



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERIA



**INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL PARA LA CONVERSIÓN DE UN
MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA A BI-COMBUSTIBLE.**

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECATRÓNICO

PRESENTA:

ABRAHAM SÁNCHEZ MARTÍNEZ

DIRECTOR DE TESIS:

M. EN I. ANTONIO ZEPEDA SÁNCHEZ

DEDICATORIA- Y AGRADECIMIENTOS

A mis padres por toda la comprensión, paciencia y amor recibido durante mi formación académica y desarrollo personal. Muchas gracias por todo el apoyo los quiero mucho.

A mis hermanos y hermanas Juan, Emma y Edith por su apoyo, cariño y ayuda a lo largo de mis estudios.

A todos mis amigos; muy en especial a Fernando, Gabriel, Vladimir, Melissa, Karen, Jimena por sus porras y grandes vivencias a lo largo de más de 7 años de amistad. Gracias por todo el apoyo recibido durante la etapa académica de mi vida.

A mis amigos y compañeros de trabajo Daniel, Jazmín y Eduardo, por su apoyo, amistad y vivencias ganadas en el Centro de Diseño Mecánico (CDM).

En especial muchas gracias a Alejandra Matamoros por todo el apoyo y por las grandes lecciones de vida compartidas a lo largo de la carrera. Aprecio y valoro mucho cada experiencia vivida, que como resultado me han ayudado a consolidarme como un ingeniero y persona integral.

A la máxima casa de estudios de México; la UNAM por apoyar y creer en la juventud como un pilar fundamental para el desarrollo sustentable de México.

A la honorable facultad de Ingeniería de la UNAM por formar ingenieros integrales y comprometidos con la sociedad que los rodea; además de incentivar el deseo de crecimiento de México como nación, a partir del conocimiento científico aplicado.

PROLOGO

El presente trabajo aborda las diferentes etapas de la implementación de un motor dual o bi-combustible, a partir de una planta generadora de electricidad con un motor de combustión interna. Se desarrollan las etapas de análisis de factibilidad, diseño, implementación, instrumentación y control.

El propósito de la obra es informar al lector sobre formas alternativas de bajo costo de implementación con la finalidad de obtener motores duales a partir de un sistema de inyección electrónica. Con las innovadoras ideas acerca de las energías limpias y bajo el principio de contaminar lo menos posible, surge la idea de emplear motores duales que operen con GLP (Gas Licuado del Petróleo) como combustible alternativo a la gasolina; ya que estos se obtienen por métodos menos contaminantes y su huella de carbono es inferior comparado con la gasolina y diesel.

El alcance del presente trabajo abarca hasta un primer prototipo funcional, aunque se tiene proyectado a un mediano plazo poder incorporar esta tecnología en el mercado mexicano, donde actualmente se encuentra una brecha y necesidad muy marcada, debido al cambiante esquema del programa "Hoy no Circula" en donde se trata con demasiado rigor a los vehículos que no cumplen con un estándar de emisiones pactado. De tal forma que para poder circular todos los días es necesario cumplir con el rango de emisiones que comprende la calcomanía cero, contar con un automóvil de modelo reciente y en buen estado o contar con un vehículo híbrido.

Cabe mencionar que la tesis mencionada a continuación es un proyecto que forma parte de la colaboración entre la Facultad de Ingeniería con la Facultad de Química y el FORDECyT de CONACYT.

ÍNDICE

CONTENIDO	PÁGINA
DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS	I
PRÓLOGO	II
Índice de Tablas	
Índice de Figuras	
OBJETIVO DEL TRABAJO	
i Introducción	
i.I. Planteamiento del problema.	
i.II. Justificación.	
ii Antecedentes	1
ii.I. El motor de combustión interna, ciclo Otto.	
ii.II. Componentes principales de un MCI.	
ii.III. Características del ciclo Otto.	
ii.III.I. Diagrama de estado del ciclo Otto.	
ii.III.II. Ciclo Otto teórico y real.	
ii.IV. El panorama vehicular en México.	
Capítulo 1 Análisis de combustibles y motores duales comerciales.	
1.1. Estudio comparativo y analítico de combustibles.	
1.1.1. Definición de propiedades físicas y químicas de un combustible.	
1.1.2. Principales propiedades de un combustible.	

1.1.3. Gasolina.	
1.1.4. Gas Licuado del Petróleo.	
ANEXO DIESEL	
1.2. Investigación en tecnologías similares; motores comerciales duales.	
1.2.1. Czech Trade.	
1.2.2. General electric.	
1.2.3. Clean Air Power.	
1.2.4. Caterpillar.	
1.2.5. KIA Morning	
1.3. Conversión de un motor de gasolina a Gas LP en México.	
Capítulo 2 Análisis y selección del motor de combustión interna a emplear.	
2.1. Descripción del motor de trabajo seleccionado, ficha técnica.	
2.2. Análisis de factibilidad de volverlo un MCI dual.	
2.3. Mezcla Estequiometria de la gasolina y GLP.	
2.4. Descripción y selección de los principales sensores a emplear.	
2.4.1. Sensor de flujo de Aire MAF.	
2.4.2. Conexiones físicas del sensor de flujo de Aire MAF.	
2.4.3. Caracterización del sensor MAF.	
ANEXO CODIGO SENSOR MAF ARDUINO	
2.4.4. Sensor de Oxígeno.	
2.4.5. Conexiones físicas del sensor de Oxígeno.	
2.4.6. Caracterización del sensor de Oxígeno.	
ANEXO CODIGO SENSOR OXÍGENO ARDUINO	
2.4.10. Sensor de Efecto Hall.	
2.4.11. Conexiones físicas del sensor de Efecto Hall.	
2.4.12. Prueba del sensor de efecto Hall.	
ANEXO CODIGO SENSOR efecto Hall ARDUINO	

2.5. Estudio de remplazo de carburador por inyector.	
2.5.1. Inyector Bosch NGI2.	
2.5.2. Conexiones físicas del Inyector Bosch NGI2.	
2.5.3. Caracterización Bosch NGI2.	
ANEXO CODIGO inyector ARDUINO	
Capítulo 3: Propuesta de control e instrumentación del MCI.	
3.1. Modelo de control para el motor de 3.5 kw.	
3.2. Operación del Sensor de Oxígeno en Lazo Cerrado	
3.3. Comportamiento del sensor de oxígeno A/F	
Capítulo 4 Implementación y validación de pruebas.	
4.1. Colocación y ajustes al sensor MAF.	
4.2. Colocación y ajustes al sensor de Oxígeno.	
4.3. Colocación y ajustes del sensor de efecto Hall.	
4.4. Colocación y ajustes de la bomba de gasolina.	
4.5. Colocación y ajustes del sistema de inyección de gas LP.	
4.6. Colocación del inyector Bosch NGI2 y ajustes al mezclador seleccionado.	
4.7. Validación, pruebas de campo y resultados obtenidos.	
Conclusiones	
Referencias	
Anexos	

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA	PÁGINA
i Introducción	
ii Antecedentes	
Tabla ii.1: Aumento en el número de automóviles. INEGI 2014	
Capítulo 1 Análisis de combustibles y motores duales comerciales.	
Tabla 1.1: Valores promedio de ignición de combustibles.	
Tabla 1.2: Punto de ebullición de los principales combustibles.	
Tabla 1.3: Propiedades generales de la gasolina.	
Tabla 1.4: Propiedades generales del GLP.	
Tabla 1.5 Características técnicas principales del M46DF.	
Capítulo 2 Análisis y selección del motor de combustión interna a emplear.	
Tabla 2.1: Lecturas obtenidas del sensor MAF.	
Tabla 2.2: Relación de flujo de aire másico registrado por el microcontrolador con respecto al que pasa por el sensor MAF.	
Tabla 2.3: Tabla de conexiones sensor de Oxígeno.	
Tabla 2.4: Resultados obtenidos de la ejecución del programa.	
Tabla 2.5: Características operativas del inyector seleccionado.	
Tabla 2.6: Tasa de flujo probadas para el inyector seleccionado.	
Tabla 2.7: Conexiones físicas empleadas.	
Capítulo 3 Propuestas de control e instrumentación del MCI.	
Tabla 3.1: Relación aire-combustible.	
Capítulo 4 Implementación y validación de pruebas.	
Tabla 4.1: Elementos de los sistemas de gasolina y gas.	
Tabla 4.2: Velocidades angulares manejadas a diferentes regímenes de trabajo.	

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
i Introducción	
ii Antecedentes	
Figura ii.1: Nicolaus August Otto.	
Figura ii.2: componentes principales de un motor de combustión interna.	
Figura ii.3: Primera Etapa ciclo Otto, admisión.	
Figura ii.4: Primera Etapa ciclo Otto, compresión.	
Figura ii.5: Primera Etapa ciclo Otto, combustión.	
Figura ii.3: Primera Etapa ciclo Otto, escape.	
Figura ii.7: Diagramas de estado Ciclo Otto.	
Figura ii.8: Ciclo Otto ideal y ciclo Otto real.	
Figura ii.9: Contaminantes tóxicos y no tóxicos.	
Figura ii.10: Programa "Hoy No Circula" SEMOVI 2015	
Figura ii.11: Niveles de gases contaminantes emitidos de la combustión.	
Capítulo 1 Análisis de combustibles y motores duales comerciales.	
Figura 1.1: Numero de octanos en algunos combustibles.	
Figura 1.2: Motor Czech Trade.	
Figura 1.3: Motor diésel GE.	
Figure 1.4: Motor Clean Air Power.	
Figura 1.5: Motor dual Caterpillar.	
Figura 1.6: KIA Morning	
Capítulo 2 Análisis y selección del motor de combustión interna a emplear.	
Figura 2.1: Características operativas del motor Briggs & Stratton.	
Figura 2.2: Curva característica del motor Briggs & Stratton.	
Figura 2.3: Curva de comportamiento del sensor MAF.	
Figura 2.4: Componentes del sensor MAF.	
Figura 2.5: Conexión Sensor MAF.	
Figura 2.6: Conexión física del sensor MAF.	
Figura 2.7: Colocación del Sensor MAF	
Figura 2.8: Sensor MAF seleccionado.	
Figura 2.9: Microcontrolador Arduino UNO	
Figura 2.10: Implementación física sensor MAF.	
Figura 2.11: Gráfica de dispersión de MAF vs TIEMPO.	
Figura 2.12 Componentes del sensor de oxígeno.	

Figura 2.13: Ubicación del sensor de Oxígeno.	
Figura 2.14: Operación de un sensor de Oxígeno.	
Figura 2.15: Tipos de señales eléctricas de un sensor de Oxígeno.	
Figura 2.16: Rango de operación de un sensor de Oxígeno.	
Figura 2.17: Selección de sensor de Oxígeno.	
Figura 2.18: NI USB 6000 series	
Figura 2.19 Front Panel sensor de Oxígeno	
Figura 2.20: Comportamiento ideal de un sensor Lambda.	
Figura 2.21: Esquema de conexiones sensor de oxígeno.	
Figura 2.22: Conexión física del sensor de oxígeno.	
Figura 2.23: Presión ejercida por un flujo de aire en un conducto	
Figura 2.24: Efecto Vénturi.	
Figura 2.25: Carburador del motor Briggs & Stratton.	
Figura 2.26: Ubicación física del carburador.	
Figura 2.27: Sistema de inyección Electrónica	
Figura 2.28: Partes de un inyector	
Figura 2.29: Patrón de automatización ideal (izquierda) incorrecto (derecha)	
Figura 2.30: Partes que conforman un inyector.	
Figura 2.31: Inyector Bosch NGI2	
Figura 2.32: Ensamble inyector Bosch NGI2.	
Figura 2.33: Esquemático de etapa de potencia.	
Capítulo 3 Propuestas de control e instrumentación del MCI.	
Figura 3.1: Operación del sensor de oxígeno en lazo cerrado.	
Figura 3.2: Modelo de control diseñado.	
Figura 3.3: Comportamiento del sensor de Oxígeno A/F.	
Capítulo 4 Implementación y validación de pruebas.	
Figura 4.1: Cople de PVC empleado en el sensor MAF.	
Figura 4.2: implantación final del sensor MAF.	
Figura 4.3: Posición ideal para colocar el sensor de oxígeno.	
Figura 4.4: Base de aluminio empleada para fijar el sensor de oxígeno.	
Figura 4.5: Colocación de base, tubo y sensor de oxígeno.	
Figura 4.6: Ensamble final del sensor de oxígeno.	
Figura 4.7: Eje delantero del motor.	
Figura 4.8: Parte posterior del eje del motor.	
Figura 4.9: Instalación del sensor de efecto hall junto con el imán.	
Figura 4.10: Bobina de ignición y su ubicación en el motor.	
Figura 4.11: Colocación del sensor de efecto hall en el motor.	
Figura 4.12: Bomba de gasolina seleccionada.	
Figura 4.13: Conexiones de la bomba de gasolina.	
Figura 4.14: Arquitectura de sistema bi-combustible.	
Figura 4.15: Conexiones físicas de mangueras motor dual.	

Figura 4.16: Conexiones eléctricas y de mangueras.	
Figura 4.17: Mezclador con adaptación para inyector.	
Figura 4.18: FEM del mezclador.	
Figura 4.19: Fabricación base de mezclador.	
Figura 4.20: Base de aluminio para el mezclador fabricada.	
Figura 4.21: Base del mezclador terminada.	
Figura 4.22: Mezclador terminado.	
Figura 4.23: Ensamble de base con mezclador.	
Figura 4.24: Obstrucción empleada en el riel de inyectores.	
Figura 4.25: Obstrucción para inyector dos.	
Figura 4.26: Ensamble del riel de inyectores con el tapón.	
Figura 4.27: Ensamble del inyector junto con las salidas de combustible.	
Figura 4.28: Ensamble del inyector por interferencia.	
Figura 4.29: Sistema de inyección electrónica completo.	
Figura 4.30: Sistema de control de motor dual completo.	

OBJETIVO DEL TRABAJO

El objetivo del presente trabajo es estudiar y realizar la conversión de un motor de combustión interna a gasolina para hacerlo bi-combustible; es decir que pueda operar con dos combustibles: gasolina y Gas Licuado del Petróleo (GLP) empleando un sistema de inyección electrónica.

OBJETIVOS PARTICULARES

- A) Proponer el diseño para la adaptación de un MCI de gasolina a GLP, convirtiéndolo en un motor Dual.
- B) Implementar el diseño en un motor **BRIGGS & STRATTON** con la finalidad de obtener un prototipo de motor dual.
- C) Diseñar un modelo de control con el cual el motor pueda trabajar de forma eficiente con gasolina o GLP



i. INTRODUCCIÓN

OBJETIVO DEL CAPÍTULO: Realizar un acercamiento al aumento de los gases productos de la combustión de la gasolina en México, así como las nuevas tecnologías que se emplean actualmente para atenuar la cantidad que se emiten a la atmósfera.

ALCANCES: Se planteará la posibilidad de migrar de gasolina a GLP mediante el empleo de motores duales.

i.I. Planteamiento del problema.

i.II. Justificación.

INTRODUCCIÓN

El tema de este trabajo abarcó el diseño conceptual, instrumentación, y control de un motor de combustión interna para volverlo dual; es decir a partir de un motogenerador a gasolina Briggs & Stratton de 3.5 kw, se realizaron las modificaciones correspondientes para que fuera capaz de operar con gasolina y Gas Licuado del Petróleo (GLP).

Por otra parte es de suma importancia mencionar que el motor por defecto opera con un carburador, para volverlo dual y aumentar su eficiencia se reemplazó este carburador por un sistema de inyección electrónica.

La forma en la que se atacó la cuestión anteriormente mencionada es con la implementación de un sistema de control que fuera capaz de ayudar a obtener los tiempos óptimos de inyección de los combustibles y además conocer mediante el empleo de sensores el tipo de mezcla manejada (rica o pobre) después de analizar los gases productos de la combustión y que esto a su vez nos proporcione un sistema de lazo cerrado con retroalimentación que ayude a obtener un acertado modelo de control.

El enfoque dado al presente trabajo consta de tres etapas:

Diseño: Abarca el análisis del motogenerador a detalle, sus componentes, características, arquitectura, ficha técnica. Con base en el análisis anterior se dedujo la forma correcta de reemplazar el sistema de carburador por uno de inyección electrónica; que altere lo mínimo posible la arquitectura original del motogenerador. También se trabajó en la selección de los componentes comerciales y manufacturados a emplear y el lugar correcto donde ubicarlos. Algunos elementos que se incorporaron fueron el inyector Bosch NGI2, el mezclador de combustible, la bomba de gasolina, el sistema de mangueras y llaves para alternar entre combustibles, el circuito de control, las fuentes de alimentación externas, el regulador de presión de gas y las conexiones y líneas de cableado eléctrico.

Implementación: Se refiere a la consumación y montaje en físico de todo lo hecho en la etapa de diseño en el motogenerador. Así como a la manufactura de un mezclador con la doble función de ayudar a montar el inyector y apoyar a mezclar el aire con el combustible.

Cabe mencionar que la manufactura del mezclador fue propia, por el contrario el diseño del mezclador se tomó de un proyecto de tesis del alumno Daniel Arellano (ingeniería mecánica). Agregando ciertos cambios al diseño original para poder montar el inyector en el mezclador. Actualmente el mezclador se encuentra en una etapa de pruebas de validación.

En esta etapa se realizaron pruebas de funcionamiento del sistema de inyección y de la correcta operación de los sensores empleados.

Control: En esta etapa se trabajó específicamente en la obtención de las mezclas estequiométricas de cada combustible a emplear, así como en la calibración de los tiempos correctos de inyección para cada combustible.

Se trabajó igual en un modelo de control basado en un modo de operación "ciclo rico-ciclo pobre". Además de que se realizaron pruebas de validación para asegurar el correcto funcionamiento del motogenerador a un régimen de giro constante.

El tema expuesto en la presente tesis se diferencia de los trabajos que se están llevando actualmente en otras instancias y universidades principalmente por la implementación de un sistema de inyección dual, ya existen gran variedad de motores duales y sistemas híbridos, aunque no se cuenta con mucho desarrollo en el ámbito de motores duales con sistema de inyección electrónica. Por lo cual un motor dual (gasolina y GLP) con sistema de inyección electrónica (como el presentado en esta tesis) representa una buena oportunidad para seguir estudiando acerca de las prestaciones que ofrece esta tecnología teniendo como objetivo un posible uso en nuestra vida cotidiana en un futuro cercano.

i.I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A pesar de las medidas empleadas por el gobierno para reducir la cantidad de gases contaminantes emitidos a la atmósfera, los resultados obtenidos aun no son los óptimos, en gran medida debido al constante aumento en la cantidad de automóviles, que no contamos con una cultura de vialidad desarrollada, que existen muchos automóviles sin registro vehicular, entre otros factores.

Existen otras alternativas para reducir los gases contaminantes y están comenzando a tener éxito a nivel mundial, como son los automóviles híbridos; (con un MCI y uno eléctrico.) Solo que en este momento es una tecnología muy cara y costosa para pocas personas.

El enunciado de oportunidad radica principalmente en: ¿Se puede migrar a otros tipos de combustible, Como el Gas Licuado del Petróleo o GLP, que tengan un menor impacto en el medio ambiente comparado con la gasolina y que a su vez sea una tecnología más barata comparada con la de un automóvil híbrido?

i.II. JUSTIFICACIÓN

Debido al uso cada vez mayor de la gasolina como combustible primordial; es decir al tener una demanda que cada vez más cercana a la oferta; es lógico pensar que el precio de este combustible aumente desmesuradamente; sin contemplar el hecho de que este recurso natural (petróleo) cada vez es más difícil y escaso de obtener. He aquí la importancia de poder emplear eficientemente todos los derivados del petróleo, un derivado es el GLP o Gas licuado del petróleo.

El GLP es un combustible amigable con el ambiente, comparado con la gasolina y el diesel, no emite partículas sólidas y reduce 90 por ciento de las emisiones de hidrocarburos y se evita la contaminación del suelo o los mantos freáticos, además su combustión es prácticamente libre de olor.

Abordemos la siguiente situación que se presenta actualmente en la Ciudad de México:

Supongamos que en 500 mil taxis sus motores emplearan GLP, el consumo promedio de éstos en un recorrido diario de 200 kilómetros es de 20 litros, esto es debido a que su empleo es en estado gaseoso, lo que permite alta eficiencia en su combustión. En términos de volumen, un litro de GLP líquido se convierte en aproximadamente 300 litros de gas en estado gaseoso. Se requiere el 10% de vapor de gas mezclado con 90% de aire para que la combustión se dé de forma eficiente con lo que se sustituirían aproximadamente el consumo de 3 mil millones de litros de gasolina al año, lo que generaría una mejora en la calidad del aire en el Valle de México.

El costo de gas natural para vehículos es de 7.64 pesos por litro mientras que el litro de gasolina magna y diésel es de 13.57 pesos por litro del primero y de 14.20 pesos por litro del segundo.

Por otra parte con el nuevo régimen del programa "hoy no circula" los vehículos que emplean GLP es muy factible que obtengan la calcomanía "00" y a su vez la "0" dependiendo del año del vehículo. En el antiguo régimen del programa, podían circular todos los días sin restricción alguna, solo se debía de realizar una verificación voluntaria.

ii. ANTECEDENTES

OBJETIVO: Conocer la información fundamental relacionada con un motor de combustión interna, así como su importancia y empleo en las últimas décadas en México.

ALCANCES: Se analizará el aumento de los gases contaminantes resultantes del empleo de combustibles fósiles; así como las medidas que ha tomado el gobierno mexicano para controlar y monitorear estas emisiones en los últimos años.

- ii.I. El motor de combustión interna, ciclo Otto.
- ii.II. Componentes principales de un MCI.
- ii.III. Características del ciclo Otto.
- ii.IV. El panorama vehicular en México.

ii.I. EL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA, CICLO OTTO



Figura ii.1 Nicolaus August Otto.

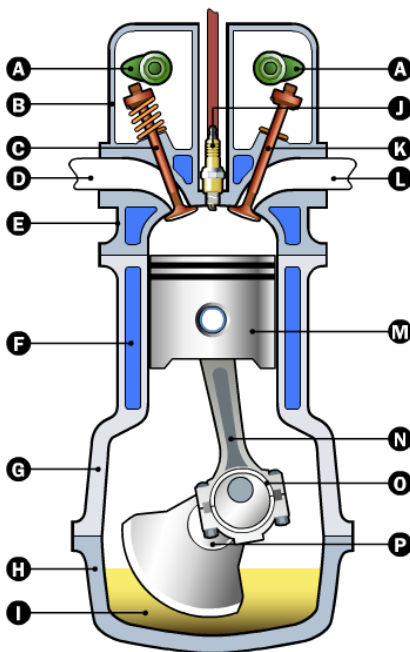
Nicolaus August Otto
1832 - 1891

Ingeniero alemán, que diseñó el motor de combustión interna en 1875.

- ✓ En los 15 años siguientes se vendieron más de 50,000 motores
- ✓ En 1884, la patente de Otto se hizo pública.

ii.II. COMPONENTES PRINCIPALES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA

En la figura ii.2 se muestra los componentes principales de un motor de combustión interna.



- A)** ÁRBOL DE LEVAS
- B)** COBERTURA DE LA VÁLVULA
- C)** VÁLVULA DE ADMISIÓN
- D)** PUERTO DE ADMISIÓN
- E)** CABEZAL
- F)** REFRIGERANTE
- G)** BLOQUE DE MOTOR
- H)** CARTER
- I)** ACEITE
- J)** BUJÍA
- K)** VÁLVULA DE ESCAPE
- L)** PUERTO DE ESCAPE
- M)** PISTÓN
- N)** BIELA
- O)** COJINETE DE LA BIELA
- P)** CIGÜEÑAL

Figura ii.2 Componentes principales de un motor de combustión interna.

ii.III. CARACTERÍSTICAS DEL CICLO OTTO

1) ADMISIÓN

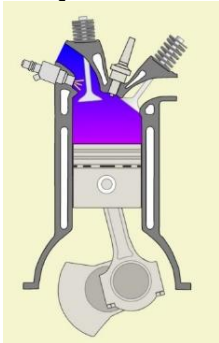


Figura ii.3 Primera Etapa ciclo Otto, admisión.

En esta primera etapa el pistón realiza una carrera negativa (hacia el punto muerto Inferior o PMI). En la figura ii.3 se ejemplifica el proceso. Se presentan las siguientes características:

- ✓ La válvula de admisión está abierta.
- ✓ La válvula de escape se encuentra cerrada.
- ✓ Se presenta una caída de presión; lo cual permite que la mezcla aire-combustible sea aspirada al interior de la cámara de combustión.

2) COMPRESIÓN

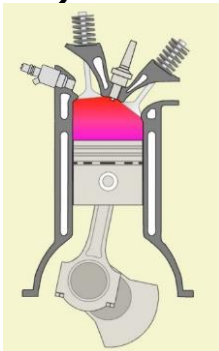


Figura ii.4 Segunda Etapa ciclo Otto, compresión.

En esta segundo tiempo la válvula de admisión se cierra y el pistón se encuentra en una carrera positiva hacia el PMS (punto muerto superior) comprimiendo la mezcla aire-combustible. En la figura ii.4 se ejemplifica esta etapa. Se presentan las siguientes características:

- ✓ La presión aumenta.
- ✓ La temperatura aumenta.

3) COMBUSTIÓN

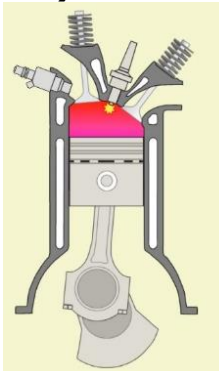


Figura ii.5 Tercera Etapa ciclo Otto, combustión.

En este tercer tiempo, justo antes de que el pistón termine su carrera positiva hacia el PMS la bujía realiza la ignición de la mezcla previamente comprimida, lo cual hace que los gases de combustión se expandan y que a su vez el pistón empiece su carrera negativa al PMI. En la figura ii.5 se ejemplifica el proceso. Se presentan las siguientes características:

- ✓ La presión en el cilindro disminuye.
- ✓ La temperatura disminuye.

4) ESCAPE

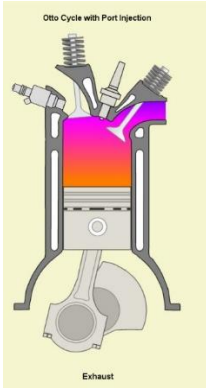


Figura ii.6 Cuarta Etapa ciclo Otto, escape.

El cuarto tiempo es crítico en la eficiencia del motor; ya que se busca desplazar fuera del cilindro todos los gases remanentes de la combustión, con la finalidad de que cuando una nueva mezcla aire-combustible sea inducida en la cámara de combustión no se tenga la presencia de gases contaminantes. En la figura ii.6 se ejemplifica esta etapa.

- ✓ La valvula de escape se encuentra abierta.

ii.III.I. DIAGRAMAS DE ESTADO DEL CICLO OTTO

En la figura ii.7 se puede observar el diagrama Presión-Volumen del ciclo Otto ideal. A continuación se explica que sucede en cada uno de los cuatro tiempos.

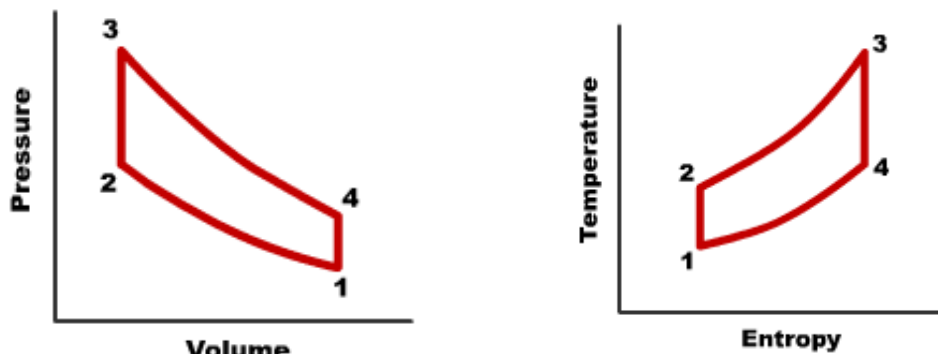


Figura ii.7 Diagramas de estado Ciclo Otto.

- 1-2 Compresión isentrópica.
- 2-3 Combustión a volumen constante.
- 3-4 Expansión isentrópica.
- 4-1 Escape a volumen constante.

ii.III.II. CICLO OTTO TEÓRICO Y REAL

En la siguiente figura, se muestra una comparación del ciclo Otto ideal o teórico (color rosa) contra el ciclo Otto real (color morado) En donde se pueden apreciar las pérdidas de presión que hacen que se diferencie del ciclo ideal.

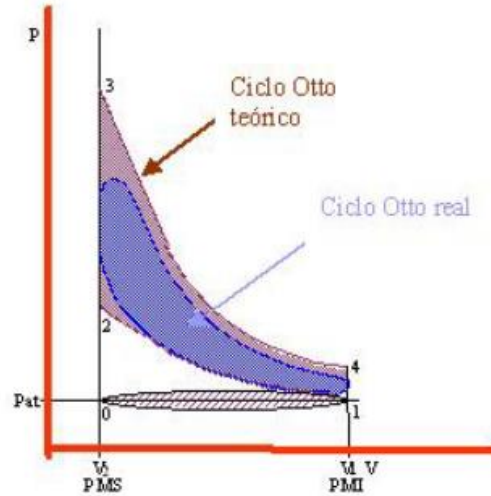


Figura ii.8 Ciclo Otto ideal contra ciclo Otto real.

ii.IV. El panorama vehicular en México

En las últimas décadas la Ciudad de México ha presentado un crecimiento demográfico muy acelerado, lo cual presenta un reto para el gobierno en tratar de satisfacer las necesidades de los habitantes. Una necesidad principal son los medios de transporte, ya que las personas requieren de formas eficientes y seguras de llegar a sus destinos. Una de las formas más aceptadas es el automóvil.

Según cifras del INEGI el número de automóviles en México está en aumento de la siguiente forma:

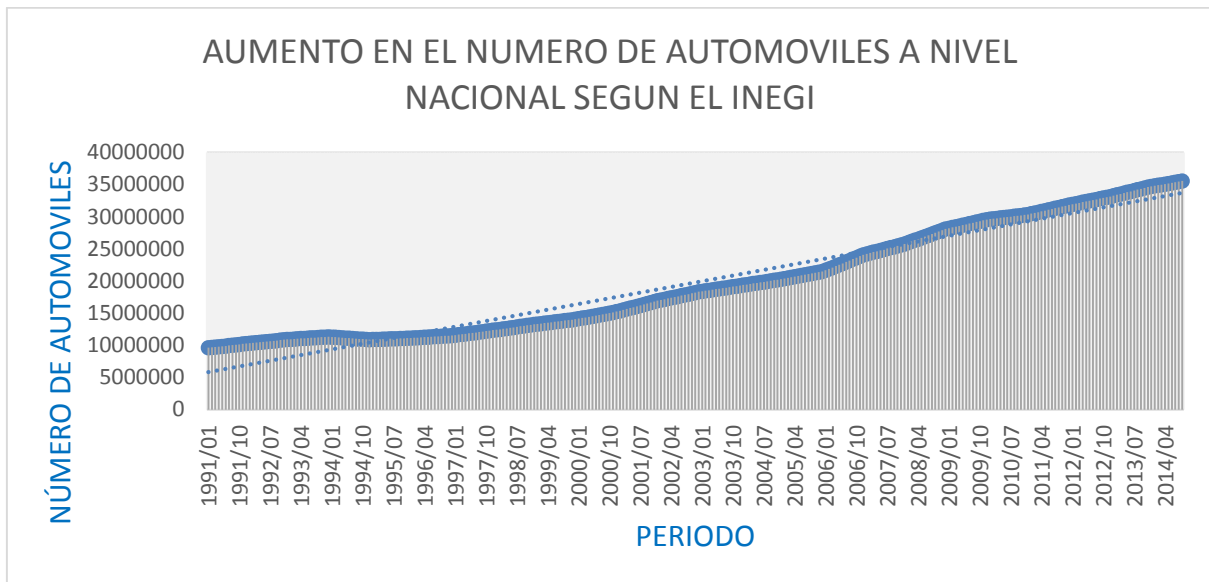


Tabla ii.1 Aumento en el número de automóviles. INEGI 2014.

De la tabla ii.1, se puede inferir que a lo largo del tiempo la cantidad de emisiones contaminantes derivadas de la quema de combustibles fósiles va en aumento; los principales gases que se obtienen como resultado de la combustión son los siguientes:

NITRÓGENO (N₂) El nitrógeno es un gas no combustible, incoloro e inodoro. La mayor parte del nitrógeno aspirado vuelve a salir puro en los gases de escape.

OXÍGENO (O₂) Es un gas incoloro, inodoro e insípido. Es imprescindible para el proceso de combustión

AGUA (H₂O) Se produce con motivo de la combustión fría (fase de calentamiento del motor

DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂) Es un gas incoloro. Se produce al ser quemados los combustibles que contienen carbono, reduce el estrato de la atmósfera terrestre.

MONÓXIDO DE CARBONO (CO) Es un gas incoloro, inodoro, explosivo y altamente tóxico. Resultado de una combustión incompleta

ÓXIDOS NÍTRICOS (NO_x) Son combinaciones de nitrógeno N₂ y oxígeno O₂ Los óxidos de nitrógeno se producen al existir una alta presión, alta temperatura y exceso de oxígeno durante la combustión en el motor

DIÓXIDO DE AZUFRE (SO₂) Propicia las enfermedades de las vías respiratorias, pero interviene sólo en una medida muy reducida en los gases de escape.

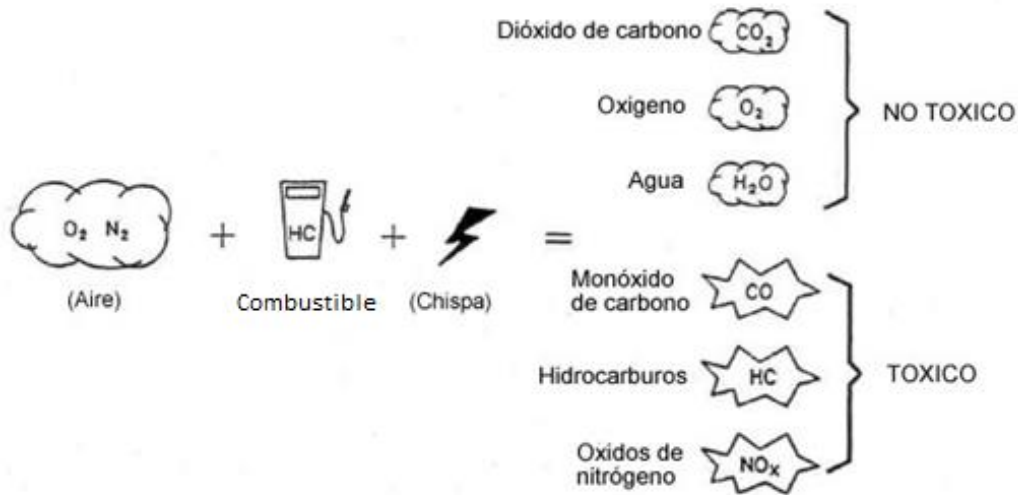


Figura ii.9 Contaminantes tóxicos y no tóxicos.

Como se muestra en la figura ii.9 algunos de los gases contaminantes, resultados de la quema de combustibles son tóxicos, por lo cual las autoridades mexicanas implementaron medidas con la finalidad de controlar estos gases; comúnmente conocidos como gases de efecto invernadero. El principal programa es llamado: "Hoy no circula". Cuyas restricciones se muestran en la figura siguiente.

HOLOGRAMA	ANTES	AHORA	
E*	Híbridos y eléctricos	Sin cambio	■ Podrá verificarse el vehículo de manera anticipada para obtener el holograma 0. Ello no exime de la verificación semestral obligatoria
00	Cero a dos años	Sin cambio	
0	Hasta 8 años	Autos con más de ocho años pueden acceder al holograma 0 si sus emisiones son bajas.	■ De no obtener el 0, existe la posibilidad de realizar nuevamente la prueba, que incluye revisión visual de humo, componentes vehiculares y emisiones contaminantes
1	De 9 a 15 años		
2	Más de 15 años		

Figura ii.10. Esquema del programa Hoy no Circula SEMOVI 2015.

En la figura ii.11 se puede apreciar los diferentes niveles de gases contaminantes que son emitidos por cada uno de los principales combustibles empleados actualmente.

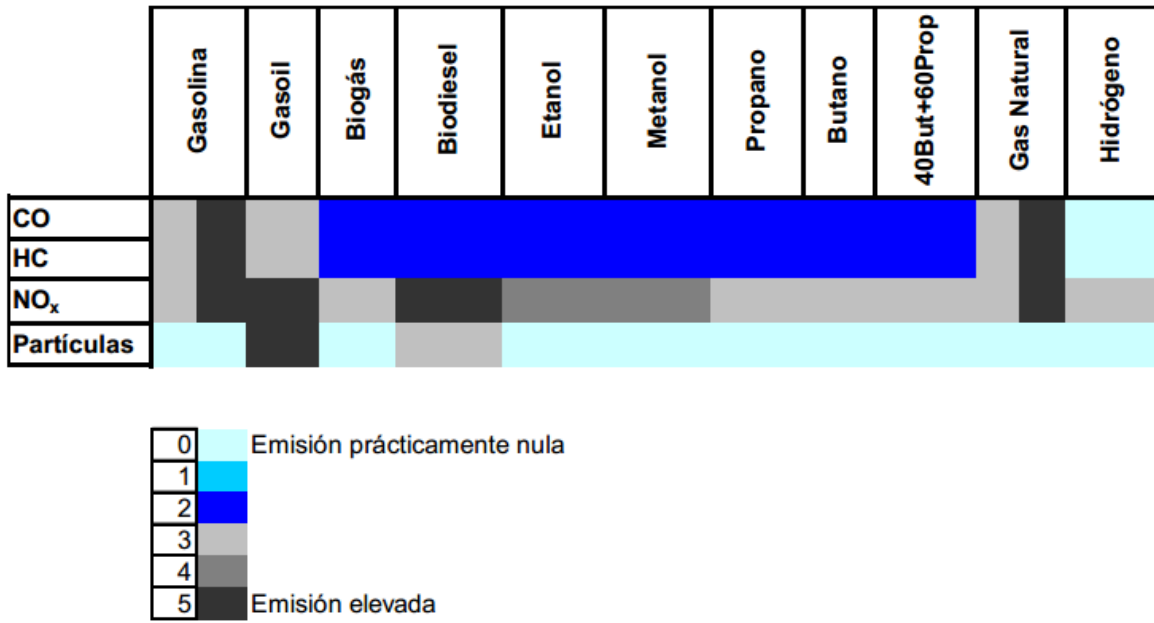


Figura ii.11 Niveles de gases contaminantes emitidos, productos de la combustión.

CAPÍTULO 1: ANÁLISIS DE COMBUSTIBLES Y MOTORES DUALES COMERCIALES.

OBJETIVO: Dar a conocer las principales propiedades de los combustibles, así como los más empleados en motores duales. Además de presentar una investigación acerca de los que se encuentran en el mercado actualmente.

ALCANCES: El capítulo se limita al estudio únicamente de motores duales y las propiedades de los combustibles que se emplean para su funcionamiento.

- 1.1 Estudio comparativo y analítico de combustibles.
- 1.2 Investigación en tecnologías similares; motores comerciales duales.
- 1.3 Conversión de un motor de gasolina a Gas LP en México.

1.1. ESTUDIO COMPARATIVO Y ANALÍTICO DE COMBUSTIBLES

A continuación se muestra un análisis de los combustibles más empleados en motores de combustión interna. Antes es necesario comprender algunos conceptos básicos que nos indican las propiedades de cada combustible y son de gran utilidad en la selección correcta de éste.

1.1.1. DEFINICIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE UN COMBUSTIBLE

Las características físicas son aquellas que afectan la capacidad para formar una mezcla gaseosa de combustible y aire apropiada para el tipo de motor en el que se vaya a utilizar.

Las características químicas, son las que afectan a su capacidad y comportamiento durante la combustión

1.1.2. PRINCIPALES PROPIEDADES DE UN COMBUSTIBLE

ESTADO: sólido, líquido o gaseoso. El estado del combustible influye en su almacenamiento y dispensación.

Los combustibles en fase gas se mezclan con el aire más fácilmente y además no se necesita vaporizarlos previamente a la mezcla.

COMPOSICIÓN QUÍMICA: Indica la proporción de los componentes que conforman el combustible. Nos permite realizar diversos cálculos relacionados con la combustión, principalmente la mezcla estequiométrica y los productos de la reacción de combustión.

PODER CALORÍFICO DEL COMBUSTIBLE: Capacidad de un combustible para ceder calor mediante una reacción ideal de oxidación. Indica la cantidad de energía que teóricamente se puede obtener de una cantidad determinada de combustible

PODER CALORÍFICO INFERIOR DEL COMBUSTIBLE (PCI): Es la cantidad de calor producido por la combustión teórica y completa de una unidad de masa o volumen del combustible sin que condense el vapor de agua que contienen los productos de la combustión.

PODER CALORÍFICO SUPERIOR DEL COMBUSTIBLE (PCS): Es la cantidad de calor producido por la combustión teórica y completa de una unidad de masa o volumen de combustible suponiendo que condense el vapor de agua que contienen los productos de la combustión.

DENSIDAD O PESO ESPECÍFICO: Relación existente entre una masa de combustible y el volumen que ocupa en unas condiciones de referencia de presión y temperatura dadas.

DENSIDAD RELATIVA: Es la relación existente entre el peso específico del combustible y el peso específico de un elemento de referencia. Para sólidos y líquidos el elemento de referencia es el agua (1000 kg/m³), y para gases es el aire (1,293 kg/m³).

NÚMERO DE OCTANO (N.O.): Número normalizado para caracterizar la resistencia de un combustible para llegar a producir detonación o autoencendido en un motor

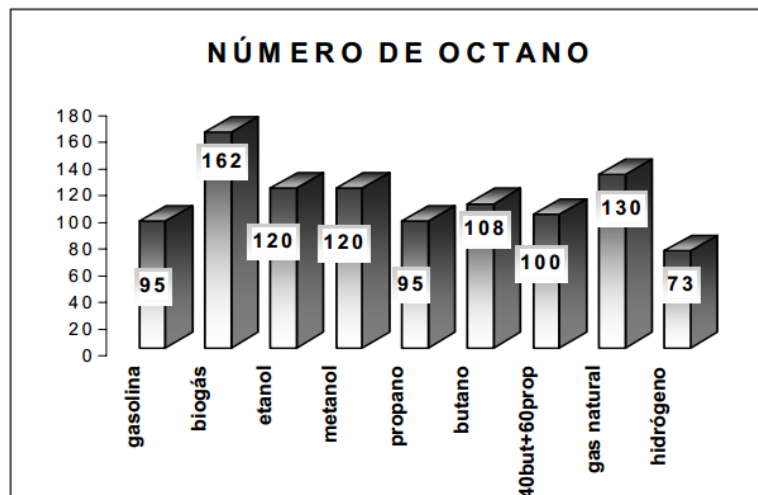


Figura 1.1 Numero de Octanos de algunos combustibles.

PUNTO DE INFLAMACIÓN (NIVEL DE IGNICIÓN): Temperatura a partir de la cual una mezcla de combustible y aire es capaz de iniciar la reacción.

COMBUSTIBLE	TEMPERATURA DE IGNICIÓN [°C]
Gasoline	350 - 520
Benzene	520 - 600
Furnace oil	~340
Propane	~500
Natural gas	~650
Butane (n)	430
City gas	~450
Coke	550 - 600
Brown coal	200 - 240
Soot	500 - 600

Tabla 1.1 Valores promedio de ignición de combustibles.

VISCOSIDAD: La viscosidad es una medida de la fluidez de un elemento, y depende de la temperatura a la que se mida. Una sustancia fluye lentamente cuando está fría (más viscosa) y más rápidamente cuando está caliente (menos viscosa).

PRESIÓN DE VAPOR: Es la presión ejercida por el vapor de un líquido cuando se encuentra en equilibrio de fase.

NÚMERO DE CETANO (N.C.): Es la medida de la capacidad de autoignición del combustible, redundando en la calidad de ignición y posterior combustión.

NÚMERO DE METANO (N.M.): Número normalizado para caracterizar la capacidad del gas natural para no llegar a producir detonación en los motores.

CURVA DE DESTILACIÓN: Indica la temperatura a la cual se evapora un determinado porcentaje de combustible

PUNTO DE EBULLICIÓN: Es la temperatura a la cual se produce la transición de la fase líquida a la gaseosa.

Punto de ebullición (°C)	Átomos de carbono	Productos
<30	1-4	gas natural, metano, butano, gas licuado
30-200	4-12	Eter de petróleo, nafta, ligroína, gasolina cruda
150-300	12-15	queroseno
300-400	15-25	gas-oil, fuel-oil, aceites lubricantes, ceras, asfaltos
>400	>25	aceite residual, parafinas, breas

Tabla 1.2 Punto de ebullición de algunos combustibles.

MEZCLA ESTEQUIOMÉTRICA: Es la relación entre la cantidad de aire y la de combustible necesario para que se produzca la combustión completa y sin que falte ni sobre comburente. Indica la cantidad de unidades de aire necesarias para reaccionar de modo ideal con una unidad de combustible.

LÍMITES DE INFLAMABILIDAD: La cantidad de aire precisa para que se produzca la combustión es variable y tiene unos límites llamados de inflamabilidad: el inferior y el superior, entre los cuales es posible la ignición del combustible con el aire.

1.1.3. GASOLINA

DEFINICIÓN

La gasolina es una mezcla manufacturada que no ocurre naturalmente en el medio ambiente. Es un líquido incoloro, pardo pálido o rosado, y es sumamente inflamable.

COMPOSICIÓN

Se trata de una mezcla de cadenas de hidrocarburos de cinco a nueve átomos de carbono, de relativa volatilidad, con o sin pequeñas cantidades de aditivos, los cuales están mezclados para formar un combustible conveniente para uso en motores de combustión interna.

La composición química media que se utiliza es $C_{7,18}H_{13,1}O_{0,1}$, considerada como la más habitual, siendo sus componentes básicos el hidrógeno y el carbono.

PROPIEDADES

Las principales propiedades de la gasolina se centran en las cuatro que se describen a continuación:

NÚMERO DE OCTANO: La gasolina tiene un número de octano entre 90 y 100 dependiendo del tipo de gasolina.

CURVA DE DESTILACIÓN: Se considera que a un 10% de destilación, con una temperatura de ebullición inferior a 70°C, se asegura la presencia de componentes volátiles para un fácil arranque en frío.

A un 50% de destilación, con una temperatura de ebullición inferior a 140°C, se asegura una volatilidad correcta y una máxima potencia durante la aceleración del motor.

A un 90% y al punto final de destilación, con una temperatura de ebullición inferior a 190°C y 225°C respectivamente, se evitan tanto depósitos en el motor como dilución del aceite y se proporciona un buen rendimiento del combustible.

VOLATILIDAD: la gasolina es muy volátil. Esta propiedad de la gasolina se mide como la presión de vapor la cual tiene un valor de 0.7-0.85 mmHg.

CONTENIDO DE AZUFRE: Se relaciona con la cantidad de azufre presente en el producto. Si esta cantidad sobrepasa la norma establecida, la gasolina puede tener efectos corrosivos sobre las partes metálicas del motor y de los tubos de escape.

A continuación se resume en la tabla 1.3 las principales propiedades y características de la gasolina como combustible.

propiedades	unidades	COMBUS
		GASOLINA
Motor de ciclo	-	Otto
Composición química	-	$C_{7,18}H_{13,1}O_{0,1}$
Masa molar	kg/mol	0,0992
Estado	-	líquido
Poder calorífico inferior	MJ/kg-MJ/m ³	43,53-32020
	kcal/kg-kcal/m ³	10398,95-7649307,21
	Termias/kg-Termias/m ³	10,40-7649,31
Densidad	kg/m ³	705-770
Densidad relativa	-	0,705-0,770
Número de Metano	-	25-40
Número de Octano	-	90-100
Número de Cetano	-	-
Viscosidad (40°C)	cSt	-
Temperatura de autoignición	°C	500
Punto de ebullición	°C	30-205
Curva de destilación	°C	30-205
Dosado estequiométrico mas.	kg aire/ kg comb	14,19
Dosado estequiométrico vol.	m ³ aire/m ³ comb	8863,510
Densidad mezcla comb/aire	kg/m ³	1,268
Límites de inflamabilidad	% (vol)	1-7,6
PCI mezcla comb/aire	MJ/kg	2,86
Consumo específico habitual inferior	g/kwh	295,95
Consumo específico habitual superior		360,29
Emisiones CO ₂ (teóricas)	g/kwh	271,87
Adapaciones del motor	sí/no	-

Tabla 1.3 Propiedades generales de la gasolina.

1.1.4. GAS LICUADO DEL PETRÓLEO GLP

DEFINICIÓN

Las siglas GLP designan una serie de gases que se obtienen en la destilación del petróleo. Los GLP son subproductos o derivados del petróleo que se almacenan y transportan en forma líquida aunque van siempre acompañados de una bolsa o cámara de fase gaseosa.

Los gases licuados del petróleo pertenece a la llamada tercera familia de gases la cual se define como: la formada por el butano y el propano, como productos derivados de la destilación del petróleo y que se conservan en forma líquida en depósitos

COMPOSICIÓN

Los gases butano y propano, en estado puro, son hidrocarburos del tipo C_nH_{2n+2} :

- ✓ Butano: C_4H_{10}
- ✓ Propano: C_3H_8

La composición más habitual de los GLP, es un 40% de butano y un 60% de propano

PROPIEDADES

Algunas de sus propiedades más significativas son las siguientes:

- ✓ No son tóxicos ni corrosivos, solo se desplaza el oxígeno, por lo que no es propio para respirarlo mucho tiempo.
- ✓ No contiene plomo ni ningún aditivo añadido.
- ✓ No contiene azufre en su composición.
- ✓ Son inodoros e incoloros, sin embargo para detectar su fuga se le añaden sustancias que producen un olor fuerte y desagradable.
- ✓ Son más pesados que el aire, si tienen alguna pequeña fuga pueden extenderse por el suelo y los fosos de inspección.
- ✓ El GLP es un combustible económico, por su rendimiento en comparación con otros combustibles.
- ✓ Es excesivamente frío, porque cuando se ha licuado se le ha sometido a muy bajas temperaturas de bajo 0° . Por lo tanto el contacto con la piel produce quemaduras de la misma manera que lo hace el fuego.

VENTAJAS

Si se consideran los motores utilizados con GLP para vehículos destinados al transporte se encuentran una serie de ventajas técnicas frente a otros combustibles, como son:

- ✓ Una mezcla homogénea, controlada y bien distribuida con el aire comburente en los cilindros, facilitando así una combustión más completa.
- ✓ La combustión del GLP, no genera el tipo de carbón en la cámara de admisión que hace que la vida de las bujías sea menor, por ello la vida útil se prolonga a más del doble de tiempo.

- ✓ Los aceites lubricantes del motor se mantienen limpios más tiempo debido a la ausencia de depósitos carbonosos.
- ✓ Es económico en comparación con la gasolina.

Actualmente el GLP es utilizado como carburante en el transporte público, entre otras, en dos ciudades europeas, Viena con 500 autobuses y Valladolid con una flota de 75 autobuses, siendo los resultados obtenidos muy satisfactorios.

propiedades	unidades	COMBUSTIBLES					
		GLP					
		Propano		Butano		Butano40-Propano60	
Motor de ciclo	-	Otto		Otto		Otto	
Composición química	-	C ₃ H ₈		C ₄ H ₁₀		0,4C ₄ H ₁₀ +0,6C ₃ H ₈	
Masa molar	kg/mol	0,044		0,058		0,0496	
Estado	-	licuado	gas	licuado	gas	licuado	gas
Poder calorífico inferior	MJ/kg-MJ/m ³	46,38-93,68		45,71-122,79		45,99-105,32	
	kcal/kg-kcal/m ³	11079,79-22379,36		10919,73-29333,49		10986,62-25160,06	
	Temias/kg-Temias/m ³	11,08-22,38		10,92-29,33		10,99-25,16	
Densidad	kg/m ³	510	2,02	580	2,68	540	2,28
Densidad relativa	-	0,51	1,56	0,58	2,08	0,54	1,77
Número de Metano	-	32		52		40	
Número de Octano	-	95		108		100	
Número de Cetano	-	-		-		-	
Viscosidad (40°C)	cSt	-		-		-	
Temperatura de autoignición	°C	480		420		493	
Punto de ebullición	°C	-42		-6,2		-17	
Curva de destilación	°C	-		-		-	
Dosado estequiométrico mas.	kg aire/ kg comb	15,72		15,5		15,63	
Dosado estequiométrico vol.	m ³ aire/m ³ comb	6767,283	26,804	7588,419	35,0637292	7124,335	30,081
Densidad mezcla comb/aire	kg/m ³	1,26	1,215	1,261	1,226	1,26	1,22
Límites de inflamabilidad	% (vol)	2,37-9,50		1,83-8,42		2,15-9,06	
PCI mezcla comb/aire	MJ/kg	2,77		2,77		2,77	
Consumo específico habitual inferior	g/kwh	277,61		281,31		279,11	
Consumo específico habitual superior	g/kwh	337,95		342,46		339,78	
Emissiones CO ₂ (teóricas)	g/kwh	233,17		239		235,98	
Adaptaciones del motor	sí/no	sí		sí		sí	

Tabla 1.4 Propiedades generales del GLP.

Diésel

Otro combustible muy empleado actualmente, pero que no es relevante en el presente trabajo (debido a que no es compatible con la arquitectura del motor seleccionado para el modelo de control) es el combustible diésel. Para encontrar toda la información relacionada con este combustible, referirse al **ANEXO 1**.

1.2. INVESTIGACIÓN EN TECNOLOGÍAS SIMILARES; MOTORES COMERCIALES DUALES.

Existen dos principales variantes en las que se puede encontrar un motor dual:

- ✓ Que desde que se concibe el diseño; el motor esté preparado para trabajar con dos combustibles.
- ✓ Que se adapte un motor de gasolina para poder trabajar con dos combustibles

A continuación se muestran los principales motores comerciales duales que se pueden encontrar en el mercado. Cabe destacar que ninguno de los mencionados se vende en México.

1.2.1. CZECH TRADE



Empresa con centro de servicio en la Republica Checa. El motor dual que ellos ofrecen es el siguiente:

Se parte de un motor diésel. Se le hacen adaptaciones para que pueda operar con una mezcla conjunta de Diésel con gas natural, en menor proporción el segundo. Orientado totalmente al sector industrial, el motor es de gran tamaño.

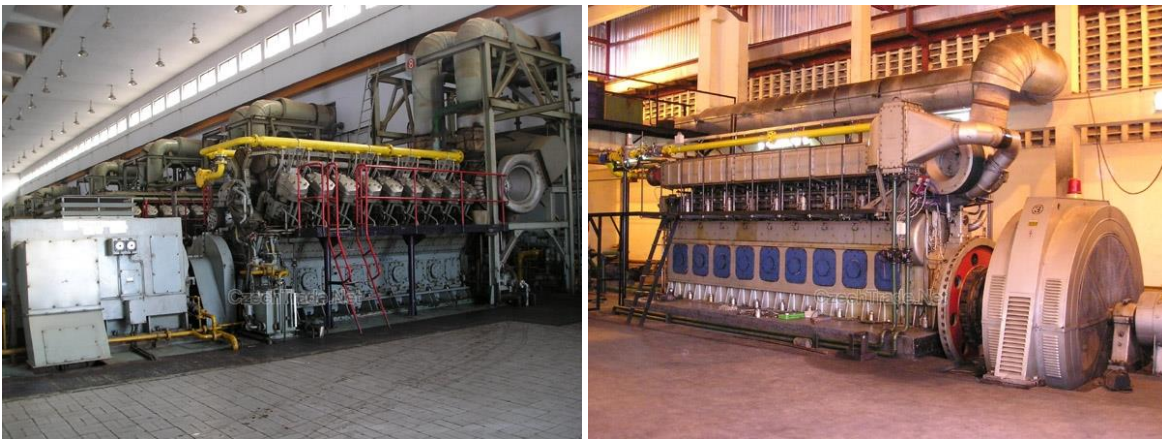


Figura 1.2 Motor Czech Trade.

1.2.2. GENERAL ELECTRIC

La empresa GE ofrece un motor diésel que es capaz de trabajar hasta con un 80% de gas natural en su mezcla estequiometrica, de nueva cuenta es con aplicaciones industriales y principalmente se emplea en locomotoras.

El director de GE Global Research, Mark Little, explica: "El combustible diésel suele ser unas 10 veces más caro que el gas natural, por unidad de energía. Hay muchas empresas que están dejando de utilizarlo".



Figura 1.3 Motor diesel G.E.

1.2.3. CLEAN AIR POWER



Empresa con centro de servicio en Inglaterra, líder en creación y conversión a motores duales. Ofrecen además al mercado camiones de transporte de carga funcionando con esta tecnología.

Todos sus motores operan con un motor diésel y se apoyan en gas natural.

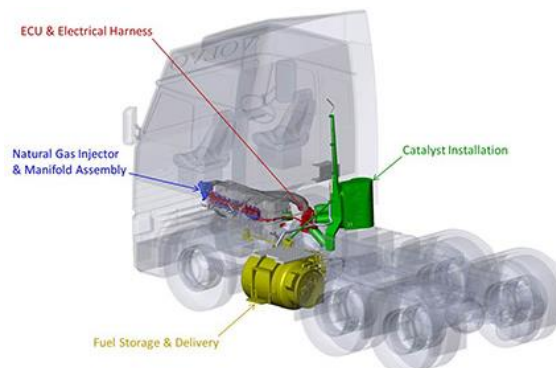


Figura 1.4 Motor Clean Air Power.

1.2.4. CATERPILLAR

CATERPILLAR

Caterpillar ha iniciado la introducción en el mercado de nuevos motores duales marinos de media velocidad. El M46DF es capaz de quemar gas natural con un índice de metano mínimo de 55 en baja carga. La ignición controlada del gas se logra mediante la inyección piloto de una pequeña cantidad de combustible diesel a través de un inyector dedicado y un sistema 'common rail' propio.

Tabla de características técnicas principales del M46DF

		DIESEL MODE	GAS MODE
Emission	-	IMO II	IMOIII
Bore	mm	460	460
Stroke	mm	610	610
Speed	rpm	500/514	500/514
Power	kW/cyl.	900	900 (MN \geq 80)
BMEP	bar	21.3/20.7	21.3/20.7
Liquid fuel consumption	g/kW@100%	186	1.9
Gas fuel consumption	kJ/kW @100%	-	7,200
Efficiency (development target)	%	45.0	50.0

Tabla 1.5 Características técnicas principales del M46DF.

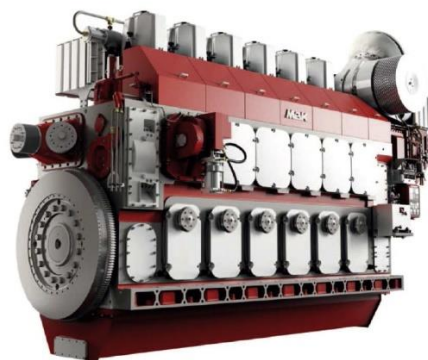


Figura 1.5 Motor dual Caterpillar.

1.2.5. KIA MORNING BICOMBUSTIBLE GASOLINA GLP



Es el automóvil más reciente lanzado en Alemania que funciona con un motor de gasolina y que además puede operar en su totalidad con GLP.

El nuevo Morning GLP dispone de dos tanques de combustible el de gasolina de 35 litros regular en la posición normal por delante del eje trasero y un depósito de gas a presión de 27 litros situado bajo el piso de la cajuela, en el espacio anteriormente ocupado por la rueda de repuesto. El conductor puede cambiar de gasolina a GLP (y viceversa) con sólo pulsar un botón en el tablero.



Figura 1.6 Kia Morning.

1.3. CONVERSIÓN DE UN MOTOR DE GASOLINA A GLP EN MÉXICO



En México esta tecnología aún no tiene un desarrollo que se pueda comparar al de países europeos, sin embargo se está volviendo una opción atractiva frente al elevado precio de la gasolina y diésel; que además van en aumento.

El costo que se tiene con la empresa Gazo, que dirige en México Martín Meléndez Romero, para convertir un motor de un vehículo de 4 a 6 cilindros de gasolina o

diésel a gas natural es aproximado de 24,500 pesos y para una micro del transporte público, el costo para éstas es de 43,700 aproximadamente.

PRINCIPAL DESVENTAJA:

Solo se hacen las conexiones necesarias para que se pueda emplear GLP en el motor y se modifica el tiempo, es decir, se sincroniza la chispa de la bujía con el momento exacto en el que se debe de encender la mezcla.

Por otra parte en México no se venden inyectores con la capacidad de manejar dos combustibles; principal razón por la que se usa un mezclador con un carburador para el óptimo funcionamiento.

CAPÍTULO 2: ANÁLISIS DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA Y SENSORES A EMPLEAR.

OBJETIVO: Conocer las características operativas del motor de combustión interna y de los sensores seleccionados a emplear, así como detallar la integración de estos mismos en un posible sistema de control.

ALCANCES: Se analizará el principio de funcionamiento de cada sensor seleccionado y su importancia dentro del modelo de control.

- 2.1. Descripción del motor de trabajo seleccionado, ficha técnica.
- 2.2. Análisis de factibilidad de volverlo un MCI dual.
- 2.3. Mezcla Estequiometria de la gasolina y GLP.
- 2.4. Descripción y selección de los principales sensores a emplear.
- 2.5. Estudio de remplazo de carburador por inyector.

2.1 DESCRIPCIÓN DEL MOTOR DE TRABAJO SELECCIONADO, FICHA TÉCNICA

El MCI seleccionado fue una planta generadora de 3500 Watts de motor a gasolina. En la Figura 2.1 se detallan algunas de sus principales características operativas.



Figura 2.1 Principales características operativas del motogenerador Briggs & Stratton.

A continuación se muestra la curva característica del motor en cuestión, es importante mencionar que para este caso en específico se trabajará a un régimen de giro constante de 3600.

Los datos mencionados se apegan al código j1940 "Potencia en motores pequeños y medición de parámetros de par" de SAE (Society of Automotive Engineers) y son medidos en acuerdo con la norma SAE j1995.

Los valores de par son obtenidos a una velocidad angular de 2600 y 3060, mientras que los valores de potencia en hp se obtienen a 3600 como velocidad angular. Los valores de potencia netos se obtienen con el escape y filtro de aire colocado, mientras que la potencia bruta se obtiene sin estos elementos colocados. Debido a lo anterior es de esperar que la potencia bruta sea superior a la potencia neta y es debido también a otros factores como: condiciones ambientales, variaciones propias de motor a motor, etc.

En la figura 2.2 se puede apreciar la curva característica del motor Briggs & Stratton. Proporcionada por el fabricante, del motor en cuestión.

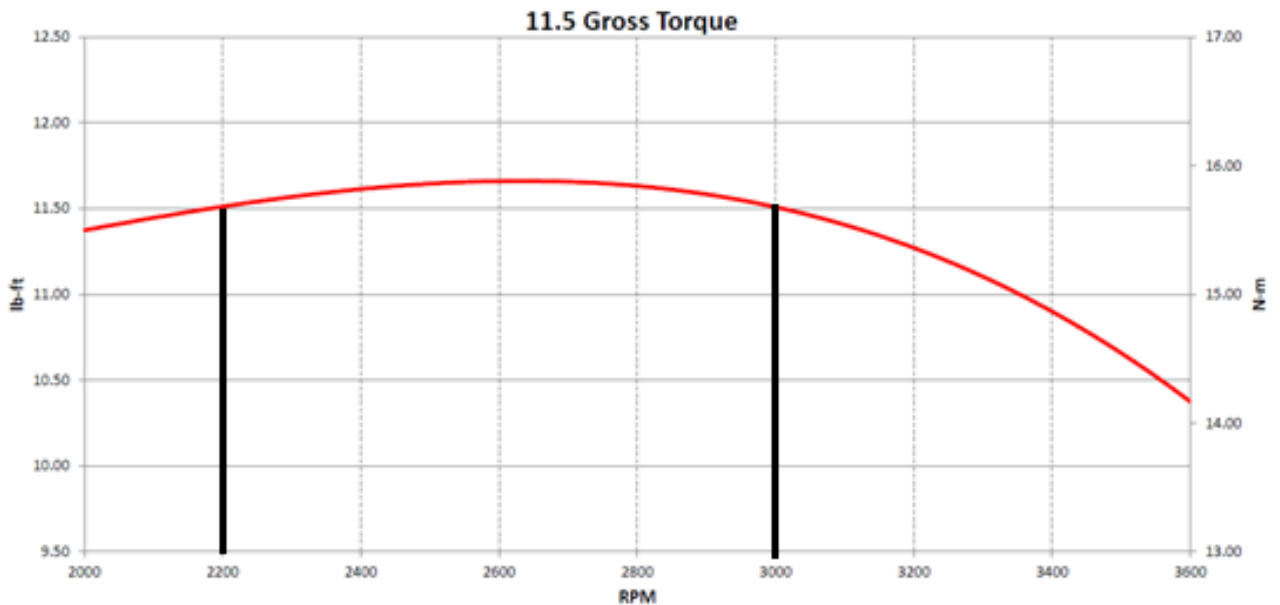


Figura 2.2 Curva característica del motor Briggs & Stratton.

2.2 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD DE VOLVERLO UN MCI DUAL

El MCI en cuestión presenta una oportunidad de ser convertido a un funcionamiento dual, a continuación se exponen los principales puntos por los cuales es factible realizar esta conversión.

- ✓ Consta de un pistón, lo cual implica que solo cuenta con una bujía y esto se resume en un modelo de control menos robusto en comparación con motores en los que se tienen varios pistones; lo que permite trabajar con dos combustibles diferentes.
- ✓ El motor es suministrado de combustible mediante un carburador, lo cual nos brinda la oportunidad de poder mejorar este sistema; mediante el empleo de un inyector con el fin de trabajar con dos combustibles.
- ✓ Al ser una planta generadora, trabaja a un régimen de giro constante, para lo cual es necesario tener un control preciso de tiempos de inyección de combustible ya que debe de ser una inyección constante para mantener un ritmo constante de trabajo.

2.3 MEZCLA ESTEQUIOMETRIA DE LA GASOLINA Y GLP

MEZCLA POBRE: Se dice que en un proceso de combustión la mezcla es pobre cuando se tienen mayores unidades de aire en comparación con las de combustible.

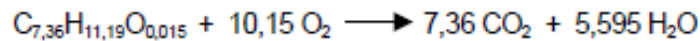
MEZCLA RICA: Se dice que en un proceso de combustión la mezcla es rica cuando se tienen mayores unidades de combustible en comparación con las de aire.

El dosado estequiométrico indica las unidades de aire que precisa una unidad de carburante para combustionar completamente. Su cálculo se determina a partir de la reacción estequiométrica de combustión, ésta nos indica la cantidad de oxígeno que se necesita para quemar todo el combustible y a partir del oxígeno se determina la cantidad de aire equivalente.

GASOLINA

o Composición: $C_{7,36}H_{11,19}O_{0,015}$

Reacción de combustión:



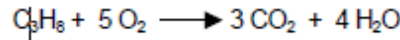
$$1 \text{ mol gasolina} = 99,75 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$$

$$10,15 \text{ mol } O_2 \times \frac{24,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}{1 \text{ mol } O_2} \times \frac{100 \text{ m}^3 \text{ aire}}{20,9 \text{ m}^3 O_2} \times \frac{1,1847 \text{ kg}}{1 \text{ m}^3 \text{ aire}} = 1,404 \text{ kg aire}$$

$$\text{Dosado estequiométrico} = \frac{1,404 \text{ kg aire}}{99,75 \cdot 10^{-3} \text{ kg gasolina}} = 14,07 \text{ kg aire / kg gasolina}$$

PROPANO

Reacción de combustión:



1 mol propano = 0,044 kg

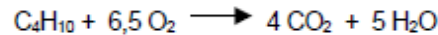
$$5 \text{ mol } O_2 \times \frac{24,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}{1 \text{ mol } O_2} \times \frac{100 \text{ m}^3 \text{ aire}}{20,9 \text{ m}^3 O_2} \times \frac{1,1847 \text{ kg}}{1 \text{ m}^3 \text{ aire}} = 0,6910 \text{ kg aire}$$

$$\text{Dosado estequiométrico} = \frac{0,6910 \text{ kg aire}}{0,044 \text{ kg propano}} = 15,72 \text{ kg aire / kg propano}$$

- **Butano**

- Composición: C_4H_{10}

Reacción de combustión:



1 mol butano = 0,058 kg

$$6,5 \text{ mol } O_2 \times \frac{24,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}{1 \text{ mol } O_2} \times \frac{100 \text{ m}^3 \text{ aire}}{20,9 \text{ m}^3 O_2} \times \frac{1,1847 \text{ kg}}{1 \text{ m}^3 \text{ aire}} = 0,899 \text{ kg aire}$$

$$\text{Dosado estequiométrico} = \frac{0,899 \text{ kg aire}}{0,058 \text{ kg butano}} = 15,50 \text{ kg aire / kg butano}$$

- **40Butano-60Propano**

- Composición: 40% C_4H_{10} + 60% C_3H_8

A partir de la proporción de cada componente y de su dosado estequiométrico calculado se calcula el dosado de esta mezcla.

$$\text{Dosado estequiométrico} = (0,6 \times 15,72) + (0,4 \times 15,50) = 15,63 \text{ kg aire / kg 40But + 60Prop}$$

2.4 DESCRIPCIÓN Y SELECCIÓN DE LOS PRINCIPALES SENSORES A EMPLEAR

2.4.1 SENSOR DE FLUJO DE MASA DE AIRE (MAF)

Este sensor se encarga de convertir la cantidad de aire que el motor aspira hacia la admisión en una señal de voltaje. La PCM (Powertrain Control Module) necesita saber el volumen de aire para calcular la "carga del motor", es decir, la cantidad de trabajo que el motor está realizando.

En consecuencia, esto es necesario para calcular cuánto combustible inyectar, cuando iniciar la chispa en cada uno de los cilindros y cuando meter los cambios de velocidad de la transmisión, cuando el diseño del fabricante así lo indique.

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

El termistor mide la temperatura del aire que ingresa al motor. El cable de platino es mantenido a una temperatura constante en relación a la temperatura del termistor y ese mantenimiento de temperatura es realizado por el circuito de control electrónico.

El circuito de control electrónico simultáneamente mide el flujo de corriente con lo que envía una señal de voltaje en proporción al flujo de corriente eléctrica, es decir, entre mayor sea la cantidad de aire que entre al motor ese incremento de aire enfriará más rápido al cable caliente, en consecuencia el circuito de control electrónico aumentará la corriente eléctrica para calentar más al cable de platino y justo cuando eso suceda, el mismo circuito de control electrónico se encargará de enviarle a la PCM una señal electrónica de incremento de voltaje; entre más aire ingrese al motor mayor será la señal de voltaje hacia la PCM. En la figura 2.3 se muestra el comportamiento del voltaje de un sensor MAF.

Señal de Voltaje del Sensor MAF

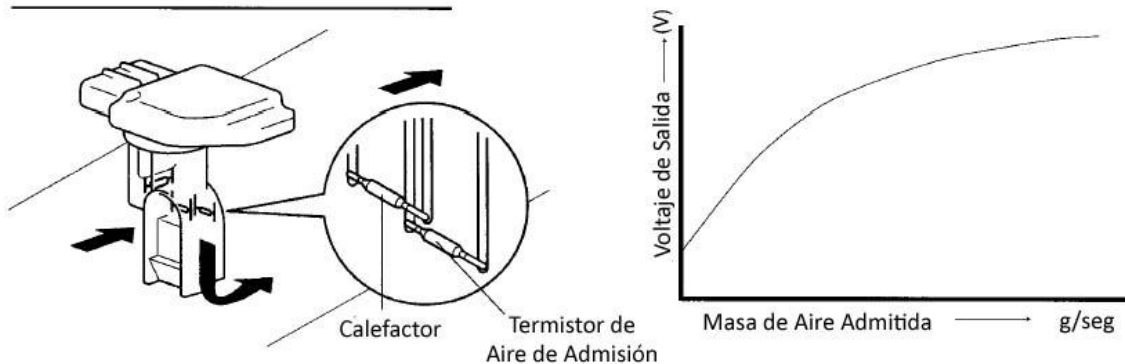


Figura 2.3 Curva de comportamiento sensor MAF.

UBICACIÓN

El sensor de flujo de masa de aire se localiza directamente en el conducto de entrada de aire, entre el filtro de aire y el cuerpo de aceleración, que es donde puede medir la cantidad de aire fresco que ingresa al motor.

COMPONENTES

Los componentes primarios internos de un sensor MAF son un termistor, un cable de platino de alta temperatura y un circuito de control electrónico. El sensor MAF incluye en su cuerpo un Sensor de Temperatura del Aire (IAT) como se muestra en la figura 2.4.

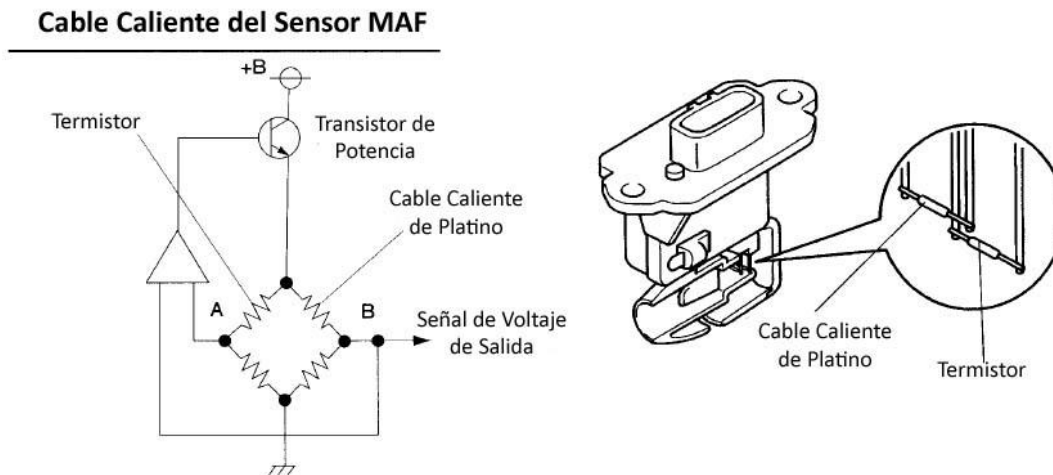


Figura 2.4 Componentes sensor MAF.

2.4.2. CONEXIONES FÍSICAS DEL SENSOR MAF

El sensor MAF empleado cuenta con cinco pines, los cuales se conectaron de la siguiente forma:

NUMERO DE PIN:	FUNCIÓN
1) Verde	Sensor de temperatura de aire.
2) Blanco	Alimentación de 12 V (fuente)
3) Gris	Negativo [1]
4) Amarillo	Voltaje de referencia 5 V (Arduino)
5) Marrón	Salida en voltaje del sensor MAF

[1] Cabe mencionar que para evitar diferencias de potencial se unió la terminal negativa de la tarjeta de desarrollo Arduino con la terminal negativa de la fuente empleada.



Figura 2.5 Conexión sensor MAF.

Las conexiones quedaron distribuidas de la siguiente manera:

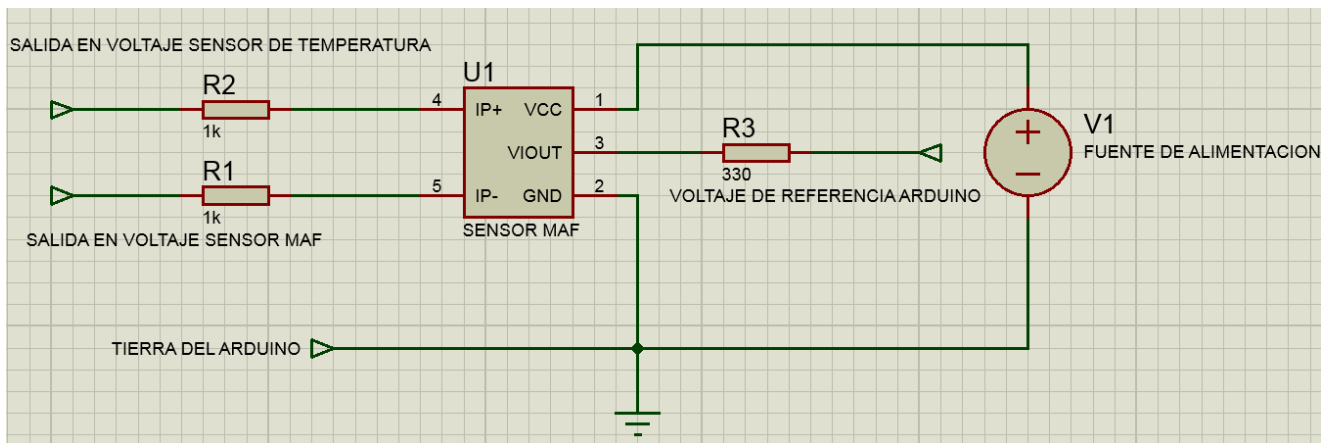


Figura 2.6 Conexiones físicas del sensor MAF.

El sensor MAF quedó conectado en campo de la siguiente manera, (Figura 2.7) cabe destacar que la implementación y detalles de acople se detallan en el siguiente capítulo.



Figura 2.7 Colocación del Sensor MAF.

2.4.3. CARACTERIZACIÓN DEL SENSOR MAF

El sensor MAF con el que se trabajó es el mostrado en la figura 2.5. Es un sensor Bosch, con número de parte: 06A 906 461 A. Es principalmente usado en la industria automotriz en los automóviles Jetta y Audi A4 modelos 2004. A continuación se muestran los componentes al interior del sensor; figura 2.8:

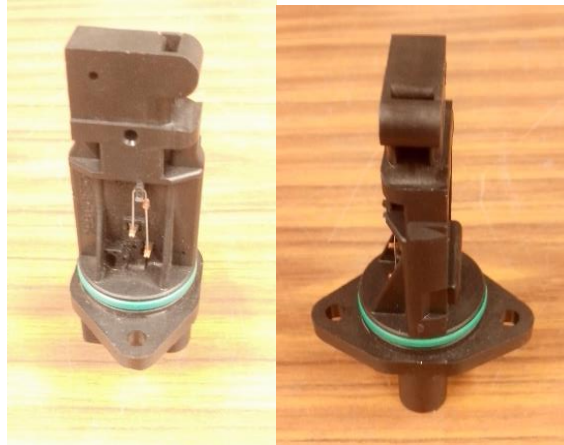


Figura 2.8 Sensor MAF seleccionado.

Posee ciertas características operativas y físicas por las cuales se seleccionó, a continuación se enumeran las principales:

- ✓ El sensor es ligero, aproximadamente 300 gramos, además de ser de tamaño pequeño, aproximadamente 22 x 7 x 6 cm. Esto facilita su colocación en el motor al no contar con mucho espacio disponible.
- ✓ El sensor está diseñado para poder operar junto con las vibraciones propias de un motor.
- ✓ El sensor se alimenta con 12v de C.D. lo cual coincide con el voltaje de trabajo de varios sensores más a emplear, facilitando el uso de una sola fuente de alimentación para todo el sistema.
- ✓ El sensor cuenta con una protección de plástico que lo protege de gases contaminantes y del calor excesivo proveniente del motor.
- ✓ El diseño del sensor permite que mediante pocas adaptaciones se pueda colocar muy cerca de la entrada del tubo de admisión, el punto principal en donde se necesitaba saber las condiciones del aire que entraba al motor.

- ✓ El sensor posee un muy rápido tiempo de respuesta, además de ser muy sensible a los estímulos del ambiente, por lo cual es capaz de mapear datos en tiempo real de una forma rápida y confiable.

Para la caracterización del sensor se empleó la siguiente metodología:

Es importante mencionar que el sensor MAF, proporciona una salida en mV que es proporcional a la cantidad de aire que entra en el tubo de admisión: es decir a menos cantidad de aire que entre por el tubo de admisión, menor será el voltaje en mV que se pueda apreciar a la salida.

Además el sensor al ser muy sensible a los cambios en el flujo de aire, proporciona datos que se actualizan rápidamente. Por lo cual se optó por emplear un microcontrolador que fuera capaz de seguir esta rápida conmutación de datos.

La tarjeta de desarrollo asignada para esta tarea fue: "Arduino Uno" (figura 2.9) Emplea un lenguaje de programación "open source" muy parecido a lenguaje C, que es muy usado en proyectos de ingeniería en las etapas de prototipo, desarrollo y validación de pruebas, debido a su versatilidad y facilidad de incorporarlo en diferentes aplicaciones.

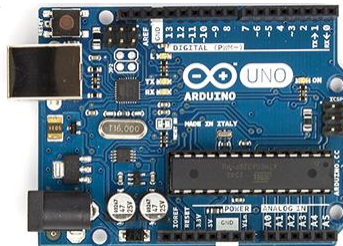


Figura 2.9 Tarjeta de desarrollo Arduino Uno.

Mediante el empleo de la tarjeta de desarrollo anterior se realizó un programa que fuera capaz de leer los diferentes voltajes emitidos por el sensor MAF en mV

Después se empleó un mapeo de este voltaje de salida con la finalidad de poder apreciar de forma más sencilla los cambios en el voltaje.

En la siguiente figura se muestra la implementación física que se empleó para la caracterización:



Figura 2.10 implementación física sensor MAF.

En el **ANEXO 2** se puede observar el código de programación empleado para realizar la lectura de estos voltajes.

Las lecturas que se obtuvieron del sensor MAF, empleando una escala de 0-1023 fueron las siguientes:

TIEMPO [s]	Lectura MAF	TIEMPO [s]	Lectura MAF	TIEMPO [s]	Lectura MAF
0.5	219	17	382	34	416
1	231	17.5	207	34.5	201
1.5	235	18	275	35	119
2	229	18.5	219	35.5	222
2.5	240	19	233	36	230
3	95	19.5	225	36.5	232
3.5	253	20	229	37	232
4	28	20.5	233	37.5	240
4.5	214	21	241	38	86
5	231	21.5	394	38.5	242
5.5	223	22	206	39	528
6	238	22.5	89	39.5	219
6.5	232	23	220	40	231
7	241	23.5	228	40.5	236
7.5	394	24	233	41	232
8	207	24.5	232	41.5	241
8.5	72	25	246	42	320
9	218	25.5	239	42.5	106
9.5	232	26	298	43	218
10	227	26.5	139	43.5	225
10.5	239	27	197	44	230
11	241	27.5	218	44.5	242
11.5	240	28	223	45	242
12	91	28.5	238	45.5	269
12.5	269	29	231	46	542
13	137	29.5	241	46.5	222
13.5	168	30	332	47	223
14	223	30.5	179	47.5	234
14.5	231	31	161	48	236
15	226	31.5	224	48.5	180
15.5	235	32	224	49	222
16	242	32.5	232	49.5	138
16.5	241	33	241	50	223
		33.5	240		

Tabla 2.1 Lecturas obtenidas del sensor MAF.

En donde se puede apreciar que en condiciones de reposo se presenta un comportamiento estable.

Lo anterior se ejemplifica en el siguiente grafico de dispersión.

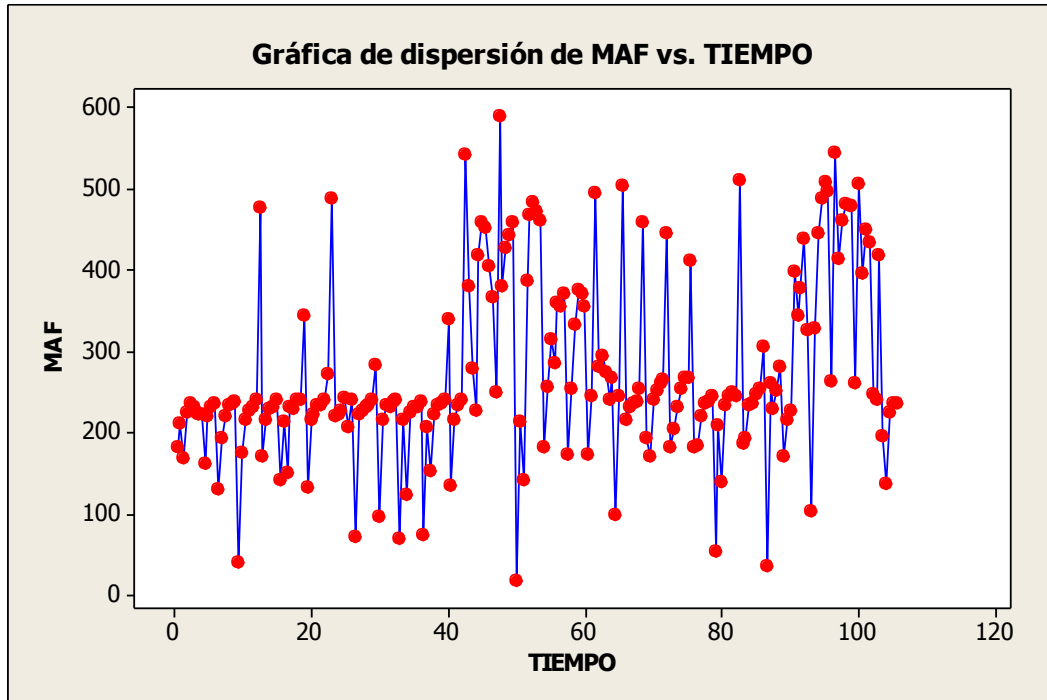


Figura 2.11 Gráfica de dispersión de MAF vs TIEMPO.

Los puntos que se salen de la línea de tendencia se deben a perturbaciones del entorno. Cabe mencionar que el sensor es muy sensible a corrientes de aire, por lo cual se presentan algunas lecturas alejadas de la media. Lo cual es de gran utilidad debido a que se necesita un sensor que fuera capaz de conmutar velozmente para poder tener mejores respuestas a los cambios en el ambiente.

Después mediante el empleo de un flujometro se estableció una relación entre la cantidad obtenida en Arduino respecto a la cantidad de flujo de aire másico que pasaba por el sensor MAF. Se obtuvo la siguiente relación:

m ³	MAF
0.25	107.707692
0.5	215.415385
0.75	323.123077
1	430.830769

Tabla 2.2 Relación de flujo de aire másico registrado por el microcontrolador con respecto al que pasa por el sensor MAF.

En la tabla 2.2 se puede observar las diferentes lecturas del sensor MAF conforme se fueron probando diferentes volúmenes de aire a través del sensor MAF. Con lo que se obtuvo una regla de conversión entre la escala empleada en el Arduino, con una magnitud más cuantificable como lo es el volumen.

2.4.4. SENSOR DE OXÍGENO

El sensor de oxígeno mide la concentración de oxígeno remanente en los gases productos de la combustión de un MCI.

El sensor requiere de altas temperaturas para operar, así que al encender el MCI estará acelerado hasta que el sensor alcance su temperatura de operación. Algunos sensores cuentan con calentador eléctrico que hacen que esta espera sea menor.

Con base en señal eléctrica proveniente del sensor, la PCM ajustará la cantidad de combustible inyectado en la corriente de aire que ingresa al sistema.

COMPONENTES DEL SENSOR DE OXÍGENO

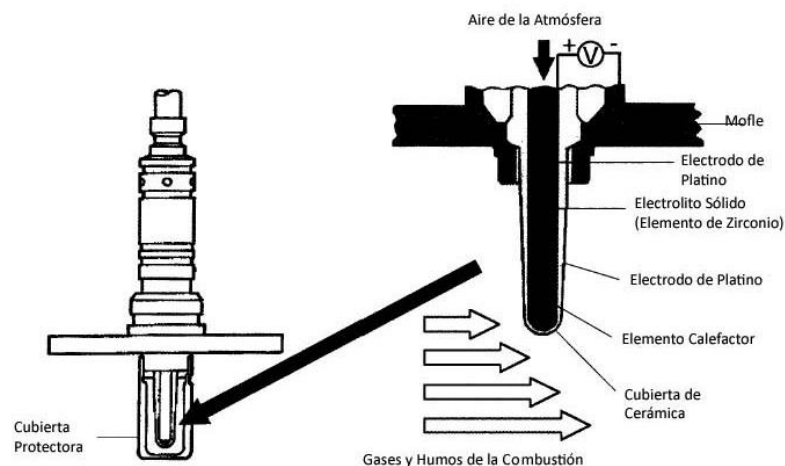


Figura 2.12 Componentes del sensor de oxígeno.

En la figura anterior se pueden apreciar los principales componentes de un sensor de oxígeno; los cuales son: cubierta de cerámica, elemento calefactor, electrodos de platino, elemento de zirconio y su cubierta protectora.

UBICACIÓN DEL SENSOR DE OXÍGENO

En la figura 2.13 se pretende mostrar la ubicación de los sensores de oxígeno en un automóvil, cabe destacar que se emplean dos sensores, el primero antes del convertidor catalítico y el segundo después del convertidor catalítico. La principal razón de esto es verificar en todo momento el buen funcionamiento del convertidor catalítico, ya que ayuda a reducir los gases contaminantes emitidos a la atmosfera. Es un modelo simple de control de lazo cerrado con retroalimentación.

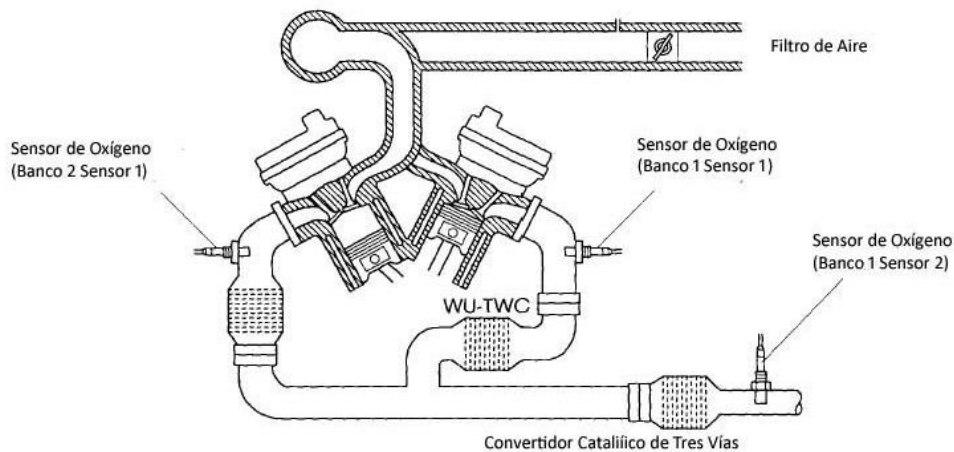


Figura 2.13 Ubicación del sensor de oxígeno.

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Cuando se lleva a cabo la combustión en el cilindro del motor se generan gases de escape; dentro de esos gases hay pocas cantidades de oxígeno que no alcanzaron a consumirse por completo cuando la gasolina se quemó.

El sensor de oxígeno puede generar una señal de voltaje (Rango angosto) o corriente (Rango amplio) basada en la cantidad de oxígeno contenido en los gases de escape comparándola contra la cantidad de oxígeno presente en el aire del ambiente atmosférico.

El elemento de zirconio tiene un lado expuesto a la corriente de gases de escape y el otro lado está expuesto al aire de la atmósfera. Cada lado tiene un electrodo de platino adherido al elemento de dióxido de zirconio.

Los electrodos de platino conducen el voltaje generado en el elemento de zirconio.

Cuando tenemos 14.7 partes de aire por 1 de combustible. Se genera una señal de voltaje que el sensor de oxígeno produce y siempre será alrededor de 0.45 Volts.

En la figura 2.14 se muestra el principio de operación general de un sensor de oxígeno, también conocido como sensor lambda.

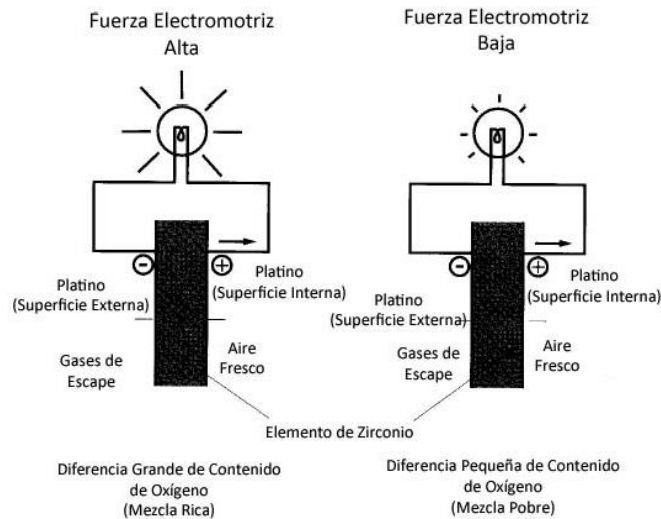


Figura 2.14 Operación de un sensor de Oxígeno.

Al graficar el comportamiento de un sensor de oxígeno en un osciloscopio se puede presentar las siguientes graficas de operación, las cuales sirven para identificar si se cuenta con un sensor en buen estado. Ver figura 2.15.

Tipos de Señales Eléctricas del Sensor de Oxígeno

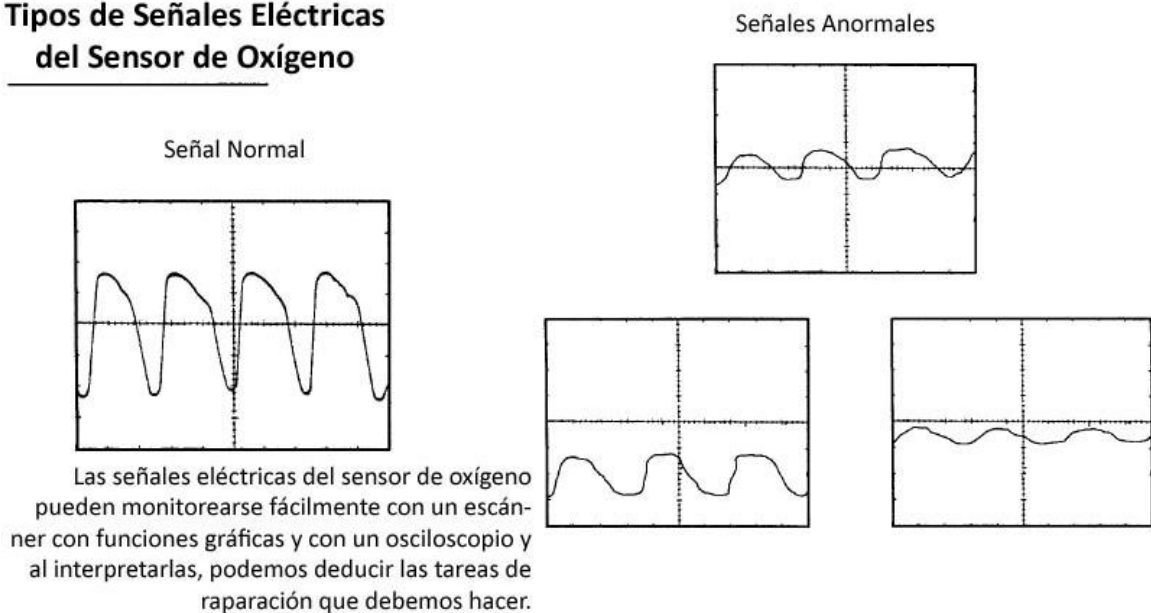


Figura 2.15 Tipos de señales eléctricas de un sensor de Oxígeno.

Es impórtate tener presente que el sensor de oxígeno no puede determinar si una mezcla es rica o pobre por si solo, nos proporciona una señal en corriente, la cual se procesa en el microcontrolador Arduino y se determina si es una mezcla rica o pobre.

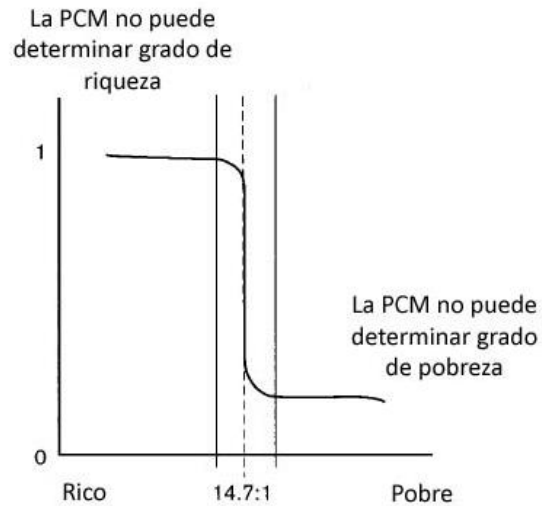


Figura 2.16 Rango de operación de un sensor de Oxígeno.

SELECCIÓN DEL SENSOR DE OXÍGENO

Los principales sensores de oxígeno empleados en la industria son los siguientes:

- Sensor de Oxígeno de Rango Angosto, que es el estilo más antiguo, simplemente llamado sensor de oxígeno.
- Sensor de Oxígeno de Amplio Rango, que el tipo más novedoso, y que en el mercado se le conoce como Sensor de Ratio Aire/Combustible (Sensor A/F o Air/Fuel Ratio)

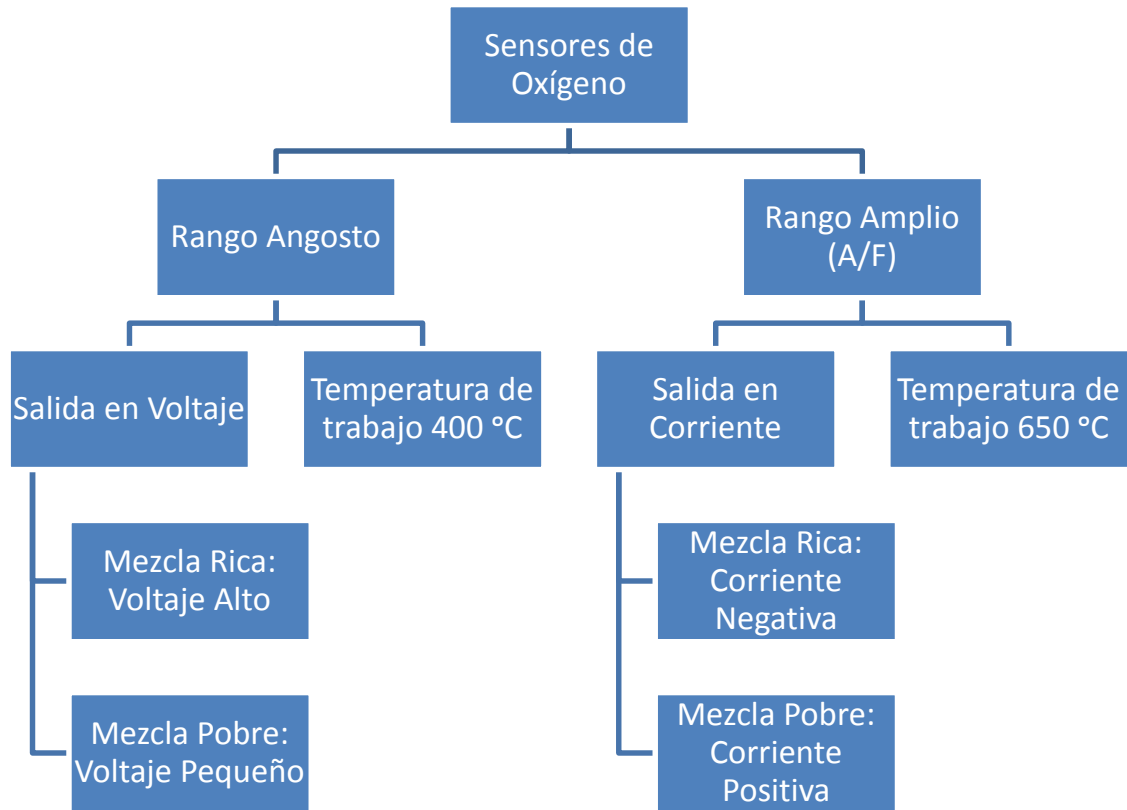


Figura 2.17 Selección de sensor de Oxígeno.

2.4.5. CONEXIONES FÍSICAS DEL SENSOR DE OXÍGENO

Las conexiones del sensor de oxígeno son sencillas debido a que se debe de alimentar la resistencia interna con 12 V mínimo. Una vez alimentando la resistencia interna del sensor podemos ver reflejado una corriente que varía dependiendo de las condiciones del entorno.

En la siguiente tabla se muestra como se manejaron las conexiones:

PIN	FUNCIÓN
Blanco	Alimentación 12 V+
Blanco	Alimentación 12 V-
Verde	Salida en corriente. [mA]

Tabla 2.3 Tabla de conexiones sensor de Oxígeno.

2.4.6. CARACTERIZACIÓN DEL SENSOR DE OXÍGENO

Para el sensor de oxígeno seleccionado (rango amplio) se realizó una caracterización muy sencilla, como se mencionó anteriormente el procesamiento lo realizó el microcontrolador Arduino en base al sentido de la corriente medida, al no contar con un sensor nuevo, se verificó su óptimo funcionamiento. Se comprobó el buen funcionamiento, empleando una tarjeta DAQ de National Instruments. La DAQ empleada se detalla a continuación:

NI USB 6000 series



Figura 2.18: NI USB 6000 series.

- ✓ 80 entradas analógicas (16 bits, 250 kS/s)
- ✓ 2 salidas analógicas (16 bits a 833 kS/s),
- ✓ 24 E/S digitales (8 controladas por reloj)
- ✓ Contadores de 32 bits

Se creó un VI, para poder obtener la información, deseada, el Front panel se muestra en la figura 2.19.

Referirse al **Anexo 3**, para el diagrama de bloques empleado en la DAQ.

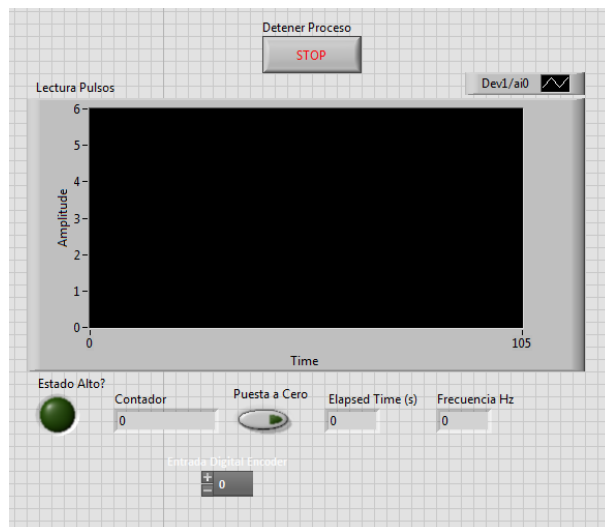


Figura 2.19 Front Panel sensor de Oxígeno.

La razón principal de emplear una DAQ y no un osciloscopio, radica en que se deseaba obtener datos y graficas en "tiempo real" y exportarlos a Excel para su posterior análisis.

Después con los datos obtenidos por la DAQ, se graficó el comportamiento de la onda y se comparó con el comportamiento ideal de un sensor Lambda sugerido en la literatura, obteniendo lo siguiente. Figura 2.20.

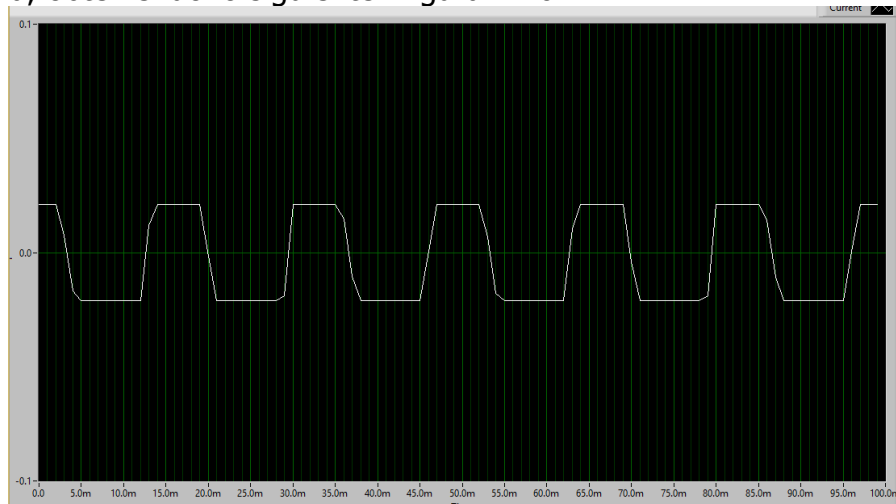


Figura 2.20 Comportamiento ideal de un sensor Lambda.

En la figura anterior se muestra el correcto funcionamiento del sensor de Oxígeno, además de que se comprobó que los valores de corriente medidos no superaban los 0.5 [A] por lo que se podía efectuar la lectura y procesamiento de esta señal mediante la tarjeta Arduino sin problema alguno, empleando una lectura de valores analógicos.

Por otro lado, las conexiones empleadas para el sensor de oxígeno fueron muy sencillas, ya que internamente es una resistencia, la cual se calienta y se mantiene a una temperatura estable. En la figura 2.21 se detalla sus conexiones:

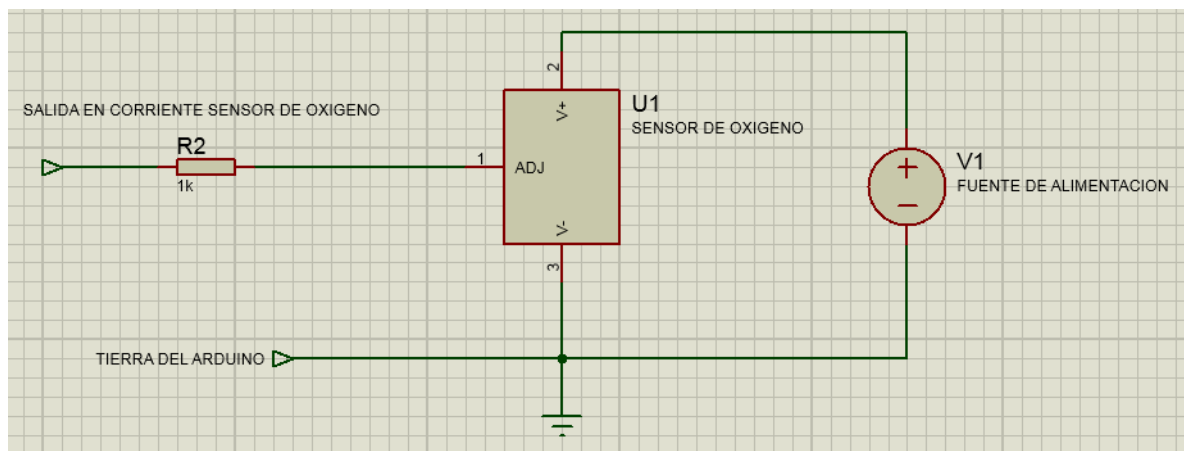


Figura 2.21 Esquema de conexiones sensor de oxígeno.

Por último el sensor de oxígeno quedó colocado en la salida del escape, como se muestra en la figura 2.22. En el siguiente capítulo se detalla el proceso de acople y los ajustes requeridos.



Figura 2.22 Conexión física del sensor de oxígeno.

En la tabla 2.4 se muestran los resultados obtenidos una vez que se ejecutó y corrió el programa detallado en el **ANEXO 4**.

EN REPOSO:		EN TRABAJO:	
TIEMPO	OXÍGENO	TIEMPO	OXÍGENO
0.5	90	1	1023
1	0	1.5	1023
1.5	33	2	1023
2	13	2.5	0
2.5	50	3	0
3	11	3.5	0
3.5	1023	4	0
4	1023	4.5	1023
4.5	957	5.5	1023
5	1023	6	1023
8.5	1023	6.5	0
9	1023	7	0
9.5	1021	7.5	0
10	1020	8	1023
10.5	0	8.5	1023
11	0	10	1023
11.5	0	10.5	0
12.5	0	11	0
13	1023	11.5	0
13.5	1023	12.5	0
14	1012	13	1023
14.5	970	13.5	1023
15	0	14	1023
15.5	0	14.5	0

Tabla 2.4 Resultados obtenidos de la ejecución del programa.

De la tabla 2.4 podemos resaltar los siguientes puntos de gran relevancia:

- Consideramos una mezcla rica cuando tenemos una lectura mayor a 500
- Consideramos una mezcla pobre cuando tenemos una lectura menor a 500
- Además de que podemos apreciar que es factible poder seguir un modelo de control "ciclo pobre-ciclo rico" Este modelo de control se detalla en el siguiente capítulo.

Con lo anterior se concluyó la caracterización básica del sensor de oxígeno, así como su calibración para ser empleado en el modelo de control.

2.5. ESTUDIO DE REMPLAZO DE CARBURADOR POR INYECTOR

Definición de carburador

Se llama carburador a la parte que generalmente se encuentra ubicada en la parte superior del motor, montado en el múltiple de admisión y sirve para administrar el ingreso de combustible y aire a la cámara de combustión.

Principio de funcionamiento:

Cuando un fluido circula por un conducto ejerce una cierta presión sobre las paredes del conducto según se muestra en la figura a continuación:

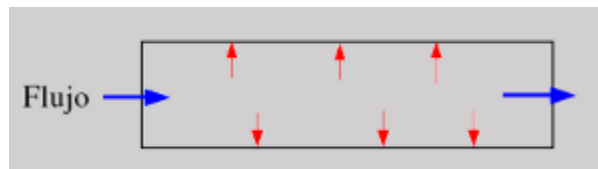


Figura 2.23 Presión ejercida por un flujo de aire en un conducto.

El esquema de la figura representa un segmento de conducto por el que circula un fluido en la dirección de las flechas azules y está representada la presión que ejerce sobre las paredes del conducto con flechas rojas.

La presión ejercida sobre las paredes de un conducto depende, entre otras cosas, de la velocidad del fluido dentro del conducto de forma tal que a mayor velocidad menor presión y a menor velocidad mayor presión.

Si en el conducto se hace un estrechamiento la velocidad del fluido crece en la zona del estrechamiento y por tanto disminuye la presión. Si el estrechamiento es suficiente angosto, la velocidad del fluido puede ser tan alta que en lugar de presión se produzca succión sobre las paredes del conducto como se ilustra a continuación en la figura 2.24:

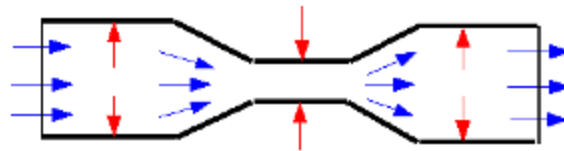


Figura 2.24 Efecto Vénturi.

La presión en las diferentes secciones del conducto se han representado con flechas rojas y se aprecia que en la zona del estrechamiento lejos de producirse presión sobre las paredes del conducto se produce vacío. Este dispositivo que produce vacío cuando circula un fluido se conoce como tubo Vénturi, y es la base de funcionamiento del carburador.

Si al tubo Vénturi le agregamos una mariposa que obstruya más o menos la entrada de fluido y un tubo surtidor de combustible en el estrechamiento (zona de succión) tendremos el carburador elemental que es el empleado por el motor Briggs & Stratton en cuestión.



Figura 2.25 Carburador del motor Briggs & Stratton.

Para el trabajo en cuestión se sugiere cambiar el carburador por un método de inyección electrónica, ya que nos ofrece las siguientes ventajas:

- ✓ Podemos controlar electrónicamente el tiempo de inyección, es decir se tiene un mayor control sobre la mezcla de aire combustible a emplear.
- ✓ Se pretende usar un modelo de control "ciclo pobre-ciclo rico" por lo cual el hecho de manejar un sistema de inyección electrónica nos permitiría marcar de una manera más estable y definida los ciclos de control.
- ✓ Un sistema de inyección es mucho más eficiente comparado con un sistema de carburación, en donde se desperdicia combustible.
- ✓ Un sistema de inyección, dependiendo del inyector a emplear puede manejar altas presiones, lo cual ayuda a mantener una buena eficiencia del ciclo Otto, al tener rangos de compresión elevados.
- ✓ Un sistema de inyección nos permitiría manejar combustibles duales, empleando la misma arquitectura, es decir, seleccionando un buen inyector se puede emplear gasolina y GLP en el mismo sistema. Lo cual es de gran ayuda en la implementación de nuestro sistema de control.

El motor inicialmente de fábrica posee un carburador que es el encargado de realizar la mezcla aire combustible. Físicamente se encuentra de la siguiente manera, ver figura 2.26.



Figura 2.26 Ubicación física del carburador.

2.5.1. PRINCIPALES REQUERIMIENTOS PARA EMPLEAR UN SISTEMA DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA:

Los principales retos y requerimientos necesarios para poder emplear un sistema de inyección electrónica, se enumeran a continuación:

- ✓ Se debe de eliminar el carburador en su totalidad; esto implica que se debe de averiguar la forma de realizar la mezcla, el inyector por sí mismo no es capaz de realizar la mezclar aire-combustible. Por lo que se optó por crear un mezclador, que ayudara a realizar esta tarea.
- ✓ La posición ideal donde colocar el inyector es lo más cercano al cuerpo de admisión, por restricción del proyecto no se pudo realizar grandes modificaciones a la arquitectura original del motor, por lo que se optó por incorporar el inyector en el mezclador y a su vez acercar lo más posible el mezclador al cuerpo de admisión.
- ✓ Se debió diseñar la forma de sujeción del mezclador al cuerpo de admisión, así como el ángulo de inclinación ideal al cual colocar el inyector, para que la mezcla pudiera ser aspirada por el motor lo mejor posible.
- ✓ El inyector opera en ciertos rangos de presiones (los cuales se detallan en el siguiente subtema) por lo cual para la gasolina se debió de diseñar un sistema de bombeo, que fuera capaz de proveer la presión de trabajo del inyector. Mientras que para el GLP se planteó la necesidad de emplear un regulador con el cual controlar la presión de salida del tanque de gas hacia el inyector.
- ✓ Se diseñó una forma de colocar el sensor MAF en el mismo mezclador, ya que era necesario saber las condiciones iniciales del aire que entra por el cuerpo de admisión.
- ✓ Se diseñó la arquitectura completa de mangueras a emplear, para poder manejar dos combustibles por separado (gasolina y GLP) de una manera segura y eficiente.
- ✓ Se diseñó la distribución de cables a emplear para alimentar todos los componentes eléctricos de una forma segura y lo más estética posible.

Todo el proceso de diseño se detallara en el siguiente capítulo. Lo que se obtuvo como producto final de todo este proceso es el siguiente sistema de inyección:



Figura 2.27 Sistema de inyección Electrónica.

2.5.1. INYECTOR BOSCH NGI2

Definición de inyector

En la figura 2.28 podemos observar que el inyector es el encargado de pulverizar en forma de aerosol la gasolina procedente de la línea de presión dentro del conducto de admisión, es en esencia una refinada electroválvula capaz de abrirse y cerrarse muchos millones de veces sin escape de combustible y que reacciona muy rápidamente al pulso eléctrico que la acciona.

Así luce un inyector de gasolina real, en él puede verse una bobina eléctrica que cuando se energiza levanta la armadura que sube la aguja y deja abierto el paso del combustible a la tobera por donde sale pulverizado, una vez que cesa la señal eléctrica, la propia presión del combustible empuja la armadura que funciona como un pistón y aprieta la aguja contra el asiento cerrando la salida completamente.

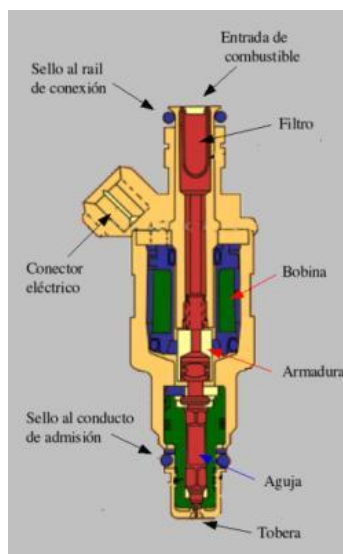


Figura 2.28 Partes de un inyector.

Funcionamiento del sistema de inyección:

El sistema de inyección consta fundamentalmente de una bomba de desplazamiento positivo con capacidad para inyectar cantidades variables de combustible, dada por un diseño especial de los émbolos y con un émbolo por inyector o cilindro del motor.

El otro componente importante es el inyector propiamente dicho encargado de la inyección directamente en la cámara de combustión (inyección directa) o en una cámara auxiliar (inyección indirecta). La función es la de producir la inyección de combustible líquido finamente atomizado en el momento indicado y en la cantidad justa de acuerdo al régimen de funcionamiento del motor.

De acuerdo a la secuencia de encendido de un motor, el inyector suministra cierta cantidad de combustible a alta presión y finamente atomizado en el ciclo de compresión del motor, el cual, al ponerse en contacto con el aire, se mezcla y mediante la bujía se enciende produciéndose la combustión.

La punta de la válvula de aguja que asienta contra la parte inferior de la tobera, impide el paso por los orificios cuando hay combustible a presión en los conductos y galería del inyector, se levanta la aguja de su asiento y se atomiza el combustible en las cámaras de combustión. Una pequeña cantidad de combustible escapa hacia arriba el cual sirve de lubricante entre la aguja y la tobera y también lubrica las otras piezas del inyector antes de salir por la conexión para el tubo de retorno en la parte superior y retorno al tanque.

La forma de descarga en los orificios de la tobera del inyector se llama patrón de atomización. (Figura 2.29) Este patrón se determina por características como el número, tamaño, longitud y ángulo de los orificios y también por la presión del combustible dentro del inyector. Todos estos factores influyen en la forma y longitud de la atomización.



Figura 2.29 Patrón de atomización ideal (izquierda) incorrecto (derecha).

La función de la tobera es inyectar una carga de combustible en la cámara de combustión de forma que pueda arder por completo. Para ello existen diversos tipos de toberas, todas con variaciones de la longitud, número de orificios y ángulo de

atomización. El tipo de tobera que se emplee en el motor depende de los requisitos particulares de sus cámaras de combustión.

A continuación se muestra en la figura 2.30 un despiece de un inyector, con la finalidad de poder ilustrar todas las partes fundaméntales, así como visualizar los elementos que intervienen en su operación y tiempo de respuesta.

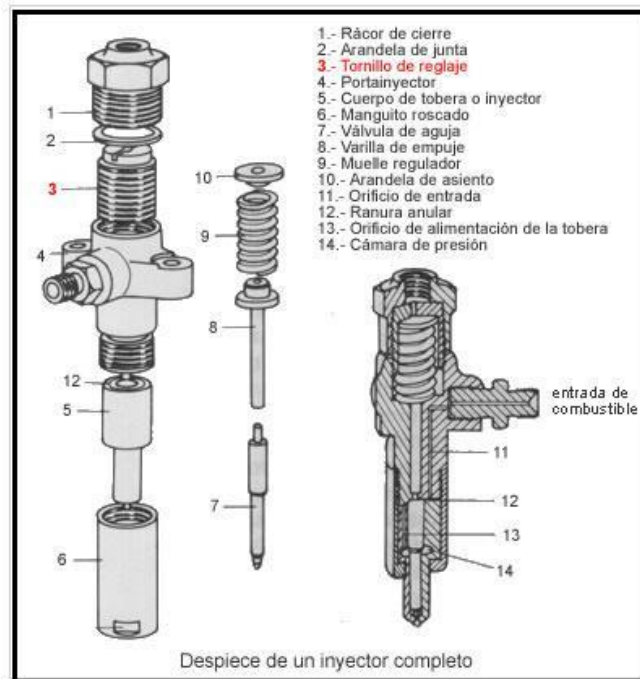


Figura 2.30 Partes que conforman un inyector.

A continuación se detallan las principales características para el inyector BOSCH NGI2:



Figura 2.31 Inyector Bosch NGI2.

En las tablas 2.5 y 2.6 se muestran las principales características operativas del inyector seleccionado:

Conector:	Sumitomo
Tipo de inyector:	Saturated, EV14
Resistencia de bobina:	9.1 OHMS, high res.
Tiempos muertos:	0.45ms @ 14 volts
Longitud del inyector O-ring a O-ring:	62 mm
Longitud total del inyector:	74 mm
Diámetro del inyector:	16 mm
O-rings:	Viton, 12mm/16 mm
Probado con los siguientes combustibles:	Gasoline (pump, oxygenated racing), alcohol (methanol), E85, Compressed Natural Gas (CNG)

Tabla 2.5 Características operativas del inyector seleccionado.

TASAS DE FLUJO PROBADAS:

210 lbs/hr @ 43.5 PSI	2200 cc/min @ 3 BAR
225 lbs/hr @ 50 PSI	2375 cc/min @ 3.5 BAR
240 lbs/hr @ 58 PSI	2550 cc/min @ 4 BAR

Tabla 2.6 Tasa de flujo probadas para el inyector seleccionado.

2.5.2. Conexiones físicas del Inyector Bosch NGI2

En inyector cuenta con dos terminales físicas, eléctricamente se comporta como un solenoide, por lo que al energizar la bobina, se genera una abertura en el inyector, por donde sale atomizado el combustible, al dejar de energizar, se cierra la abertura, gracias al resorte interno del inyector. En la tabla 2.7 se muestra las conexiones físicas empleadas:

Rojo	Terminal Positiva (12VDC)
Negro	Terminal Negativa.

Tabla 2.7 Conexiones físicas empleadas.

El sistema de inyección consta de dos elementos; el inyector propiamente y el riel de inyectores. El riel de inyectores cuenta con dos puertos, al solo requerir uno el segundo puerto fue tapado. El sistema se muestra en la figura 2.32.



Figura 2.32 Ensamble inyector Bosch NGI2.

2.5.3. Caracterización Bosch NGI2

Para la correcta caracterización del inyector se consideraron los siguientes factores:

- ✓ El voltaje de trabajo del inyector es de 12 V. Sin embargo su consumo llega hasta los 4.5 Amperes.
- ✓ Es necesario de una etapa de potencia con la finalidad de proteger la computadora y el Arduino empleados.
- ✓ Se empleó un transistor tipo Darlington TIP 120 con una corriente de trabajo en el colector de 5 [A] Ver **Anexo 5** donde se encontrará el Datasheet del componente empleado.
- ✓ Se emplearon diodos como medidas de protección adicionales a los componentes delicados como la tarjeta de desarrollo Arduino o la computadora empleada.

El esquema de conexiones empleadas, así como el circuito de trabajo se muestran en la figura 2.33

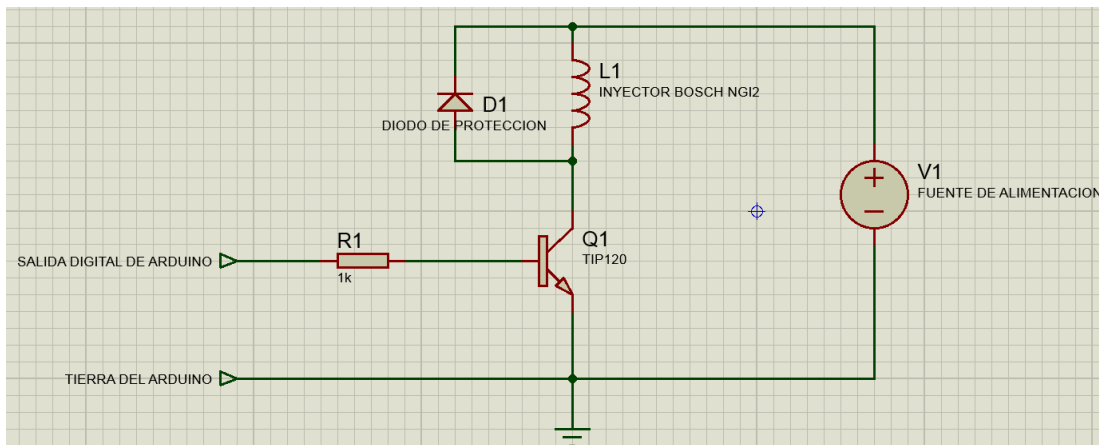


Figura 2.33 Esquemático de etapa de potencia.

Para la caracterización se empleó un programa con dos variantes (una para gas LP, la otra para gasolina) Ambos programas operan de una forma muy sencilla, lo único que cambian entre sí son los tiempos de inyección. En el **Anexo 6 y Anexo 7** se pueden encontrar cada uno de estos programas empleados comentados línea a línea.

Una vez realizado todo lo anterior se continuó a efectuar las pruebas en campo para caracterizar el inyector, como resultado se obtuvieron los siguientes datos:

✓ Para la caracterización empleando gasolina:
Se obtuvo el siguiente ciclo de trabajo a una velocidad angular de 3600.



Tiempo en alto: 8 ms
Tiempo en bajo: 200 ms



Tiempo en alto: 25 ms
Tiempo en bajo: 40 ms



CAPÍTULO 3: PROPUESTA DE CONTROL E INSTRUMENTACIÓN DEL MCI.

- 3.1. Modelo de control para el motor de 3.5 kw.
- 3.2. Operación del sensor de oxígeno en lazo cerrado.
- 3.3. Comportamiento del sensor de oxígeno A/F

3.1. MODELO DE CONTROL DEL MOTOR DE 3.5 KW

Existen varios métodos de control en la actualidad para un MCI uno de los modelos más básicos y que ha sido mayormente empleado es el "ciclo rico- ciclo pobre" este método de control puede operar mediante dos variantes. Lazo cerrado y lazo abierto; a continuación se explica el modelo de control de lazo cerrado.

La ECM supervisa el flujo de escape y ajusta la relación aire-combustible para que el catalizador funcione a su máxima eficiencia, reduciendo la emisión de gases. Midiendo la cantidad de oxígeno que queda después de la combustión es un medio para saber la relación aire-combustible. A partir de esta información, la ECM controlará la duración de la inyección para lograr la mezcla aire-combustible ideal.

Es importante mencionar que el funcionamiento del motor a menudo requiere diferentes mezclas aire-combustible para el arranque, potencia máxima, y máxima economía de combustible. Aunque para el trabajo de tesis en cuestión al trabajar a un régimen de giro de 3600 contante, manejaremos una mezcla estequiometria fija que no varía con el tiempo.

3.2. OPERACIÓN DEL SENSOR DE OXÍGENO EN LAZO CERRADO

En bucle cerrado, la ECM usa la señal del sensor de oxígeno para hacer correcciones menores a la duración de la inyección. Esto se hace para ayudar al convertidor catalítico a operar a su máxima eficiencia.

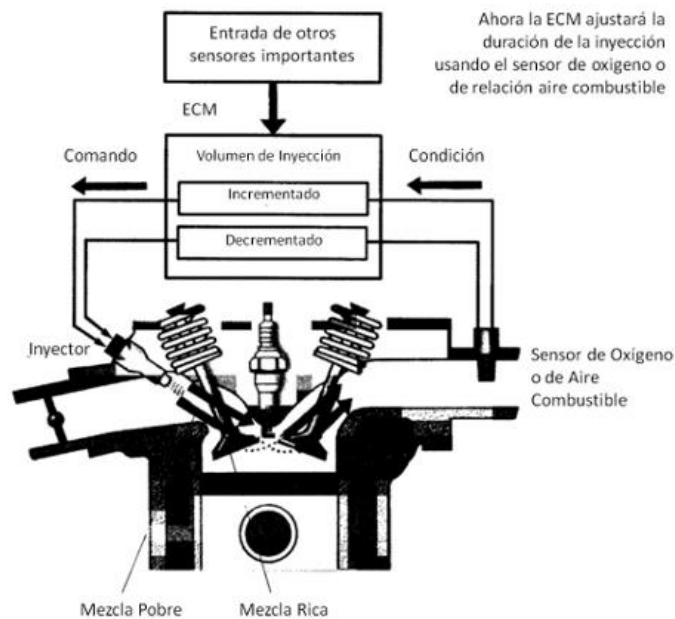


Figura 3.1 Operación del sensor de oxígeno en lazo cerrado.

Cuando el voltaje medido es mayor a 450 mV, la relación aire-combustible se considera que es más rico que la ideal y la cantidad de combustible inyectado se

reduce a una velocidad constante. La reducción en la duración continúa hasta que la señal del sensor de oxígeno cambia a un bajo voltaje

Cuando la señal de voltaje es menor a 450 mV, la relación aire-combustible se considera más pobre que la ideal e incrementa la cantidad de combustible inyectado. El aumento en la duración continúa hasta que el sensor de oxígeno cambia a un voltaje mayor. En este punto, la ECM disminuirá lentamente la cantidad de combustible, por lo tanto, la relación aire-combustible oscila ligeramente más rico o más pobre de la ideal

Contenido de Oxígeno de Escape	Salida del Sensor de Oxígeno	La Mezcla Aire/Combustible parece:
Baja →	Alto, arriba de 0.45 Volts	→ Rica
Alta →	Bajo, debajo de 0.45 Volts	→ Pobre

Tabla 3.1 Relación aire-combustible.

La frecuencia de este ciclo de rico-pobre depende del volumen del caudal de escape (velocidad angular del motor y la carga), el tiempo de respuesta del sensor de oxígeno, y la programación de control de combustible. A ralentí, el volumen de flujo de escape es bajo y la frecuencia de conmutación del sensor de oxígeno es baja. A medida que aumenta la velocidad del motor, la frecuencia de conmutación del sensor de oxígeno aumenta, por lo general de ocho o más veces en diez segundos a una velocidad angular de 2.500.

REAJUSTE DE COMBUSTIBLE

Como el motor y los sensores cambian con el tiempo, la ECM necesita un método para ajustar la duración de la inyección para la facilidad de conducción y un mejor desempeño de las emisiones. El reajuste de combustible es un programa en la ECM diseñado para compensar estos cambios.

Cuando la ECM está en lazo cerrado, modifica la duración de la inyección final basado en el sensor de oxígeno. Estas correcciones menores son necesarias para mantener la correcta relación aire/combustible. Sin embargo, si la corrección requerida es más de lo normal (como lo determina la ECM), la ECM se utiliza la estrategia de reajuste de combustible para compensar. El reajuste de combustible permite a la ECM aprender y ajustar la duración de la inyección rápidamente reduciendo el tiempo en que la corrección vuelve a la normalidad. Esto significa que la facilidad de conducción y el rendimiento no se verán afectadas.

Hay dos valores diferentes de combustible del ajuste que afectan a la duración de la inyección final, el reajuste de combustible a corto plazo (FT Corto) y el ajuste de combustible de largo plazo (FT Largo). FT Corto es una adición o sustracción temporal a la duración de la inyección de base. FT Largo es parte del cálculo de la duración de la inyección base y se almacena en la memoria de la ECM.

FT CORTO

FT Corto se basa en el sensor de oxígeno, y por lo tanto, sólo funciona en bucle cerrado. FT Corto responde rápidamente a los cambios en el sensor de oxígeno. Si el FT Corto es variable cercano al 0%, se necesita una corrección de poco o nada. Cuando porcentaje FT Corto es positivo, la ECM ha añadido combustible mediante el aumento de la duración. Un porcentaje negativo significa que la ECM ha restado de combustible disminuyendo la duración.

FT LARGO

El FT Largo se almacena en la memoria porque es parte del cálculo de la duración de la inyección base. La ECM utiliza el FT Corto para modificar el FT Largo. El FT Largo no reacciona con rapidez a los cambios repentinos, sólo cambia cuando la ECM decide utilizar el valor de FT Corto para modificar el FT Largo

En la figura 3.2 se muestra el modelo de control de lazo cerrado diseñado para el motor en cuestión, empleando los siguientes elementos como entradas y salidas de control.

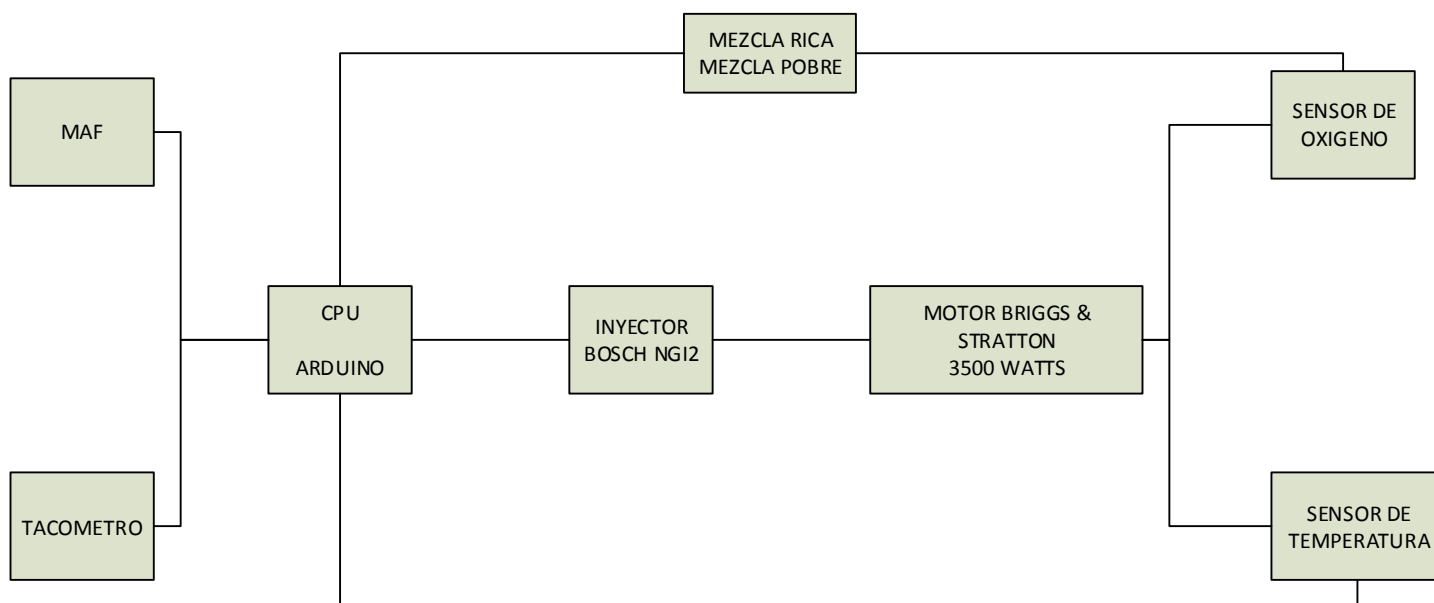


Figura 3.2 Modelo de control diseñado.

Cabe mencionar que para el modelo planteado anteriormente de lazo cerrado el Arduino ejecuta las tareas que suelen ser ejecutadas por la ECM o la PCM, de tal forma que recae en la tarjeta de desarrollo toda la ejecución del modelo de control.

3.3. COMPORTAMIENTO DEL SENSOR DE OXÍGENO A/F

En la figura 3.3 se muestra el rol desempeñado por el sensor de oxígeno A/F seleccionado dentro del modelo de control diseñado. Así como la forma en la que identifica una mezcla rica de una pobre y las medidas a tomar para tratar de llevar a cabo una combustión eficiente.

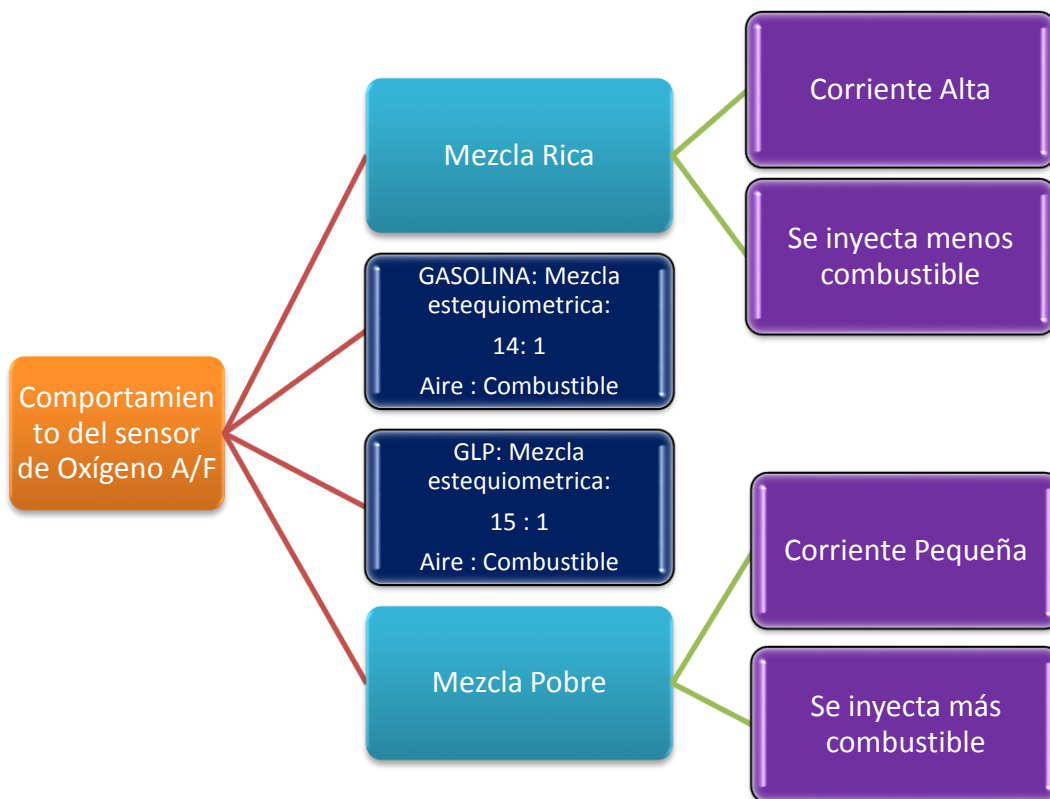


Figura 3.3 Comportamiento del sensor de Oxígeno A/F.



CAPÍTULO 4: IMPLEMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE PRUEBAS.

- 4.1. Colocación y ajustes del sensor MAF.
- 4.2. Colocación y ajustes al sensor de oxígeno.
- 4.3. Colocación y ajustes al sensor de efecto Hall.
- 4.4. Colocación y ajustes de la bomba de gasolina.
- 4.5. Colocación y ajustes del sistema de inyección de gas LP.
- 4.6. Colocación del inyector Bosch NGI2 y ajustes al mezclador.
- 4.7. Validación y pruebas de campo y resultados obtenidos.

4.1. COLOCACIÓN Y AJUSTES AL SENSOR MAF

Para la correcta colocación del sensor MAF se tomaron en cuenta los siguientes factores:

- ✓ El sensor MAF debía de ser colocado a la entrada del cuerpo de aspiración, para que pudiera leer las condiciones iniciales del aire que ingresaba y a su vez informar al Arduino de estas condiciones.
- ✓ El sensor MAF debía de ser colocado junto con el mezclador, como ambos diámetros no eran los mismos se tenía que diseñar una forma de acoplarlos, la forma adoptada, consistió en emplear un cople de PVC y cuyo diámetro de salida, coincidiera con el diámetro de entrada de la pieza de aluminio del mezclador. Y que a su vez el diámetro de entrada del mezclador coincidiera con el diámetro de salida del cuerpo de aspiración. Como se ilustra en la siguiente figura:



Figura 4.1 Cople de PVC empleado en el sensor MAF.

- ✓ Se manejó un mezclador de 13 cm, la longitud se escogió por dos principales razones, poder tener espacio para colocar el cople y tener la suficiente longitud para poder crear el cono necesario para tener el efecto Venturi en el mezclador.
- ✓ Por ultimo en la figura 4.2 se puede apreciar el ensamble final empleado para el sensor MAF junto con el mezclador. Con lo que la implementación y ajustes para el sensor MAF se dieron por concluidas.

Cabe mencionar que se prestó especial cuidado a las conexiones eléctricas y sus aislantes, ya que al manejar combustibles altamente flamables, es peligroso tener cables mal aislados que podrían causar algún percance.



Figura 4.2 implantación final del sensor MAF.

4.2. COLOCACIÓN Y AJUSTES AL SENSOR DE OXÍGENO

Para la implementación correcta del sensor de oxígeno se llevó a cabo la siguiente metodología:

- ✓ Se partió de destapar lo más posible el escape del motor, ya que el sensor debía de estar en contacto con los gases resultantes de la combustión. En la figura 4.3 se muestra el escape donde fue necesario colocar el sensor de oxígeno.



Figura 4.3 Posición ideal para colocar el sensor de oxígeno.

- ✓ El sensor de Oxígeno; como se mostro en el capítulo anterior, es de dimensiones considerables y de geometria cilindrica por lo que colocarlo directamente no fue una opcion viable, se optó por colocar un tubo de escape y asi poder montar el sensor en la extension mencionada.

El tubo de escape manufacturado consta de dos elementos: a base y el tubo de escape. La base tiene por función sujetar el tubo de escape al silenciador del m.c.i.

El ensamble entre el tubo de escape y la base se realizó por un ajuste de apriete. En la figura 4.4 se muestra la base de aluminio empleada.



Figura 4.4 Base de aluminio empleada para fijar el sensor de oxígeno.

- ✓ A continuación manejando un ensamble por interferencia se montó el tubo galvanizado en la base previamente colocada en el motor. También se realizó una perforación en el tubo del diámetro del sensor de oxígeno, para que este fuera colocado y monitoreara los gases provenientes de la combustión; que a su vez comunicaba los datos al microcontrolador. En la figura siguiente se muestra la colocación de la base y del tubo de aluminio.



Figura 4.5 Colocación de base, tubo y sensor de oxígeno.

- ✓ Por último para evitar posibles fugas y pérdidas de los gases se decidió aislar el ensamble de ambas piezas (tubo y base) empleando corcho; también se prestó especial cuidado al orden de las conexiones eléctricas y la forma en la que se aislaban para evitar posibles riesgos. Teniendo el ensamble final del sensor de oxígeno como se muestra en la figura 4.6:



Figura 4.6 Ensamble final del sensor de oxígeno.

4.3. COLOCACIÓN Y AJUSTES DEL SENSOR DE EFECTO HALL

Como parte del modelo de control se desarrolló un tacómetro, que fuera capaz de llevar un registro de la velocidad angular del motor. A pesar de que se trabajó a un régimen de giro constante (3600) era necesario asegurarse de que se estaba trabajado en un régimen estable y correcto.

Una de las restricciones iniciales del proyecto era ser lo menos invasivo con el motor, por lo cual se buscaron partes móviles que giraran en la misma proporción que el cigüeñal del motor. Se analizó primeramente el eje delantero del motor, en la siguiente figura se aprecia claramente el eje en cuestión; al no contar con mucho espacio se decidió descartar la colocación del sensor de efecto Hall en este punto.

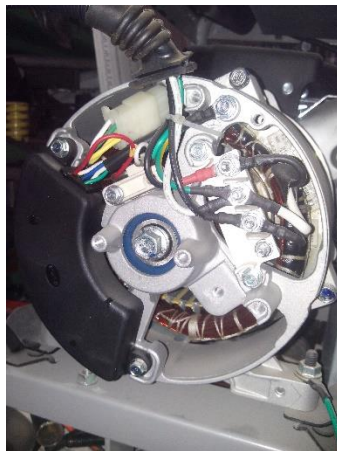


Figura 4.7 Eje delantero del motor.

Se continuó por analizar el espacio en la parte posterior del mismo eje, desarmando estos componentes se pudo apreciar que se contaba con un mayor espacio, como se muestra en la siguiente figura. Aun así, el tacómetro consistía en un sensor de efecto Hall, que es excitado por un imán de Neodimio, para poder obtener la

velocidad angular del motor, es de suma importancia que estos dos elementos estén lo más alineados posible.



Figura 4.8 Parte posterior del eje del motor.

Se continuó por instalar ambos elementos en el motor y probarlos en funcionamiento, la implementación quedó como se muestra en la siguiente figura:



Figura 4.9 Instalación del sensor de efecto hall junto con el imán.

Al realizar las pruebas de campo se observó que el imán no era capaz de excitar lo suficiente al sensor de efecto hall debido a dos factores principales:

- El tiempo de exposición del imán con el sensor Hall
- La distancia de separación entre ambos elementos.

Por lo que se indagó más a fondo el funcionamiento del motor, investigando en la literatura, se identificó que todos los motores de esta categoría cuentan con una bobina de ignición, esta es la encargada de manejar la chispa de la bujía. En la figura 4.10 se muestra la bobina de inducción del motor de trabajo.



Figura 4.10 Bobina de ignición y su ubicación en el motor.

Indagando aún más en este componente se identificó que la bobina de ignición es activada por un imán que se encuentra incorporado en el eje del motor, por lo que se decidió aprovechar este imán para trabajar en conjunto con el sensor de efecto Hall. Obteniendo de esta forma resultados certeros y confiables del régimen de giro manejados por el motor. En la figura 4.11 se muestra la implementación del sensor de efecto hall en el imán del motor. Nótese que la separación entre ambos elementos es menor a 3 mm. Por lo que es sensor era capaz de conmutar de forma adecuada.



Figura 4.11 Colocación del sensor de efecto hall en el motor.

Con lo anterior se dio por concluida la implementación del tacómetro en el motor en cuestión.

4.4. COLOCACIÓN Y AJUSTES DE LA BOMBA DE GASOLINA

La arquitectura original del motor al tener un carburador, no necesitaba de tener el combustible a presiones elevadas, ya que se aprovechaba la gravedad para hacer fluir el combustible, en este caso la gasolina hacia dentro del carburador. Al

momento de implementar un sistema de inyección electrónica empleando el inyector Bosch, se hizo muy imprescindible el uso de una bomba de gasolina que fuera capaz de elevar la presión del combustible a 3 bar (presión de trabajo ideal del inyector) para que este a su vez pudiera atomizar el combustible de una forma eficiente y se pudiera mezclar adecuadamente con el aire.

En la figura 4.12 se muestra la bomba de gasolina externa que fue la seleccionada a emplear en este motor, debido a que manejaba los parámetros operativos requeridos (3 bar).



4.12 Bomba de gasolina seleccionada.

Después se realizaron las conexiones necesarias, empleando mangueras de media presión para poder garantizar una presión estable en el inyector. También se implementaron las conexiones eléctricas necesarias para el correcto funcionamiento de la bomba. Las conexiones quedaron de la siguiente manera: (Ver figura 4.13)



Figura 4.13 Conexiones de la bomba de gasolina.

4.5 COLOCACIÓN Y AJUSTES DEL SISTEMA DE INYECCIÓN DE GAS LP

Como se mencionó anteriormente, el principal objetivo de la tesis en cuestión es poder conmutar entre dos combustibles: Gas LP y Gasolina, para ambos sistemas se implementaron métodos que se apoyaron en diferentes elementos que se enumeran a continuación:

SISTEMA DE GASOLINA	SISTEMA DE GAS LP
Bomba de Gasolina	Tanque de gas presurizado
Inyector Bosch NGI2	Rotámetro
Riel de inyectores.	Inyector Bosch NGI2
Fuente de voltaje 12V a 5 [A]	Riel de inyectores.
Llave de paso para conexión a ¾ in.	Fuente de voltaje 12V a 5 [A]
Manguera de media presión ¾ in.	Llave de paso para conexión a ¾ in.
Conexión T para manguera de ¾ in.	Manguera de media presión ¾ in.
	Conexión T para manguera de ¾ in.

Tabla 4.1 Elementos de los sistemas de gasolina y gas.

El sistema visto de una forma esquemática se representó en la figura 4.14:

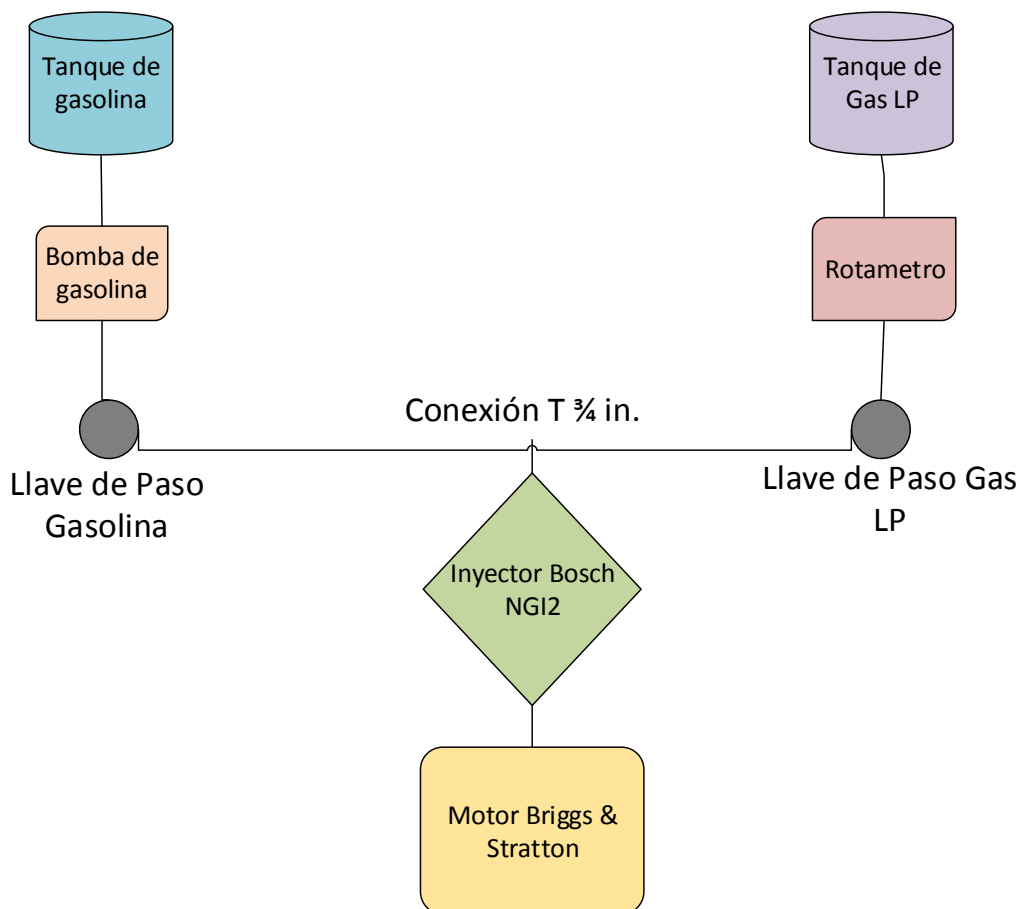


Figura 4.14 Arquitectura de sistema bi-combustible.

El sistema implementado como se mostró en la figura 4.14, se apreció de la siguiente manera en la figura 4.15:



Figura 4.15 Conexiones físicas de mangueras motor dual.

Una vez implementado el sistema se realizaron pruebas a baja y mediana presión en búsqueda de posibles fugas de gas o gasolina. Una vez descartada esta posibilidad se dio por concluida la implementación del sistema de combustible dual.

En la figura 4.16 se muestra la colocación física de las mangueras en el riel de inyectores; así como las conexiones eléctricas de la bomba de gasolina. Como se puede apreciar, el espacio es reducido por lo cual una condición de diseño era emplear elementos de tamaño reducido; como se hizo en la selección del riel de inyectores.

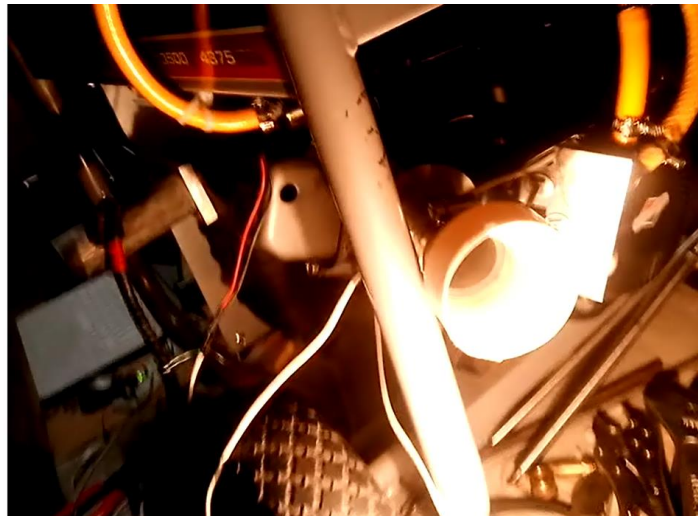


Figura 4.16 Conexiones eléctricas y de mangueras.

4.6. COLOCACIÓN DEL INYECTOR BOSCH NGI2 Y AJUSTES AL MEZCLADOR SELECCIONADO.

Una de las partes principales del modelo de control es el inyector Bosch NGI2; la arquitectura original del motor, es decir su configuración de fabrica, consistia en un carburador; la funcion del carburador era mezclar y dosificar el combustible que entraba a la camara de admision. Al sustituir este elemento por un sistema de inyeccion electronica se tuvieron que contemplar los siguientes puntos:

- ✓ La funcion del inyector es dosificar y atomizar la mezcla del combustible empleado.
- ✓ Era fundamental tener un elemento donde colocar el inyector; que fuera lo mas cercano a la camara de admision y que a su vez fuera a una distancia adecuada para que se pudiera combinar ambos combustibles.
- ✓ La forma mas eficiente de combinar ambos combustibles era aprovechar el vacio que genera el piston durate su carrera negativa, junto con el empleo de un mezclador que tuviera el efecto venturi.
- ✓ Se podia aprovechar el diseño de un mezclador elaborado en un proyecto de tesis paralelo, por lo que solo era necesario crear las adptaciones para colocar el inyector en dicha pieza.

El diseño modificado del mezclador, con el orificio para el inyector se obtuvo como se muestra en la siguiente figura:

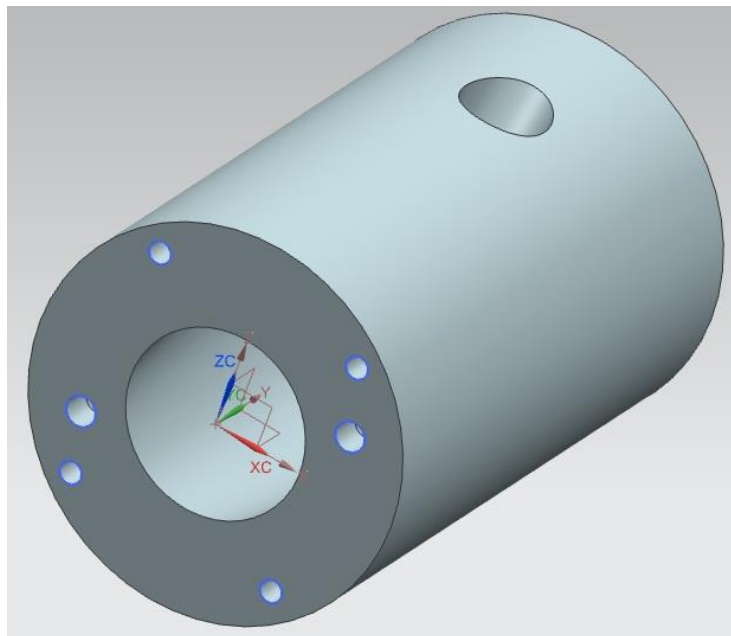


Figura 4.17 Mezclador con adaptación para inyector.

Como se mostró en la figura anterior la forma de sujeción del inyector al mezclador se escogió mediante interferencia, es decir manejando tolerancias muy justas de tal forma que las partes se ensamblen con un ajuste moderado.

Las dimensiones principales del mezclador en cuestión se muestran en el **Anexo 8**

El siguiente reto que se encontró fue la forma de sujeción del mezclador al cuerpo de admisión, analizando varias opciones se identificó que la más viable era crear una base que se atornillara al cuerpo de admisión y que fuera roscada con el mezclador, de esta forma lograríamos los siguientes dos objetivos:

- 1) Se lograría una sujeción que no afectara la forma cónica interna del mezclador, ya que los tornillos se colocarían en un parte externa.
- 2) Se podría controlar el flujo de aire que entra a la cámara de admisión mediante la apertura y cierre de la rosca con el mezclador, como se hacía en su modelo original.

En la siguiente figura se muestra parte de la manufactura de la base a partir de un cilindro de aluminio, cabe mencionar que se efectuó en un torno transversal, ya que al trabajar con sólidos de revolución este método de maquinado es uno de los mejores.



Figura 4.19 Fabricación base de mezclador.

La pieza terminada de maquinado quedó de la siguiente manera:

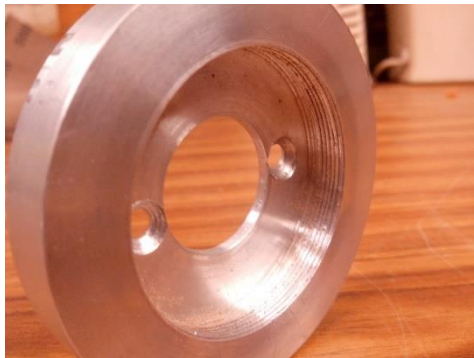


Figura 4.20 Base de aluminio para el mezclador fabricada.

Es necesario mencionar los siguientes puntos que se complementan al observar la figura anterior:

- 1) Las dimensiones externas de la pieza no son críticas, ya que la parte fundamental es la rosca interna que ensambla con la rosca externa del mezclador. Se empleó una rosca estándar de 13 hilos por pulgada.
- 2) Se emplearon tornillos de cabeza plana, además de emplear perforaciones cónicas; con la finalidad de que al montar y apretar los tornillos se contara con una superficie plana, se decidió empelar corcho para aislar y prevenir posibles fugas.

Por último la base termino realizada como se muestra en la figura 4.21:



Figura 4.21 Base del mezclador terminada.

A continuación se prosiguió a realizar la manufactura del mezclador junto con su rosca externa, empleando las dimensiones y restricciones mencionadas anteriormente; quedando como se muestra en la figura 4.22:



Figura 4.22 Mezclador terminado.

También se manufacturo el coplee donde se colocaría el inyector Bosch NGI2, cabe destacar que el ángulo de ataque del inyector es de 45 grados, con la finalidad de inyectar el combustible en dirección a la cámara de admisión y evitar lo más posible la acumulación de combustible en las paredes del mezclador.

La base y el mezclador se ensamblaron como se muestra en la siguiente figura; como elemento adicional para prevenir fugas se empleó cinta teflón en las partes roscadas.



Figura 4.23 Ensamble de base con mezclador.

Una vez implementado el ensamble anterior se procedió a manufacturar el tapón para el riel de inyectores. Cabe recordar que el riel de inyectores seleccionado estaba diseñado para trabajar con dos inyectores al mismo tiempo, en el proyecto al solo contemplar un solo inyector era necesario tapan la salida para el segundo inyector, la pieza-tapón se manufacturo en aluminio siguiendo la geometría interna del riel de inyectores; quedando de la siguiente manera:



Figura 4.24 Tapón para el riel de inyectores.

Aun así para garantizar un sellado eficiente se empleó un O-ring del número 12, con un diámetro externo de 17 mm. Capaz de obstruir la salida del inyector dos que no se iba a emplear en este proyecto, quedando de la siguiente manera:



Figura 4.25 Ensamble del tapón y el O-ring.

Después se colocó la obstrucción en el riel de inyectores quedando como se muestra en la figura 4.26:



Figura 4.26 Ensamble del riel de inyectores con el tapón.

Una vez llegado a este punto se decidió ensamblar el inyector Bosch NGI2 en el riel de inyectores, sujetándolo con sus clips respectivos. En la figura 4.27 se muestra este ensamble; cabe destacar que también se aprecian las entradas del riel, una se empleó para suministrar el gas LP, mientras que la otra se empleó para suministrar la gasolina al inyector.



Figura 4.27 Ensamble del inyector junto con las salidas de combustible.

Como siguiente proceso se ensambla por interferencia el inyector con la base y el mezclador previamente acoplados, con lo anterior se tendría ensamblado casi completamente el sistema de inyección electrónica a emplear en el modelo de control para el motor en cuestión. En la figura 4.28 se aprecia el ensamble:



Figura 4.28 Ensamble del inyector por interferencia.

Por último se agregaron los sensores y elementos de monitoreo; es decir se colocó el sensor MAF, el coplee de PVC y las conexiones eléctricas necesarias, para la alimentación del sensor MAF y del inyector; quedando el sistema de inyección electrónica, la parte de monitoreo y de control de la siguiente manera:



Figura 4.29 Sistema de inyección electrónica completo.

Con lo anterior se dio por completa toda la fase de implementación; por lo que se procedió a la etapa de validación y pruebas de campo, conmutando entre ambos combustibles.

4.7. VALIDACIÓN, PRUEBAS DE CAMPO Y RESULTADOS.

El sistema completo, ya funcional se muestra en la figura 4.30:



Figura 4.30 Sistema de control de motor dual completo.

Al comparar regímenes de trabajo de ambos combustibles se pudo apreciar que la velocidad angular es mayor para el gas LP en comparación con la velocidad angular manejada para gasolina, tal información se aprecia en la tabla 4.2:

GASOLINA		GAS LP	
Reposo	Velocidad angular promedio	Reposo	Velocidad angular promedio
800-1200		800-1200	
Velocidad media	Velocidad angular promedio	Velocidad media	Velocidad angular promedio
1800		1400-1800	
Maxima velocidad	Velocidad angular promedio	Maxima velocidad	Velocidad angular promedio
3300		3600	

Tabla 4.2 velocidades angulares manejadas a diferentes regímenes de trabajo.

TRABAJO FUTURO

Dentro del presente trabajo podemos enumerar los siguientes puntos como trabajo futuro, ya que requieren de una etapa de diseño para su implementación y son de gran importancia en la búsqueda de un modelo de trabajo más robusto:

- a) Es necesario emplear y diseñar un sistema de recirculación de combustible para gasolina, debido que se manejan presiones elevadas y previniendo alguna situación de riesgo es necesario considerar un método de liberación de presión.
- b) Es necesario incorporar un modelo de control para la chispa, debido a que se considera un gran complemento poder manejar aparte del tiempo de inyección el momento en el que se accione la bujía, con lo que se tendría una combustión aún más eficiente.
- c) Se sugiere un modelo de control para velocidades angulares variables, es decir, el modelo de control planteado en este trabajo es para un motor que trabaja a un régimen de giro constante. Para poder ofrecerlo más adelante como un producto en la industria automotriz; es necesario manejar un modelo de control que se adapte dependiendo del régimen de trabajo del motor.

CONCLUSIONES

Tomando en cuenta los objetivos planteados y todo el trabajo desarrollado a lo largo del proyecto podemos concluir satisfactoriamente lo siguiente:

- El objetivo principal del trabajo consistió en obtener un motor dual (gasolina y GLP) funcional a partir de un sistema de inyección electrónica, se cumplió en su totalidad para un régimen de giro constante.
- El prototipo final obtenido se puede considerar viable, debido a que su implementación a gran escala no requiere de grandes modificaciones dentro de un motor y no se maneja una implementación invasiva, que modifique a gran escala la arquitectura original del motor.
- El producto final obtenido es una opción costeable, es decir la inversión requerida en materiales para realizar la adaptación no excede los 3500 pesos por motor (sin contemplar los costos de ingeniería, manufactura, ni el recipiente a presión para almacenar el GLP ni su instalación) por lo que se considera una buena alternativa que se podría implementar a gran escala, una vez que se desarrolle un estudio profundo de finanzas y se discutan las regulaciones que se tengan que manejar en México para poder ser implementado.
- El producto final obtenido se puede ver como una realidad en México, es decir con el cambiante esquema del programa "Hoy no Circula" el hecho de poder reducir el número de emisiones tóxicas al ambiente se puede ver reflejado en un mayor número de días para circular en la ciudad, ya que con el actual esquema del programa los autos que trabajan con GLP entran dentro del esquema de los autos híbridos, por lo que pueden circular todos los días, además de que se verifican cada dos años.
- Como experiencia ganada y aprendizaje obtenido puedo decir que comprendí y fomenté un pensamiento analítico y reflexivo referente a las técnicas empleadas, tecnologías desarrolladas y principales desafíos presentes en el desarrollo e implementación de un proyecto de esta magnitud; es decir, el presente trabajo puede tener un gran impacto positivo en la sociedad, con lo que se cumpliría con uno de los principales objetivos de la ingeniería; buscar el desarrollo y crecimiento de la sociedad mediante la aplicación de conocimientos técnicos.

REFERENCIAS

BIBLIOGRAFÍA

- 1) Carsten, Baumgarten. (2006). *MIXTURE FORMATION IN INTERNAL COMBUSTION ENGINES*. Friedrichshafen, Germany.
- 2) Ferguson, Colin. (2001). *INTERNAL COMBUSTION ENGINES APPLIED THERMOSCIENCES*. New York, United States of America.
- 3) Lejda, Kazimierz. (2012). *INTERNAL COMBUSTION ENGINES*. Rijeka, Croatia.
- 4) Guzzella, Lino. (2004). *INTRODUCTION TO MODELING AND CONTROL OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE SYSTEMS*. Berlin.
- 5) Stone, Richard. (1992). *INTRODUCTION TO INTERNAL COMBUSTION ENGINES*. Hong Kong.
- 6) Shi, Yu. (2011). *COMPUTATIONAL OPTIMIZATION OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES*. London.
- 7) Escalante, Mauricio. (2008). *ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA DE LAS ADAPTACIONES EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA PARA UTILIZAR MEZCLAS GAS-HIDROGENO*. México.
- 8) Berrum, Rafael. (2009). *REINGENIERÍA SEIS SIGMA DE LA MANUFACTURA DE SISTEMAS DE IGNICIÓN DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA*. Edo. De México, México.
- 9) Scheper, T. (2007). *BIOFUELS, ADVANCES IN BIOCHEMICAL ENGINEERING/BIOTECHNOLOGY*. Berlin.
- 10) Demirbas, Ayhan. (2008). *BIODIESEL, A REALISTIC FUEL ALTERNATIVE FOR DIESEL ENGINES*. Girona, Spain.
- 11) Shrimpton John. (2009). *CHARGE INJECTION SYSTEMS, PHYSICAL PRINCIPLES, EXPERIMENTAL AND THEORETICAL WORK*. Chennai, India.
- 12) Merker, Günter. (2012). *COMBUSTION ENGINES DEVELOPMENT. MIXTURE FORMATION, COMBUSTION, EMISSIONS AND SIMULATION*. Germany.
- 13) Hiereth Hermann. (2007). *CHARGING THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE*. Austria.
- 14) Mahle. (2012). *PISTONS AND ENGINE TESTING*. Berlin, Germany.
- 15) Benson, Rowland. (1979). *INTERNAL COMBUSTION ENGINES*. Oxford, England.

MESOGRAFIA

- 1) <http://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/?idserpadre=10900530&d10900530#D10900530>
- 2) <http://www.aficionadosalamecanica.net/emision-gases-escape.htm>
- 3) <http://motor-system.czechtrade.es/conversion-al-funcionamiento-dual-de-los-motores-de-combustion>
- 4) http://www.technologyreview.es/read_article.aspx?id=43978
- 5) <http://www.cleanairpower.com/dual-fuel.html>
- 6) <http://www.enercon-eng.com/index.php?section=103>
- 7) <http://www.gazo.com.mx/>
- 8) http://www.industriaspesqueras.com/noticias/tecnologia/31248/caterpillar_una_nueva_generacion_de_motores_duales_mak_.html
- 9) <http://www.sedema.df.gob.mx/sedema/index.php/verificacion-hoy-no-circula/hoy-no-circula/calendario-del-programa-hoy-no-circula>
- 10) <http://www.encendidoelectronico.com/vista.php?id=30>
- 11) <http://www.encendidoelectronico.com/vista.php?id=30>
- 12) <http://www.encendidoelectronico.com/vista.php?id=35>
- 13) <http://www.encendidoelectronico.com/vista.php?id=34>
- 14) <http://www.encendidoelectronico.com/vista.php?id=34>
- 15) <http://www.encendidoelectronico.com/vista.php?id=35>
- 16) http://www.pac.com.ve/index.php?option=com_content&view=article&catid=54&Itemid=77&id=3676

ANEXOS

ANEXO 1: COMBUSTIBLE DIESEL

1.I.V DIÉSEL

DEFINICIÓN

Es un combustible líquido de gran calidad obtenido como producto intermedio en la columna de destilación atmosférica del petróleo. También suele ser llamado gasoil.

COMPOSICIÓN

Es una mezcla compleja de hidrocarburos compuesta principalmente de parafinas y aromáticos. El número de carbonos que lo forman se encuentra entre 10 y 22 aproximadamente.

Debido a que el petróleo no es un producto manufacturado, la composición del diesel no es exacta. Las composiciones consideradas son las siguientes:

- ✓ $C_{14,3}H_{26,2}$
- ✓ $C_{12}H_{23}$

Por lo que la composición media resultante es: $C_{13,15}H_{24,6}$

PROPIEDADES

La cantidad y la calidad de este combustible han hecho que, junto a la gasolina, formen el monopolio de combustibles para utilizar tanto en transporte urbano público como privado.

Las propiedades físico-químicas más relevantes que definen su uso en motores son:

NÚMERO DE CETANO: Para obtener un funcionamiento suave del motor Diésel se necesita una inflamación rápida del combustible a medida que va entrando en contacto con el aire de la cámara de combustión. Para cuantificar esta facilidad de ignición se utiliza el NM, si este valor no es lo suficientemente elevado se retrasa la combustión y esto provoca un aumento de la presión en el cilindro no deseado.

VISCOSIDAD: Una disminución de la viscosidad del diésel hace más fácil la pulverización del combustible, sin embargo si es demasiado baja no se consigue la lubricación adecuada en la bomba de inyección.

A continuación en la tabla 1.5 se muestran las principales propiedades y características del diésel; uno de los combustibles más empleados actualmente.

propiedades	unidades	TABLES
		GASOIL
Motor de ciclo	-	Diesel
Composición química	-	$C_{13,15}H_{24,8}$
Masa molar	kg/mol	0,1824
Estado	-	líquido
Poder calorífico inferior	MJ/kg-MJ/m ³	42,69-35581
	kcal/kg-kcal/m ³	10198,28-8500000
	Termias/kg-Termias/m ³	10,20-8500
Densidad	kg/m ³	840-890
Densidad relativa	-	0,84-0,89
Número de Metano	-	-
Número de Octano	-	-
Número de Cetano	-	40-60
Viscosidad (40°C)	cSt	3,2
Temperatura de autoignición	°C	200-400
Punto de ebullición	°C	180-370
Curva de destilación	°C	180-370
Dosado estequiométrico mas.	kg aire/ kg comb	14,62
Dosado estequiométrico vol	m ³ aire/m ³ comb	10674,686
Densidad mezcla comb/aire	kg/m ³	1,266
Límites de inflamabilidad	% (vol)	0,7-5
PCI mezcla comb/aire	MJ/kg	2,73
Consumo específico habitual inferior	g/kwh	241,21
Consumo específico habitual superior		312,68
Emisiones CO ₂ (teóricas)	g/kwh	270,74
Adaptaciones del motor	sí/no	-

TABLA 7.3. Propiedades físico-químicas de g:

Tabla 1.5 Propiedades generales del diésel.

OTROS COMBUSTIBLES CON GRANDES POTENCIALES:

Existe una gran cantidad de combustibles con grandes posibilidades de ser empleados como opciones alternativas a la gasolina, diésel y GLP. Como lo son:

- ✓ Hidrogeno
- ✓ Biogás
- ✓ Gas natural
- ✓ Alcoholes

TEMPERATURAS MEDIAS DE IGNICIÓN DE COMBUSTIBLES

Type of gas	Chemical formula	Normalized density (air = 1)	Ignition limits in the air (% volumetric)	Ignition temperature in the air [°C]
Gasoline	~C ₈ H ₁₇	0.61	0.6 - 8	220
Butane (n)	C ₄ H ₁₀	2.05	1.8 - 8.5	460
Natural gas H		0.67	5 - 14	640
Natural gas L		0.67	6 - 14	670
Ethane	C ₂ H ₆	1,047	3 - 12.5	510
Ethylene	C ₂ H ₄	1,00	2.7 - 34	425
Gas propane-butane 50%		1.79	2 - 9	470
Methane	CH ₄	0.55	5 - 15	595
Propane	C ₃ H ₈	1.56	2,1 - 9.5	470
City gas I		0.47	5 - 38	550
City gas II		0.51	6 - 32	550
Carbon monoxide	CO	0.97	12.5 - 74	605
Hydrogen	H ₂	0.07	4 - 76	585
Diesel oil		0.67	0.6 - 6.5	230

Table 2. Ignition limits and ignition temperatures of the most important technical gases and vapours in the air at pressure 1,013 bar

No	Parameter	Nomenclature or symbol	Unit	Value
1	Combustion heat	Q_c	[MJ/Nm ³] [MJ/kg]	39,231 51,892
2	Calorific value	W_d	[MJ/Nm ³] [MJ/kg]	35,372 46,788
3	Density in normal conditions	ρ_g	[kg/Nm ³]	0,756
4	Relative density	Δ	-	0,586
5	Coefficient of compressibility	Z	-	0,9980
6	Wobbe number	W_B	[MJ/Nm ³]	51,248
7	Stoichiometric constant	L_o	[Nm ³ _{fuel} /Nm ³ _{air}]	9,401
8	CO ₂ from the combustion	-	[Nm ³ /Nm ³]	0,999

Table 3. Properties of the natural gas used in experimental research

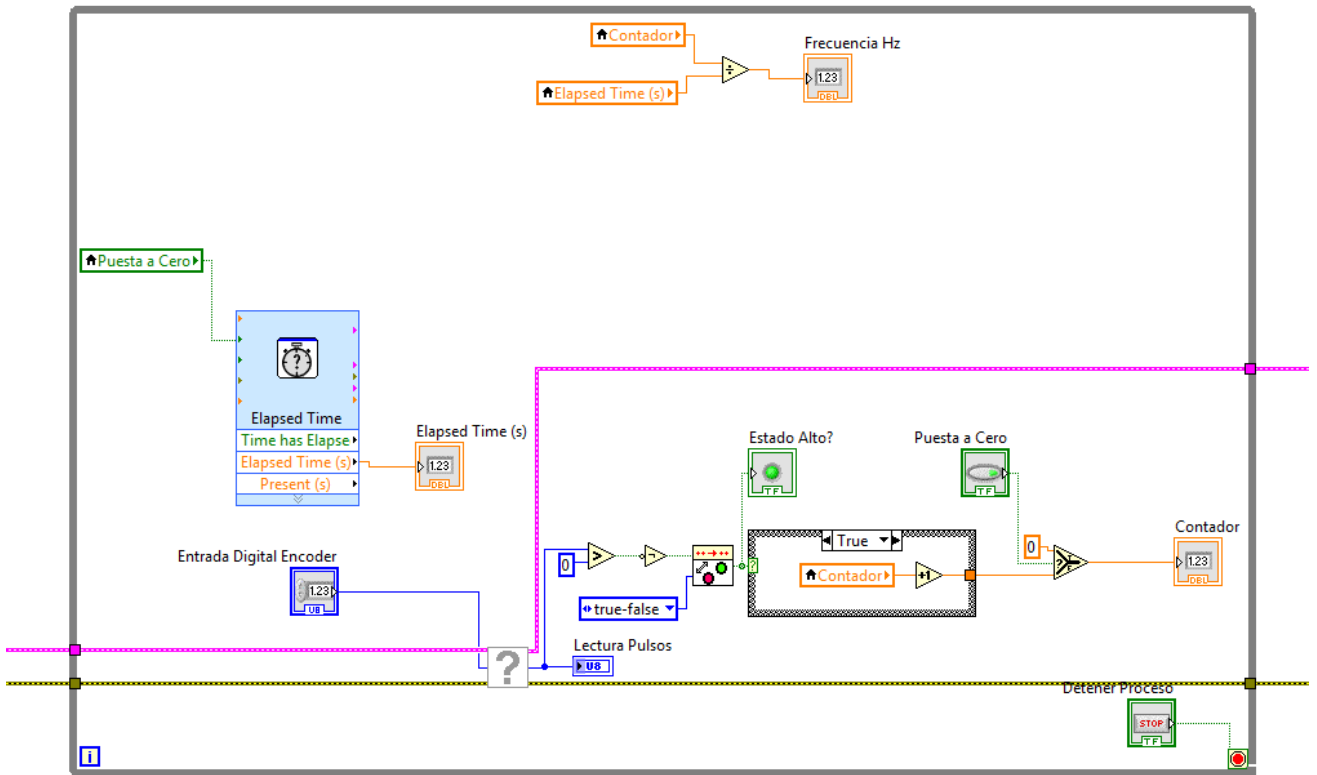
ANEXO 2: PROGRAMACIÓN SENSOR MAF

```
const int MAF= 0; // Seleccionamos el pin a emplear
void setup() //iniciamos funcion setup
{
  Serial.begin(9600);
}
void loop() {
  int val; // Registramos el valor que proviene del sensor.
  int mapeo; //Declaramos la constante mapeo.
  val = analogRead(MAF); // leemos el voltaje en el pin seleccionado en una escala
  de 0 a 1023
  mapeo=map(val,0,1023,0,10); //Mediante la función map pasamos de una escala
  de 0 a 1023 a una de 0 a 10
  delay(500 ); // espera de medio segundo

  if (mapeo <= 2)
  {
    Serial.println(0); // Si el valor de la variable mapeo es inferior a 2, lo podemos
    despreciar
  }

  else
  {
    Serial.print("MAF: ");
    Serial.println(mapeo); // si el valor de la variable mapeo es superior a 2 se muestra.
  }
}
```


ANEXO 3 CÓDIGO DE BLOQUES EMPLEADO EN DAQ



Anexo 4 : Código Sensor de Oxígeno

```
const int Sensor_Oxigeno= 0; //Seleccionamos el pin a usar para leer la magnitud
de corriente del sensor de oxígeno

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
}
void loop() {
  int val; // Declaramos la variable que va a guardar el valor leído
  int mapeo; //Declaramos la variable mapeo, que nos ayudara a crear una escala.

  val = analogRead(Sensor_Oxigeno); //Leemos el valor analogico del pin
proveniente del sensor de oxígeno
  mapeo=map(val,0,1023,0,1023); // Realizamos el mapeo, en una escala de 0
a 1023

  delay(500 ); // Esperamos medio segundo antes de efectuar otra lectura.

  Serial.println(mapeo); // Mostramos en el monitor serial el valor leído, empenado la
nueva escala.

}
```

ANEXO 5: DATASHEET TRANSISTOR TIPO DARLINGTON TIP 120



**PLASTIC MEDIUM-POWER
COMPLEMENTARY SILICON TRANSISTORS**

...designed for general-purpose amplifier and low speed switching applications

FEATURES:

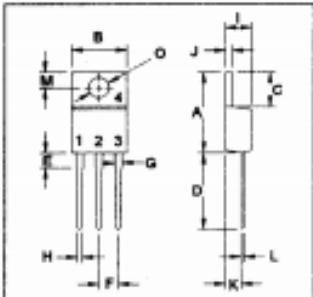
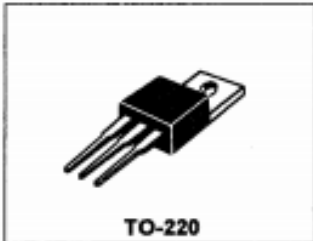
- * Collector-Emitter Sustaining Voltage-
 $V_{CE(sust)}$ = 60 V (Min) - TIP120, TIP125
 = 80 V (Min) - TIP121, TIP126
 = 100 V (Min) - TIP122, TIP127
- * Collector-Emitter Saturation Voltage
 $V_{CE(sat)}$ = 2.0 V (Max.) @ $I_C = 3.0$ A
- * Monolithic Construction with Built-in Base-Emitter Shunt Resistor

NPN	PNP
TIP120	TIP125
TIP121	TIP126
TIP122	TIP127

**5.0 AMPERE
DARLINGTON
COMPLEMENTARY SILICON
POWER TRANSISTORS
60-100 VOLTS
65 WATTS**

MAXIMUM RATINGS

Characteristic	Symbol	TIP120 TIP125	TIP121 TIP126	TIP122 TIP127	Unit
Collector-Emitter Voltage	V_{CEO}	60	80	100	V
Collector-Base Voltage	V_{CBO}	60	80	100	V
Emitter-Base Voltage	V_{EBO}	5.0			V
Collector Current-Continuous	I_C	5.0			A
-Peak	I_{CM}	8.0			
Base Current	I_B	120			mA
Total Power Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	65			W
		0.52			W/ $^\circ\text{C}$
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{STG}	- 65 to +150			$^\circ\text{C}$

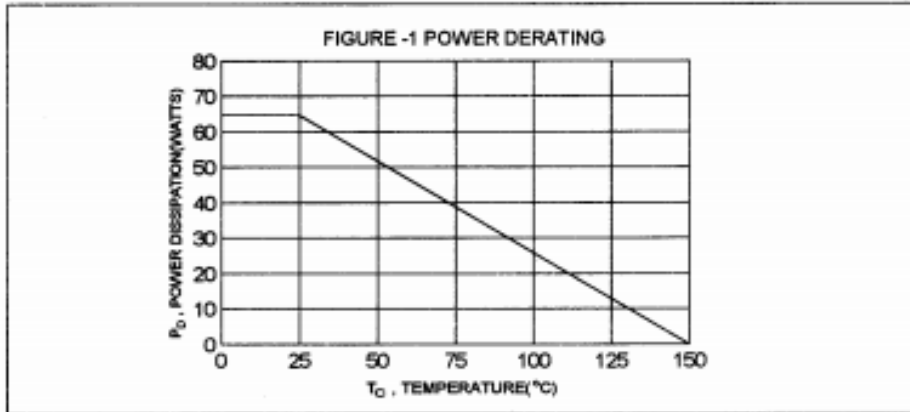


1. BASE
2. COLLECTOR
3. EMITTER
4. COLLECTOR (CASE)

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance Junction to Case	$R_{\theta jc}$	1.92	$^\circ\text{C/W}$

DIM	MILLIMETERS	
	MIN	MAX
A	14.68	15.31
B	9.78	10.42
C	5.01	6.52
D	13.06	14.62
E	3.57	4.07
F	2.42	3.66
G	1.12	1.36
H	0.72	0.96
I	4.22	4.98
J	1.14	1.38
K	2.20	2.97
L	0.33	0.55
M	2.48	2.96
O	3.70	3.90



TIP120, TIP121, TIP122 NPN / TIP125, TIP126, TIP127 PNP

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_c = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit
----------------	--------	-----	-----	------

OFF CHARACTERISTICS

Collector - Emitter Sustaining Voltage (1) ($I_C = 30\text{ mA}$, $I_B = 0$)	TIP120,TIP125 TIP121,TIP126 TIP122,TIP127	$V_{CE(sus)}$	60 80 100	V
Collector Cutoff Current ($V_{CE} = 30\text{ V}$, $I_B = 0$) ($V_{CE} = 40\text{ V}$, $I_B = 0$) ($V_{CE} = 50\text{ V}$, $I_B = 0$)	TIP120,TIP125 TIP121,TIP126 TIP122,TIP127	I_{CEO}	0.5 0.5 0.5	mA
Collector Cutoff Current ($V_{CB} = 60\text{ V}$, $I_E = 0$) ($V_{CB} = 80\text{ V}$, $I_E = 0$) ($V_{CB} = 100\text{ V}$, $I_E = 0$)	TIP120,TIP125 TIP121,TIP126 TIP122,TIP127	I_{CBO}	0.2 0.2 0.2	mA
Emitter Cutoff Current ($V_{EB} = 5.0\text{ V}$, $I_C = 0$)		I_{EBO}	2.0	mA

ON CHARACTERISTICS (1)

DC Current Gain ($I_C = 0.5\text{ A}$, $V_{CE} = 3.0\text{ V}$) ($I_C = 3.0\text{ A}$, $V_{CE} = 3.0\text{ V}$)	hFE	1000 1000		
Collector-Emitter Saturation Voltage ($I_C = 3.0\text{ A}$, $I_B = 12\text{ mA}$) ($I_C = 5.0\text{ A}$, $I_B = 20\text{ mA}$)	$V_{CE(sat)}$		2.0 4.0	V
Base-Emitter On Voltage ($I_C = 3.0\text{ A}$, $V_{CE} = 3.0\text{ V}$)	$V_{BE(on)}$		2.5	V

DYNAMIC CHARACTERISTICS

Small-Signal Current Gain ($I_C = 3.0\text{ A}$, $V_{CE} = 4.0\text{ V}$, $f = 1.0\text{ MHz}$)	h_{fe}	4.0		
Output Capacitance ($V_{CB} = 10\text{ V}$, $I_E = 0$, $f = 0.1\text{ MHz}$)	C_{ob}		300 250	pF

(1) Pulse Test: Pulse width = 300 us , Duty Cycle \leq 2.0%

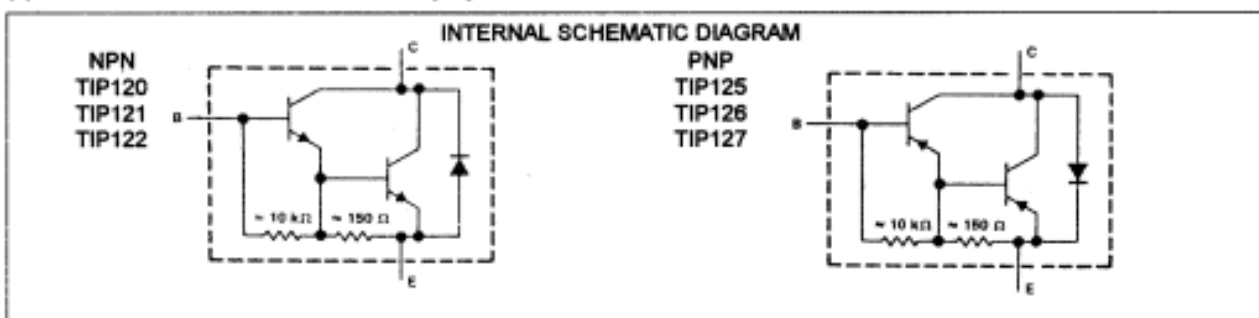


FIG-2 SWITCHING TIME

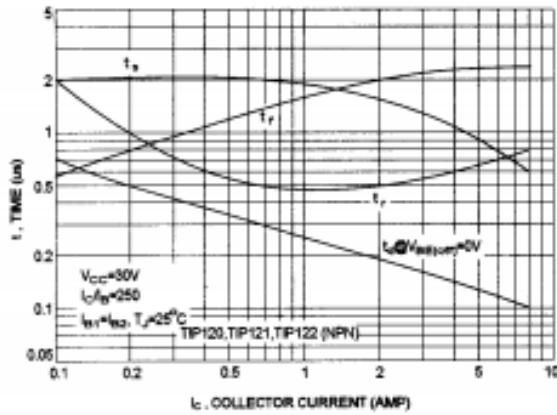


FIG-3 SWITCHING TIME

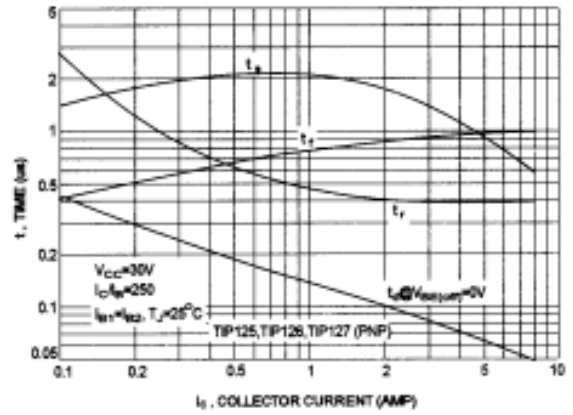


FIG-4 SMALL-SIGNAL CURRENT GAIN

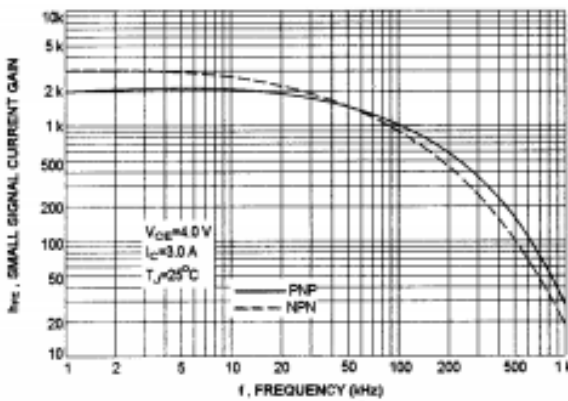


FIG-5 CAPACITANCES

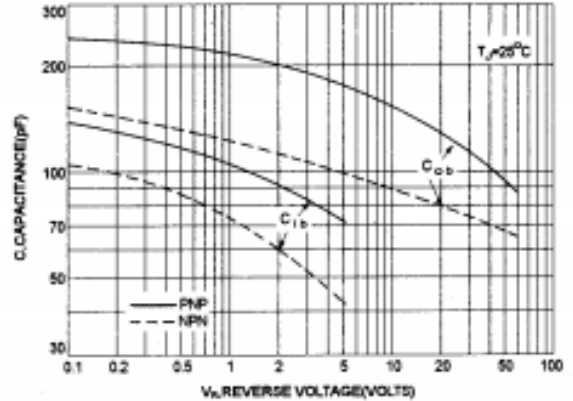
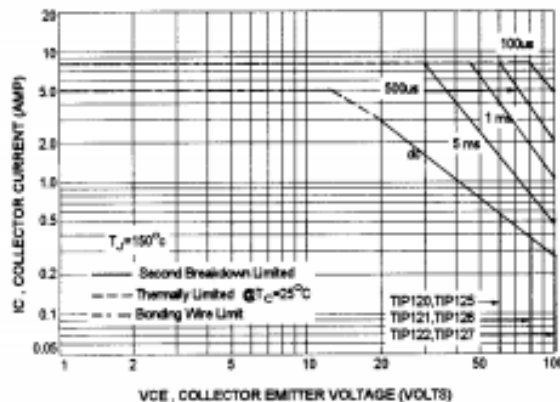


FIG-6 ACTIVE REGION SAFE OPERATING AREA



There are two limitation on the power handling ability of a transistor: average junction temperature and second breakdown safe operating area curves indicate I_C-V_{CE} limits of the transistor that must be observed for reliable operation i.e., the transistor must not be subjected to greater dissipation than curves indicate.

The data of FIG-6 is base on $T_{J(PK)}=150^{\circ}C$; T_C is variable depending on power level. second breakdown pulse limits are valid for duty cycles to 10% provided $T_{J(PK)} \leq 150^{\circ}C$. At high case temperatures, thermal limitation will reduce the power that can be handled to values less than the limitations imposed by second breakdown.

NPN TIP120,TIP121,TIP122

PNP TIP125,TIP126,TIP127

FIG-7 DC CURRENT GAIN

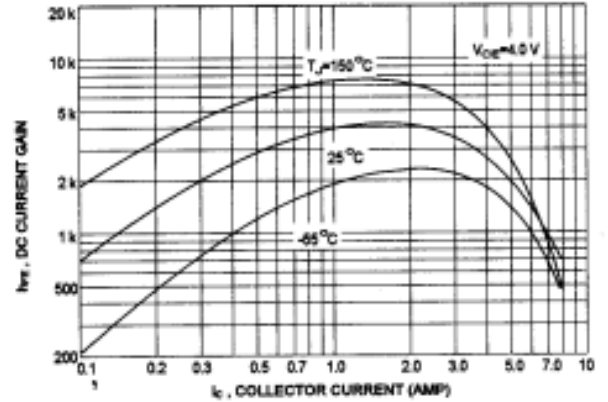
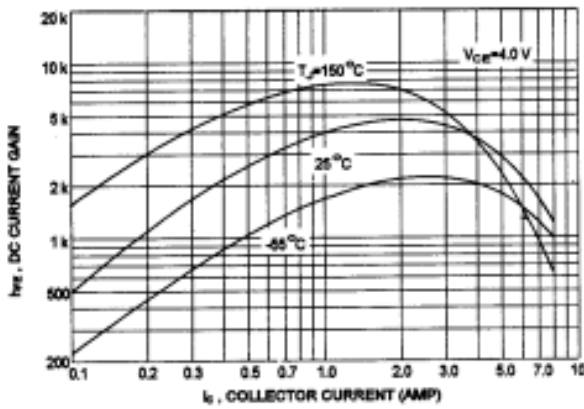


FIG-8 COLLECTOR SATURATION REGION

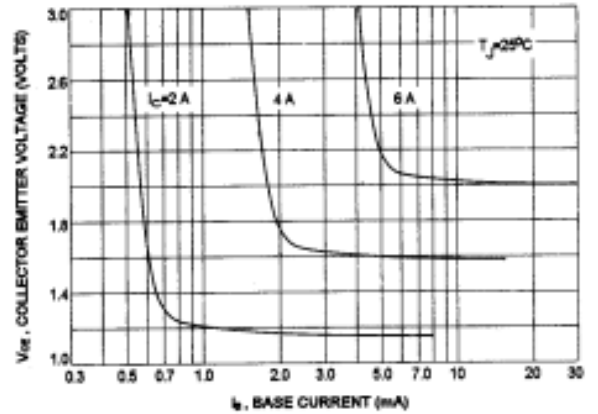
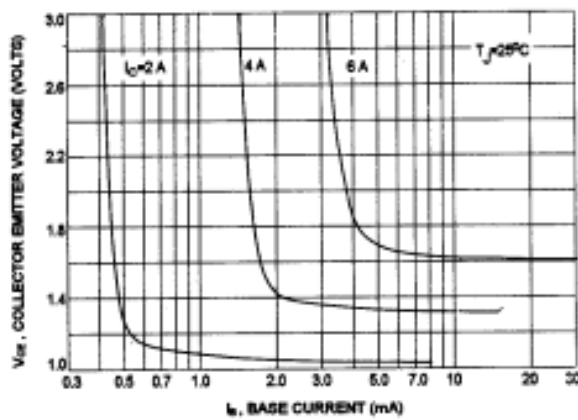
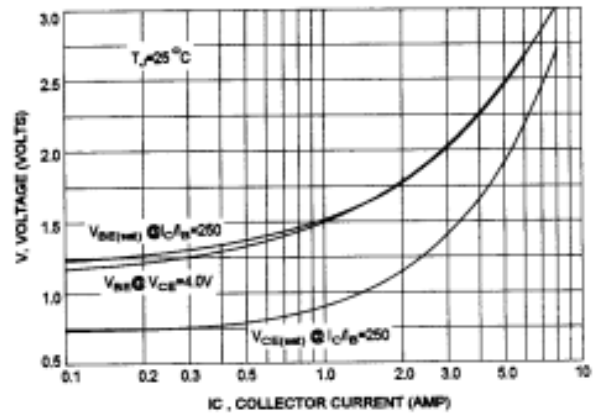
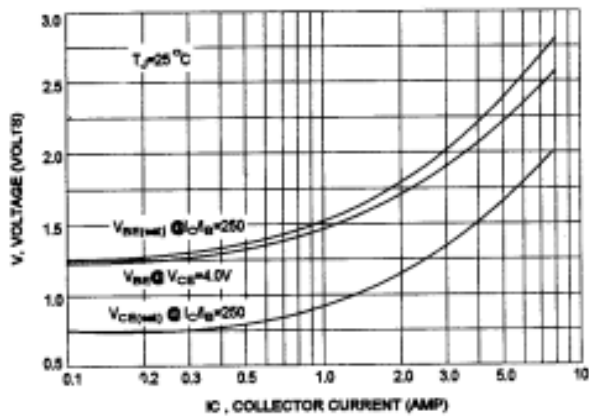


FIG-9 "ON" VOLTAGES



Anexo 6: Código Inyector gasolina

```
int inyector = 9; // Emplearemos el pin 9 como la salida para el inyector

void setup() { // la siguiente rutina corre una vez que se presiona el boton de reset
del Arduino

    pinMode(inyector, OUTPUT); //Inicializa el pin digital como una salida
}

void loop() { // la siguiente rutina se ejecuta constantemente

    digitalWrite(inyector, HIGH); // Saturo el transistor TIP120 para que se alimente
la bobina del inyector y se active
    delay(8); // defino ciclo de trabajo en alto
    digitalWrite(inyector, LOW); // Dejo de saturar el transistor TIP120 para que no
se alimente la bobina del inyector y se cierre
    delay(200); // defino ciclo de trabajo en bajo
}
```

Anexo 7: Código Inyector gas LP

```
int inyector = 9; // Emplearemos el pin 9 como la salida para el inyector

void setup() { // la siguiente rutina corre una vez que se presiona el boton de reset
del Arduino

    pinMode(inyector, OUTPUT); //Inicializa el pin digital como una salida
}

void loop() { // la siguiente rutina se ejecuta constantemente

    digitalWrite(inyector, HIGH); // Saturo el transistor TIP120 para que se alimente
la bobina del inyector y se active
    delay(25); // defino ciclo de trabajo en alto
    digitalWrite(inyector, LOW); // Dejo de saturar el transistor TIP120 para que no
se alimente la bobina del inyector y se cierre
    delay(40); // defino ciclo de trabajo en bajo
}
```


Anexo 8: Plano del mezclador Motor Briggs and Stratton

