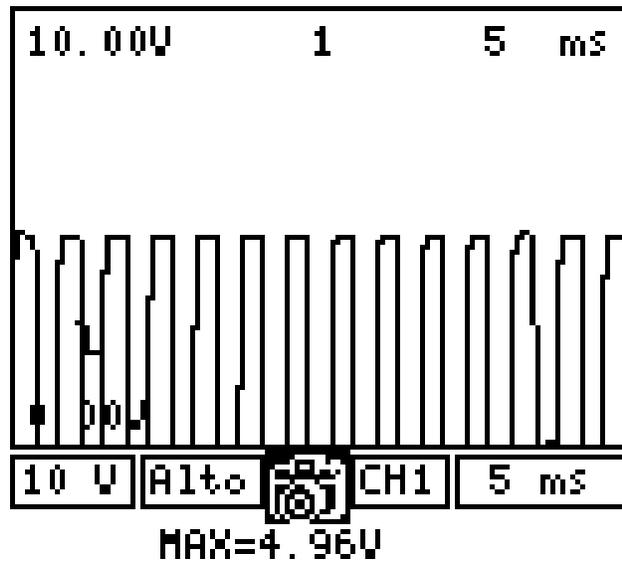


Fig. 35. Operación del MAF a ralentí. Fuente: El Autor.

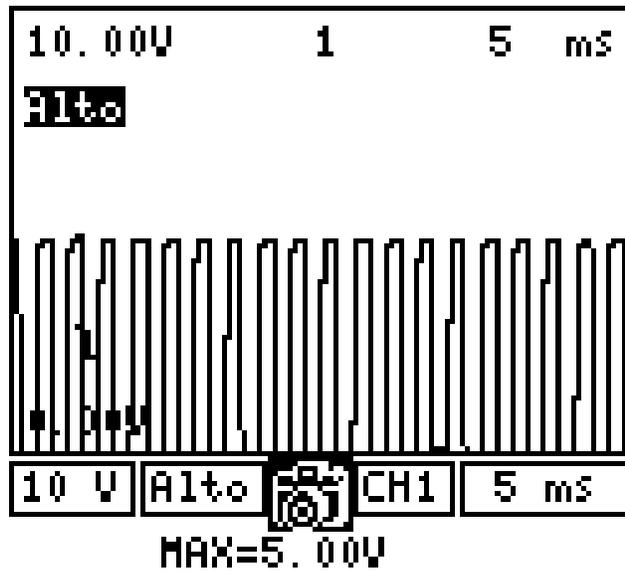


Fig. 36. MAF, señal en aceleración, la frecuencia aumenta, pero se mantiene los el voltaje máximo. Fuente: el autor.

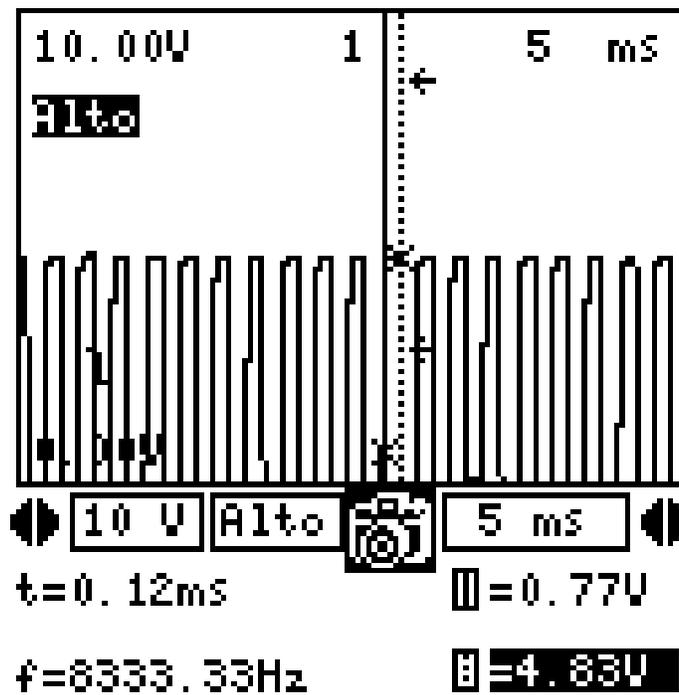


Fig. 37. Medición del tiempo entre pulso de señal del sensor MAF. Fuente: el Autor.

A 2500 rpm la distancia entre evento de señal del sensor es de 0.12 ms con una frecuencia de 8333.33 Hz.

C. Sensor: TPS.

El sensor TPS da una señal analógica, que incrementa su valor de voltaje de señal en función del ángulo de aceleración. Voltaje max 5vdc

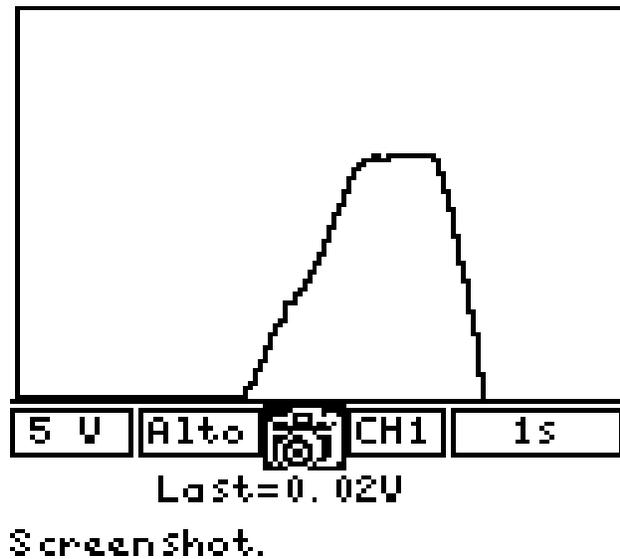


Fig. 38. Señal del TPS, en un impulso escalón de aceleración. Fuente: El Autor.

D. Sensor de oxígeno. Retroalimentación.

El sensor de oxígeno pertenece al proceso de retroalimentación. En el presente caso, presenta un voltaje de 0 a 1 voltio, que se incrementa en los procesos de aceleración y se mantiene lineal cuando las rpm son constantes.

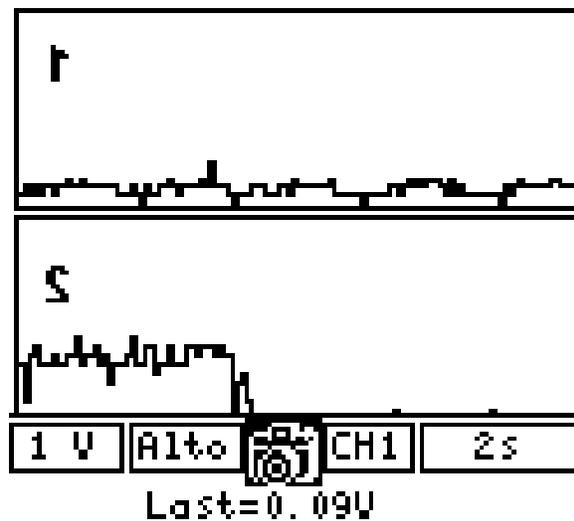


Fig. 39. Señal del O₂, desde el sensor (1) y desde el sistema de control (2). Se Observa mayor cantidad de ruido y un corte de señal inducido por un interruptor de control. Fuente: El Autor

E. Sensores CKP y CMP.

Las señales del CKP y del CMP no llegan en forma directa al módulo principal, sino están dirigidas hacia el módulo de encendido. Se ha generado un by pass directo desde el modulo hacia una toma del panel de control

Las señales generales de estos dos sensores se muestran a continuación.

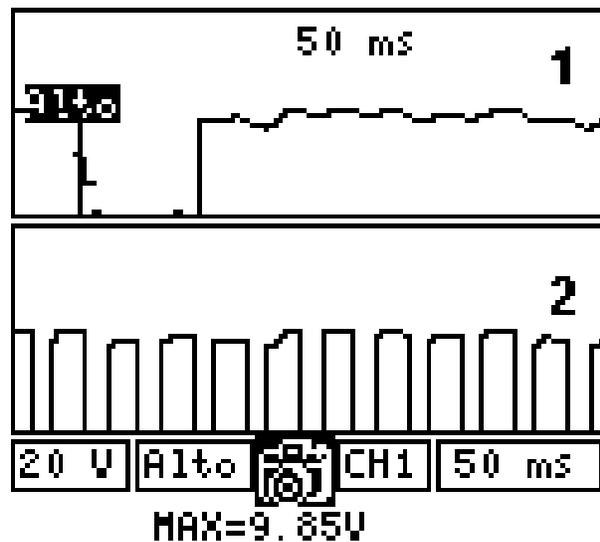


Fig. 40. Señal del CKP (2) y del CMP (1) en la fase de control de posición pistón PMS como punto de referencia para el encendido e inyección. Fuente: El Autor.

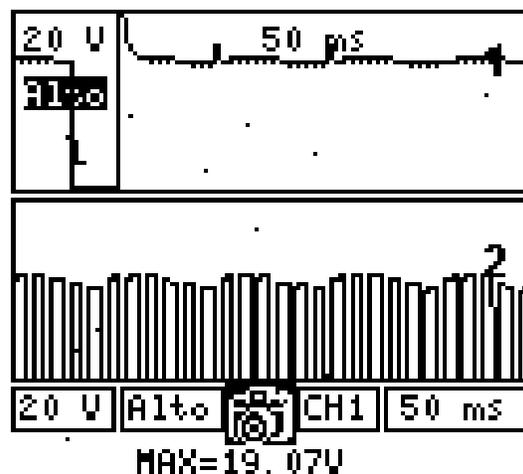
4.7.1.2 Operación básica de control de la ECU.

Como la maqueta tiene la finalidad de presentar los procesos de control ante las variaciones de las señales de los sensores y por ende ver los procesos de inyección y chispa, se tiene un sistema de apertura y cierre de circuitos desde los sensores hasta la computadora.

A continuación se detallan algunos efectos que pueden ser medidos con el sistema, sin limitar las posibilidades de las combinaciones que en un proceso de enseñanza aprendizaje se puedan generar.

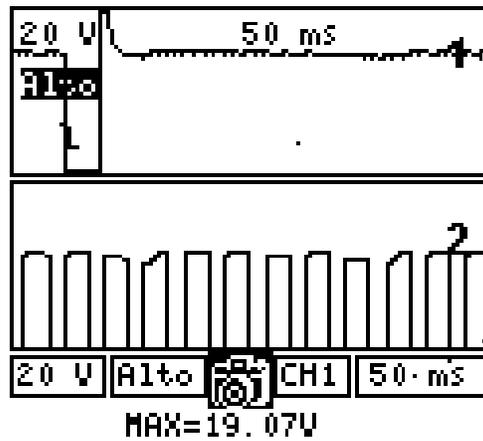
- Variación del adelanto de la inyección y de ignición medido por las señales del CKP y CMP.

Al generar una aceleración, comandada por el TPS y el MAF, se genera un incremento en las señales del CKP y del CMP y por tanto un adelanto en la ignición. Si bien esta señal no se la está tomando como referencia (señal del módulo de encendido) es posible cotejar con la señal de inyección de combustible, en la cual al momento de acelerar, la inyección debe ser anticipada, en ms a un estado estable. Cuando el motor llegase a las rpm y se mantuviera, las inyecciones deben estabilizarse en un rango de trabajo.



Screenshot.

Fig. 41. Ckp e inyector 1 en aceleración. Fuente: El Autor.



Screenshot.

Fig. 42. Ckp e inyector 1 en ralentí. Fuente: El Autor.

Se puede observar la variación de pulso de inyección, en altas revoluciones (fig. 41) con relación al pulso en bajas revoluciones.

Tomando como referencia el punto muerto superior del primer pistón, se puede observar de mejor manera la variación del adelanto del encendido con respecto a la aceleración del motor. Estas variaciones no pueden ser controladas en forma directa por el usuario, es decir si deseamos generar un adelanto a voluntad, debido a que el proceso es interno y el tiempo de ignición es controlado por la EEPROM y el mapa de principal de la ECU.

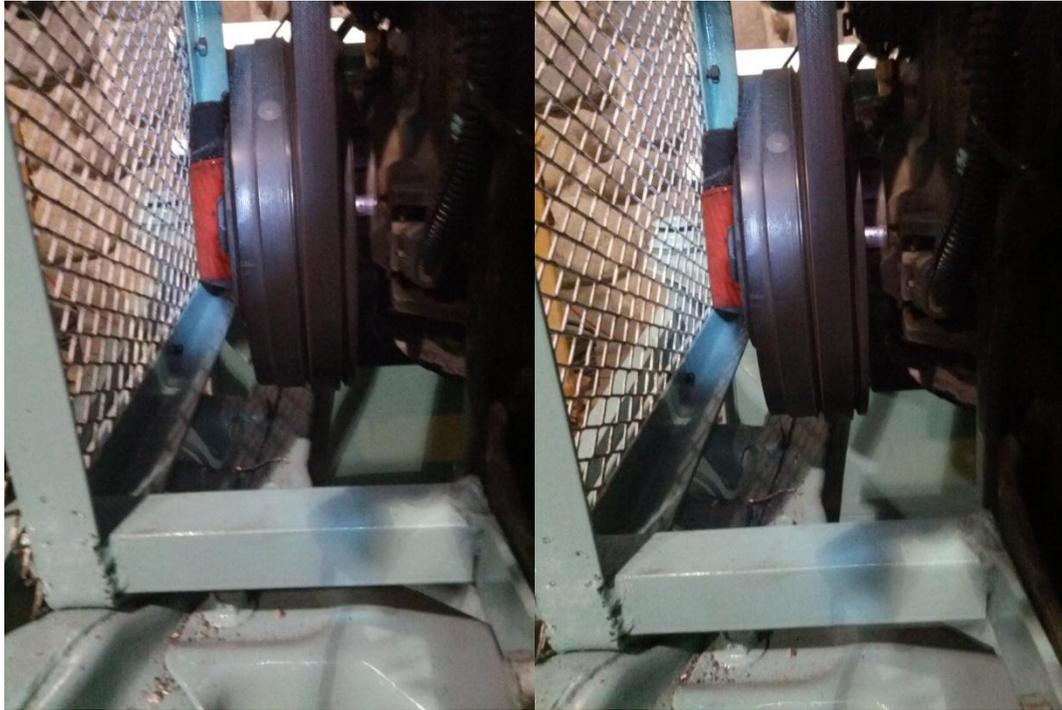
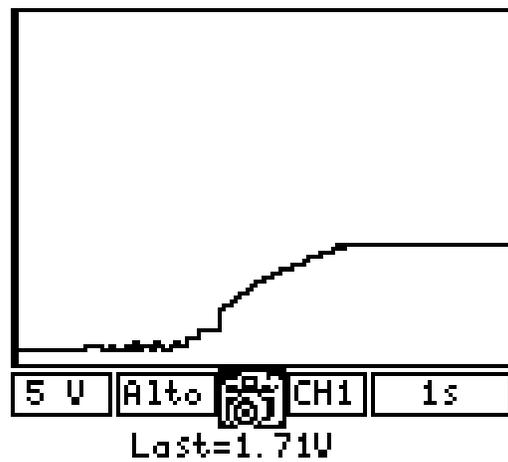


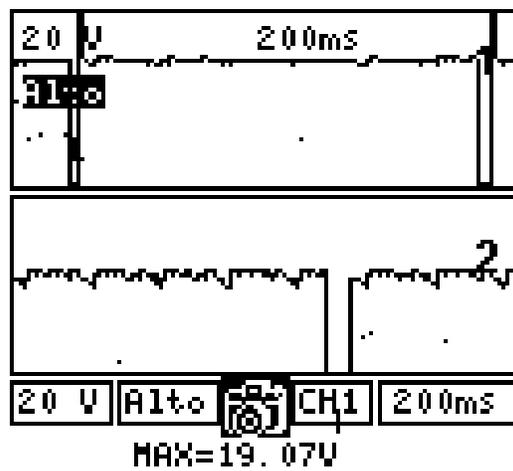
Fig. 43. Variación del ángulo de ignición vista desde la polea del cigüeñal. Fuente: El Autor.

Al generar una variación directa con el TPS, también se genera una variación del sistema por el flujo de masa de aire adicional. Para eliminar este proceso y generar un trabajo solo por el TPS, se realiza la conexión entre la toma de un regulador de voltaje analógico (potenciómetro) hacia la entrada de la computadora, cortando la señal del TPS, lo cual originara una aceleración limitada a la carga de aire aspirado por el motor. Al realizar este proceso, es posible medir de mejor manera la relación entre el adelanto a la chispa, el adelanto a la inyección y la abertura del TPS, pues las pulsaciones del CKP y del CMP no aumentan en un valor elevado su frecuencia.



Screenshot.

Fig. 44 Variación del TPS conectado al partidor de tensión con voltaje de referencia 5vdc. Fuente: El Autor.



Screenshot.

Fig. 45. Variación de inyección y pulso del CMP. Fuente: El Autor.

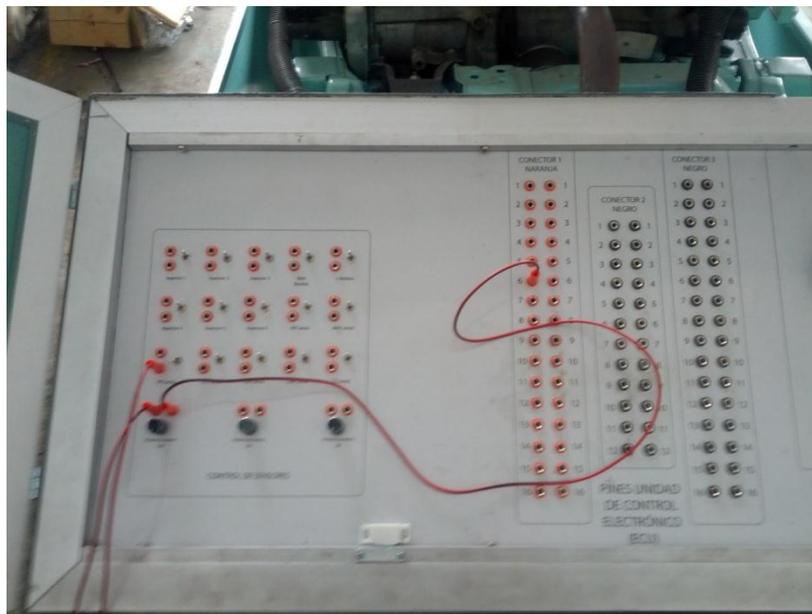


Fig. 46 Conexión de TPS a partidor de tensión con voltaje de referencia 5VDC del pin 6 conector naranja. Fuente: El Autor.

- Tiempo de inyección.

El tiempo de inyección o tiempo de trabajo, es el que indica la cantidad de combustible que el inyector suministra al colector de admisión.

Este tiempo debe ser mayor cuando el motor necesita mayor generación de trabajo interno, y menor cuando el motor debe reducir los procesos de inercias internas (giro).

Para ello se actúa sobre el TPS de forma igual a la descrita en la prueba anterior, con la medición de la apertura del inyector y constatación de variación del pulso del mismo tanto en aceleraciones como en desaceleraciones, con la finalidad de determinar el punto donde el inyector trabajo con mayor apertura.

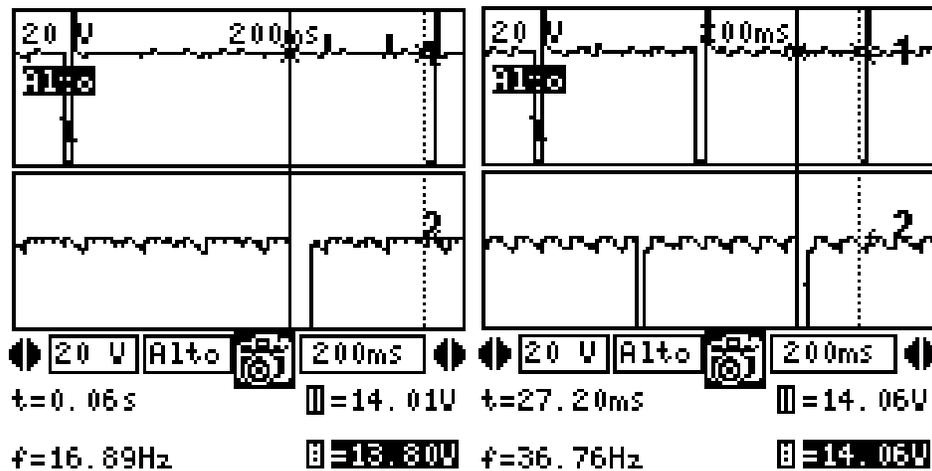


Fig. 47. Variación del tiempo de inyección y el pulso de inyección a bajas rpm y altas rpm. Fuente: El Autor.

El tiempo de inyección también depende de la retroalimentación lambda la cual indica la cantidad de combustible inyectado. Para ver cómo funciona se activa y desactiva el sensor O2, observando la variación de la cantidad de combustible en el tiempo de pulso de inyección. Aunque esta medición es algo difícil debido a que la computadora impondrá un valor de lambda para el control del pulso y su longitud o duración, es posible ver las pequeñas variaciones de inyección.

El tiempo de inyección y también el adelanto al encendido están de la mano cuando el motor se encuentra frío o caliente. Para verificar esto se ha dispuesto que el sistema de refrigeración no esté controlado por la computadora, sino directamente por un sistema de abertura y cierre de voltaje. Con ello se lograra que el motor pueda trabajar en regímenes muy fríos o muy calientes, debido a la falta de refrigeración del sistema. Esto mejora las posibilidades de las variaciones de los regímenes cuando se genere una señal desde el potenciómetro hacia la computadora, simulando la señal del ECT. Si se coloca la conexión como se muestra en la figura, se podrá observar que las rpm del motor se

aceleran, sin necesidad de aumentar el giro del TPS o la carga del MAF, con lo cual esto solo depende de los pulsos de inyección.

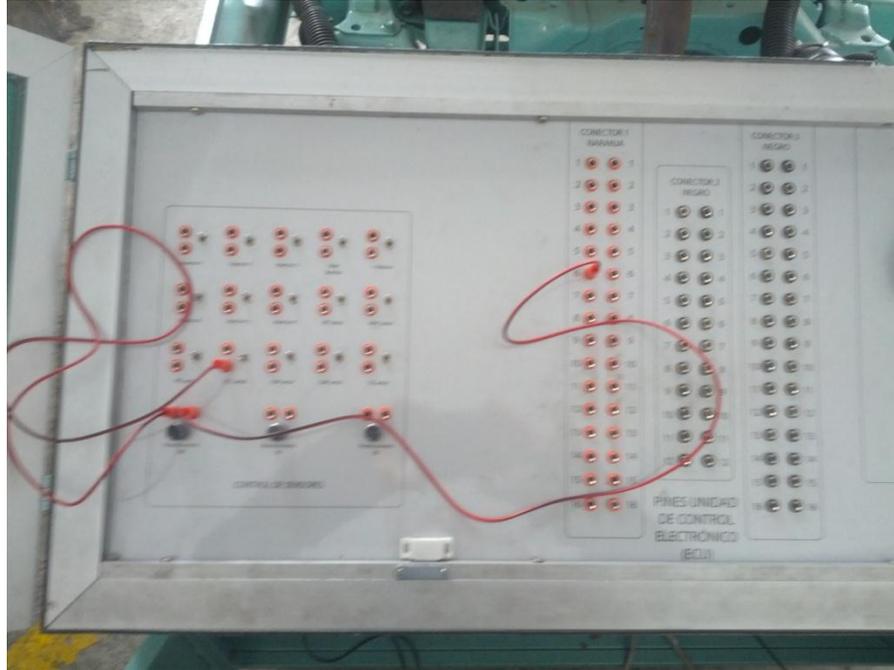


Fig. 48 Conexión de ECT a partidor de tensión con voltaje de referencia 5VDC del pin 6 conector naranja. Fuente: El Autor.



Fig. 49 Switch de accionamiento del ventilador independiente de su funcionamiento automático. Fuente: El Autor.

Conclusiones y recomendaciones.

El sistema de inyección electrónica secuencial (SFI) que posee el motor 3.8 L LG3 Buick V6 en el cual se desarrolló este proyecto, los inyectores trabajan de forma independiente cada uno y de acuerdo al orden de encendido.

El motor fue fabricado en el año 1988 y con una tecnología muy avanzada para ese entonces.

Una vez familiarizado con el banco se pueden generar las fallas de acuerdo a la creatividad e imaginación del operador de la misma o su instructor, pero hay que tener precaución antes de cualquier conexión y siempre aplicando.

Se recomienda mantener siempre revisar los niveles antes de iniciar las pruebas en la maqueta para evitar daños en la misma.

Reportar cualquier anomalía encontrada al instructor para que sea revisada y reparada de ser necesario.

BIBLIOGRAFIA

- FERGUSON, Colin y KIRKPATRIK, Allan, *Internal combustion Engines Applied thermoscience.*, Segunda edición, Jhon Wiley & Sons, Inc, New York, 2001.
- KIENKE, Uwe y NIELSEN Lars, *Automotive Control System*, Segunda edición. Springer, Berlin, 2005.
- PULKRABEK, Williard. *Engieniering fundamentals of the internal combustion engine*, volumen 2. Prentice Hall, New Jersey, 2003.
- SANTANDER, Jesús Rueda, *Manual técnico de fuel injection*. Tomo 1, 2 y 3. Diseli Editores, Guayaquil, 2006.
- CHILTON BOOK COMPANY. *Manual de reparación y mantenimiento*, Océano Grupo Editorial, EEUU. 1992.
- MARTYR, A. J. *Engine testing theory and practice*, Elsevier, Tercera edición. Oxford, 2007.
- 1988 PONTIAC OWNERS MANUAL BONNEVILLE.

ANEXOS.

ANEXO 1

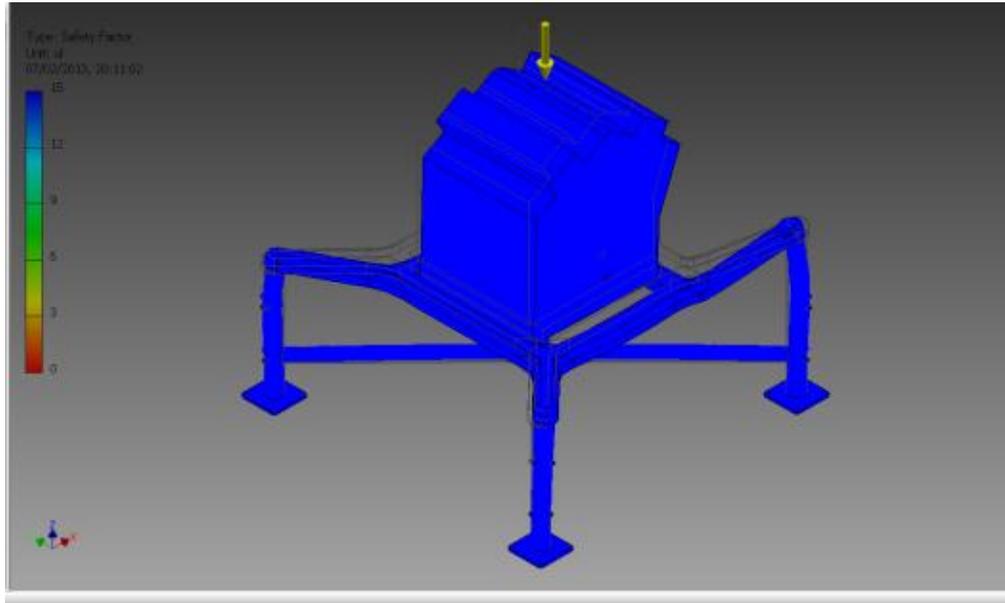


Fig. 50 Gráfica de programa inventor, Factor de seguridad. Fuente: El autor

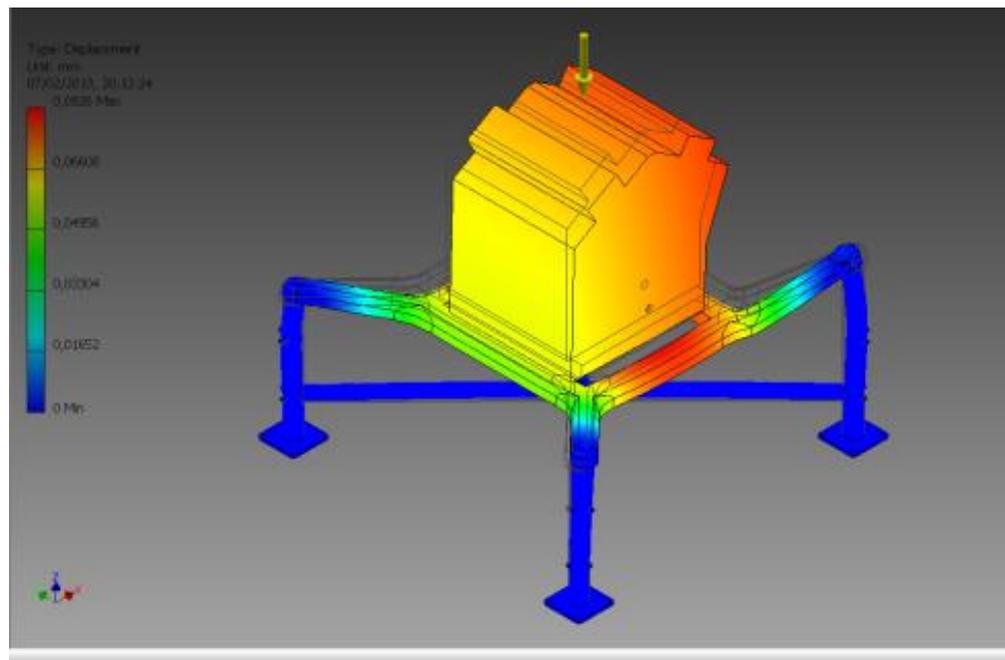


Fig. 51 Gráfica de programa inventor, deformación máxima. Fuente: El autor

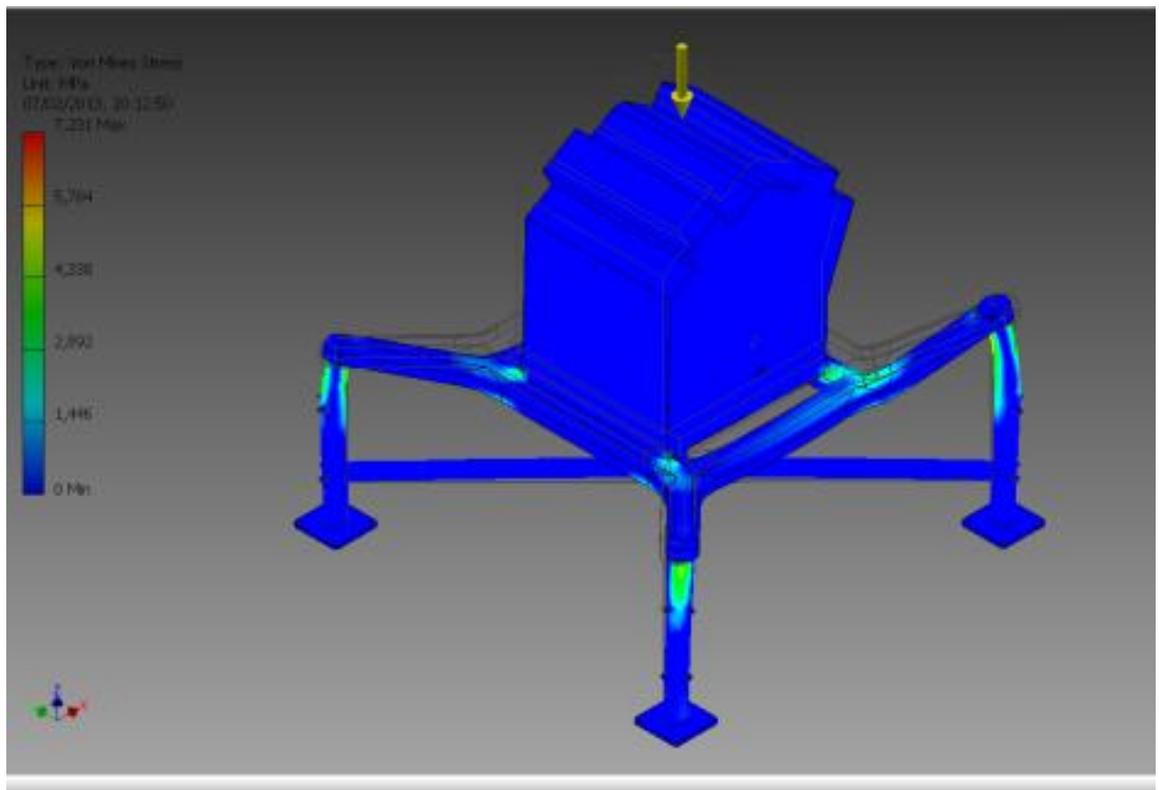


Fig. 52 Gráfica de programa inventor, esfuerzo de Von Mises. Fuente: El autor

ANEXO 2

TABLA DE CODIGOS DE FALLA PARA GM

CODIGO	DESCRIPCION
12	Modo diagnóstico.
13	Sensor de oxígeno.
14	Voltaje bajo en el circuito del Sensor del Refrigerante (CTS).
15	Voltaje alto en el circuito del Sensor del Refrigerante (CTS).
21	Voltaje alto en el Sensor de Posición del Acelerador (TPS).
22	Voltaje bajo en el Sensor de Posición del Acelerador (TPS).
23	Voltaje alto en la temperatura del aire del múltiple (MAT).
24	Sensor de Velocidad del Vehículo (VSS).
25	Voltaje bajo en la temperatura del aire del múltiple (MAT).
32	Funcionamiento defectuoso del sistema EGR.
33	Lectura del Sensor de Masa de Flujo de Aire demasiado alta o MAP demasiado alto.
34	Lectura demasiado baja del Sensor de Masa de Flujo de Aire o MAP demasiado bajo.
35	Error en el control de velocidad de Marcha Mínima (válvula IAC).
36	Problema de quemado en el MAF (sólo MAF tipo Bosch).

41	Interrupción en la señal del tacómetro al ECM.
42	Problema en el control del Tiempo de Encendido Electrónico (ESC).
43	Problema en el sistema en el Sensor de Detonación (ESC).
44	Condición de mezcla pobre en el escape.
45	Condición de mezcla rica en el escape.
51	PROM defectuoso o instalación del PROM.
52	Falla del Cal-Pak.
53	Voltaje alto en la batería.
54	Bajo voltaje en la bomba de combustible.
55	ECM defectuoso.