

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

COMPORTAMIENTO DE UN MOTOR A GASOLINA UTILIZANDO ALCOHOL ANHIDRO COMO COMBUSTIBLE DE APORTE.

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

DIEGO RAFAEL FREIRE ROMERO
diego_freire87@yahoo.es

JAVIER ALEXANDER LOZA ROJAS
alexanderlozarojas@hotmail.com

DIRECTOR: ING. ÁNGEL PORTILLA
ahph2001@yahoo.com

Quito, Febrero 2013

DECLARACIÓN

Nosotros DIEGO RAFAEL FREIRE ROMERO Y JAVIER ALEXANDER LOZA ROJAS, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

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

DIEGO FREIRE

JAVIER LOZA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por el Sr. Diego Rafael Freire Romero y el Sr. Javier Alexander Loza Rojas, bajo mi supervisión.

Ing. Ángel Portilla
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

A Dios, por el don de la vida, por guiarme en todos mis proyectos y darme la sabiduría, perseverancia para concluir los mismos.

A mis padres José y Yolanda por haberme inculcado valores como la humildad, principalmente por ser el motor de inspiración que me ayuda a seguir adelante y no desmayar en las metas propuestas.

A mis hermanos Marcelo, Mesías, y Elizabeth, y a toda mi familia por su apoyo incondicional.

Al Ing. Ángel Portilla por la colaboración brindada a lo largo de todo el proyecto, también al personal del CCICEV por apoyarnos en la ejecución del mismo.

A mi compañero de tesis, por brindarme su amistad sincera, y su incesante ayuda a lo largo de todo este proyecto. **DIEGO**

A Dios, por guiar mis pasos a lo largo de mi vida y poner en mi camino a las personas que me rodean.

A mis padres, por su sacrificio, amor y apoyo incondicional.

A Diana, por su amor, por estar junto a mí a lo largo de estos años de dedicación.

A mi familia, en especial a mis abuelas, por manifestarme siempre su cariño.

A mi compañero de tesis, por facilitar este paso importante en el logro de nuestro objetivo a través de su amistad y dedicación.

Un agradecimiento especial al Ing. Ángel Portilla, por su acertada dirección en el desarrollo de este proyecto y por facilitarnos los equipos e instalaciones necesarias. A los miembros del CCICEV por colaborar en la realización de las pruebas y al Ing. Miguel Parreño por ayudarnos en las inquietudes presentadas. **ALEXANDER**

DEDICATORIA

A Dios y a la Virgencita por protegerme cada día, darme nuevas oportunidades de estar junto a toda mi familia.

A mis padres por dedicar todo para que me supere profesionalmente, a pesar de la distancia siempre estuvieron ahí, gracias.

A mis hermanos, a mis cuñadas y sobrinos, por ser parte de este gran sueño.

DIEGO

A Dios, por brindarme la oportunidad de vivir, de tener a mi familia a mi lado y de colocar en mi camino buenas personas.

A mi madre, por su amor, por su cuidado y apoyo a lo largo de toda mi vida. Porque me ha sabido guiar bajo su ejemplo de constancia, trabajo y sacrificio.

A mi padre, por siempre manifestarme su amor a pesar de que la vida no nos haya permitido demasiados momentos juntos.

A Diana, por haber estado conmigo en estos años, por darme su amor, su apoyo, por ser mi fortaleza en los momentos más difíciles.

A mi familia, en especial a mis abuelitas, Ubeliza y Emma, por su cariño y sus cuidados.

A todo el ALIANZA 04-17, por ser no solo un equipo, sino un símbolo de amistad y de buenos momentos, momentos que serán los mejores y más gratos recuerdos de mi vida universitaria.

ALEXANDER

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	1
PRESENTACIÓN	2
CAPÍTULO 1	4
FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA	4
1.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO	4
1.1.1 MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA	4
1.1.2 MOTOR OTTO	6
1.1.3 CONCEPTOS BÁSICOS	11
1.2 EFICIENCIA ENERGETICA DEL MOTOR	14
1.3 SISTEMAS DEL MOTOR OTTO	15
1.3.1 SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE	15
1.3.2 SISTEMA DE SUMINISTRO DE AIRE	18
1.3.3 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN	20
1.3.4 SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	21
1.3.5 SISTEMA DE LUBRICACIÓN	22
1.3.6 SISTEMA DE ENCENDIDO	23
1.4 DESEMPEÑO MECÁNICO DEL MOTOR OTTO	24
1.4.1 Torque	24
1.4.2 Potencia	25
1.4.3 Consumo de combustible	26
1.4.4 Emisiones contaminantes	27
1.4.5 Curvas características	32
1.4.6 FACTOR LAMBDA	33

CAPÍTULO 2	36
REALIDAD ACTUAL DE LA CONTAMINACIÓN POR MOTORES A GASOLINA EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO	36
2.1 MONITOREO DEL AIRE EN QUITO	36
2.1.1 ÍNDICE QUITEÑO DE CALIDAD DEL AIRE (IQCA)	37
2.1.2 ESTADO DE LA CONTAMINACIÓN EN EL DMQ POR FUENTES MÓVILES ²⁸	39
2.2 IMPACTO DE LAS EMISIONES.....	43
2.2.1 IMPACTO GLOBAL.....	45
2.2.2 IMPACTO LOCAL	46
2.3 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE DE QUITO	49
2.3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA CIUDAD.....	49
2.3.2 CONDICIONES METEOROLÓGICAS	50
2.3.3 LA TEMPERATURA.....	51
2.3.4 RADIACIÓN SOLAR GLOBAL ³⁶	52
2.3.5 PRECIPITACIÓN	52
2.4 NORMALIZACIÓN Y REGLAMENTOS DE EMISIONES CONTAMINANTES.....	53
2.4.1 NORMAS LOCALES	54
2.4.2 NORMAS INTERNACIONALES.....	56
2.4.3 REGLAMENTO LOCAL	61
2.4.4 ORDENANZAS PARA EL D.M. DE QUITO.....	62

CAPÍTULO 3	63
TECNOLOGÍAS ALTERNATIVAS	63
3.1 EVOLUCIÓN DE LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS	64
3.2 CLASIFICACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS ALTERNATIVAS	65
3.2.1 TECNOLOGÍA HÍBRIDA	65
3.2.2 BIOMASA	70
3.2.3 GAS NATURAL COMPRIMIDO (GNC)	71
3.2.4 GAS LICUADO DE PETRÓLEO	73
3.2.5 HIDRÓGENO	74
3.2.6 ENERGÍA SOLAR	75
3.2.7 ENERGÍA ELÉCTRICA	76
3.2.8 ENERGÍA NEUMÁTICA	78
CAPÍTULO 4	79
GASOLINA Y ETANOL	79
4.1 COMBUSTIBLES CONVENCIONALES	79
4.1.1 GASOLINA	79
4.1.2 PROPIEDADES DE LA GASOLINA	80
4.2 ETANOL	85
4.2.1 ANTECEDENTES	85
4.2.2 PROPIEDADES DEL ETANOL	87
4.3 PRECAUCIONES CON RELACIÓN AL USO DEL ETANOL	90
4.3.1 PELIGROS FÍSICOS:	90
4.3.2 PELIGROS QUÍMICOS:	90
4.3.3 VÍAS DE EXPOSICIÓN:	90
4.4 REACCIONES CON ETANOL ANHIDRO	90

4.5	APLICACIONES	91
4.5.1	APLICACIONES GENERALES:.....	91
4.5.2	APLICACIONES EN LA INDUSTRIA QUÍMICA:.....	91
4.5.3	APLICACIONES EN LA INDUSTRIA FARMACÉUTICA:.....	91
4.5.4	APLICACIONES COMO COMBUSTIBLE:.....	91
4.6	DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN DE COMBUSTIBLES CON ETANOL A NIVEL MUNDIAL	91
4.7	SITUACIÓN DE COMBUSTIBLES CON ETANOL EN EL ECUADOR.....	93
4.8	COMBUSTIÓN	94
4.9	COMBUSTIÓN MÉTODO SIMPLIFICADO	94
CAPÍTULO 5	105
PRUEBAS Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS	105
5.1	PRUEBAS	105
5.1.1	PRUEBA EN RUTA.....	105
5.1.2	PRUEBA ESTÁTICA DE GASES.....	110
5.1.3	PRUEBA DE TORQUE Y POTENCIA.....	112
5.1.4	PRUEBA DINÁMICA ASM	113
5.2	EVALUACIÓN Y PREPARACIÓN DEL VEHÍCULO DE PRUEBAS.....	114
5.3	CONDICIONES PARA LA MEZCLA DE COMBUSTIBLE	115
5.4	RESULTADOS OBTENIDOS Y ANÁLISIS.....	117
5.4.1	RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LA PRUEBAS DE RUTA.....	117
5.4.2	RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LAS PRUEBAS DE GASES ESTÁTICAS	126
5.4.3	RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LAS PRUEBAS DE TORQUE Y POTENCIA.....	127

5.4.4	RESULTADO Y ANÁLISIS DE DATOS DE LAS PRUEBAS ASM	132
5.4.5	RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES DEL COMBUSTIBLE.....	136
5.4.6	Comparación del costo de combustible para las diferentes mezclas.	137
CAPÍTULO 6	139
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	139

ÍNDICE DE GRÁFICOS

- Figura 1.1 Esquema básico del Motor de Combustión Interna ¡Error! Marcador no definido.
- Figura 1.2 Ciclo Otto ideal ¡Error! Marcador no definido.
- Figura 1.3 Ciclo Otto real..... ¡Error! Marcador no definido.
- Figura 1.4 Diferencias entre ciclo Otto real e ideal..... ¡Error! Marcador no definido.
- Figura 1.5 Ciclo de funcionamiento de un motor de cuatro tiempos.¡Error! Marcador no definido.
- Figura 1.6 Nomenclatura para los motores ¡Error! Marcador no definido.
- Figura 1.7 Relación de compresión..... ¡Error! Marcador no definido.
- Figura 1.8 Diagrama Sankey de la eficiencia energética en un motor de
combustión interna ¡Error! Marcador no definido.
- Figura 1.9 Sistema de alimentación ¡Error! Marcador no definido.
- Figura 1.10 Inyección directa ¡Error! Marcador no definido.
- Figura 1.11 Inyección indirecta..... ¡Error! Marcador no definido.
- Figura 1.12 Inyección monopunto ¡Error! Marcador no definido.
- Figura 1.13 Inyección multipunto..... ¡Error! Marcador no definido.
- Figura 1.14 Sistema de aire ¡Error! Marcador no definido.
- Figura 1.15 Sistema de aire sobrealimentado ¡Error! Marcador no definido.
- Figura 1.16 Sistema de distribución ¡Error! Marcador no definido.
- Figura 1.17 Sistema de enfriamiento..... ¡Error! Marcador no definido.
- Figura 1.18 Sistema de lubricación ¡Error! Marcador no definido.
- Figura 1.19 Sistema de encendido..... ¡Error! Marcador no definido.
- Figura 1.20 Torque..... ¡Error! Marcador no definido.
- Figura 1.21 Efecto de la altitud en la potencia producida por el motor (presión
atmosférica) ¡Error! Marcador no definido.
- Figura 1.22 Proceso químico interno del catalizador.... ¡Error! Marcador no definido.
- Figura 1.23 Esquema de un convertidor catalítico ¡Error! Marcador no definido.
- Figura 1.24 Curvas características de un motor Otto ... ¡Error! Marcador no definido.
- Figura 1.25 Factor lambda ¡Error! Marcador no definido.
- Figura 1.26 El torque y potencia en función de lambda¡Error! Marcador no definido.
- Figura 1.27 Emisiones contaminantes en función de lambda ¡Error! Marcador no definido.

Figura 2.1 Localización de las redes automáticas de monitoreo	38
Figura 2.2 Porcentaje acumulado de emisiones de fuentes fijas y fuentes móviles en el DMQ en función de contaminantes CO, SO ₂ , NO _x y PM	40
Figura 2.3 Porcentaje acumulado de emisiones de las principales fuentes de contaminación para 2011	41
Figura 2.4 Porcentaje acumulado de emisiones por tipo de combustible utilizado en el DMQ durante el 2011.	42
Figura 2.5 Porcentaje acumulado de emisiones de hidrocarburos no combustionados a 2500 RPM de aceleración, en autos del DMQ, RTV 2003 – 2011	42
Figura 2.6 Porcentaje acumulado de emisiones de monóxido de carbono a 2500 RPM de aceleración, en autos del DMQ, RTV 2003 – 2011	43
Figura 2.7 Emisiones contaminantes producto de la combustión de gasolina.	44
Figura 2.8 Parque automotor de D.M.Q.. Vehículos que aprobaron la revisión de la CORPAIRE.	46
Figura 2.9 Esquema tridimensional de la ubicación de la ciudad de Quito	50
Figura 2.10 Temperatura media mensual para los años 2005 al 2010 (05-10) y 2011, promedio de las estaciones Cotocollao, Carapungo, Belisario y El Camal	51
Figura 2.11 Precipitación mensual para los años 2005 al 2010 (05-10) y 2011, promedio de todas las estaciones.	53
Figura 2.12 Límites de las normativas anticontaminación europea EURO, para vehículos livianos.	59
Figura 2.13 Límites de las normativas anticontaminación europeas EURO, para vehículos pesados.....	60
Figura 3.1 Consumo de combustible y de nuevas tecnologías	63
Figura 3.2 Tendencia de consumo de energía	64
Figura 3.3 Proyección de nuevas tecnologías.....	64
Figura 3.4 El auto híbrido	66
Figura 3.5 Híbrido en paralelo	67

Figura 3.6 Sistema híbrido en serie.....	68
Figura 3.7 Híbrido total.....	69
Figura 3.8 Proceso de obtención de alcohol a partir de la biomasa.....	71
Figura 3.9 Adaptación de bombonas de gas en el automóvil.....	71
Figura 3.10 Adaptación de un vehículo para que funcione con gas natural comprimido.....	72
Figura 3.11 Aumento del número de vehículos que usan GNC.	73
Figura 3.12 Adaptación para un vehículo a GLP.....	74
Figura 3.13 Vehículo a hidrógeno	75
Figura 3.14 Auto solar	76
Figura 3.15 Esquema de funcionamiento vehículo eléctrico	77
Figura 3.16 Acople del rotor al cigüeñal	77
Figura 3.17 Vehículo que funciona con aire comprimido.....	78
Figura 4.1 Obtención del alcohol anhidro.....	87
Figura 4.2 Ciclo de vida del etanol.	89
Figura 4.3 Oferta y demanda de bioetanol para el 2015	92
Figura 5.1 Mapa de ruta de pruebas	105
Figura 5.2 Analizador de gases.....	107
Figura 5.3 Scanner.....	108
Figura 5.4 Sistema de Posicionamiento Global (GPS).....	108
Figura 5.5 Inversor de voltaje.....	108
Figura 5.6 Pantallas digitales	109
Figura 5.7 Flujómetro	109
Figura 5.8 Analizador de gases MAHA	110
Figura 5.9 Pinza Trigger.....	111
Figura 5.10 Pupitre de comunicaciones	111
Figura 5.11 Sonda.....	112
Figura 5.12 Dinamómetro de chasis, correas, ventilador, caja de interfaces.	112
Figura 5.13 Pupitre de comunicaciones y computador LPS 3000.....	113
Figura 5.14 Rodillos del banco de pruebas ASM	113
Figura 5.15 Software ASM	114

Figura 5.16 Gasolina extra	115
Figura 5.17 Medición de combustible.....	116
Figura 5.18 Mezclas de combustible con alcohol anhidro	117
Figura 5.19 Porcentaje de CO vs N° de Mediciones para gasolina convencional	117
Figura 5.20 ppm de HC vs N° de Mediciones para gasolina convencional	118
Figura 5.21 ppm de HC vs N° de Mediciones para gasolina convencional	118
Figura 5.22 ppm de CO ₂ y NO _x vs N de Mediciones para gasolina convencional	118
Figura 5.23 Porcentaje de O ₂ vs N° de Mediciones para gasolina convencional.	119
Figura 5.24 Porcentajes de CO para cada combustible.....	119
Figura 5.25 Porcentajes de CO ₂ para cada combustible.....	120
Figura 5.26 ppm de HC para cada combustible.....	120
Figura 5.27 ppm de HC y O ₂ para cada combustible.....	120
Figura 5.28 ppm de NO _x para cada combustible.....	121
Figura 5.29 Rendimiento de combustible en km/galón para las diferentes composiciones.....	122
Figura 5.30 Aumento de consumo de combustible con relación a la gasolina convencional	123
Figura 5.31 Factor de emisión de CO	123
Figura 5.32 Factor de emisión HC.....	124
Figura 5.33 Factor de emisión NO _x	124
Figura 5.34 Factores de CO ₂ calculados con la fórmula estequiométrica	125
Figura 5.35 Factores de CO ₂ calculados con respecto a la Guía Práctica para el Cálculo de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (gei).....	125
Figura 5.36 Datos obtenidos de la medición de potencia y torque en tabla de datos y gráfica.....	127
Figura 5.37 Potencia normal en función de las rpm	130
Figura 5.38 Momento normal en función de las rpm	130

Figura 5.39 Tendencia de la variación de la potencia normal al aumentar la cantidad de alcohol anhidro.....	131
Figura 5.40 Tendencia de la variación del momento a medida que aumenta el porcentaje de alcohol anhidro.	131
Figura 5.41 Variación de CO con respecto al porcentaje de alcohol. Prueba ASM 2525	133
Figura 5.42 Variación de CO con respecto al porcentaje de alcohol. Prueba ASM 5015	133
Figura 5.43 Variación de HC con respecto al porcentaje de alcohol. Prueba ASM 2525	133
Figura 5.44 Variación de HC con respecto al porcentaje de alcohol. Prueba ASM 5015	134
Figura 5.45 Variación de CO ₂ con respecto al porcentaje de alcohol. Prueba ASM 2525	134
Figura 5.46 Variación de HC con respecto al porcentaje de alcohol. Prueba ASM 5015	134
Figura 5.47 Variación de NO _x con respecto al porcentaje de alcohol. Prueba ASM 2525	135
Figura 5.48 Variación de NO _x con respecto al porcentaje de alcohol. Prueba ASM 5015	135
Figura 5.49 Variación del octanaje para cada mezcla de combustible.....	136
Figura 5.50 Variación del contenido de azufre para cada mezcla de combustible.	136
Figura 5.51 Variación del contenido de azufre para cada mezcla de combustible.	137
Figura 5.52 Costo mensual de combustible para las diferentes mezclas de combustible.	138

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1.1 Combustión ideal de la gasolina	¡Error! Marcador no definido.
Diagrama 1.2 Combustión real de la gasolina.....	¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Límites numéricos del IQCA ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	37
Tabla 2.2 Disponibilidad de analizadores de gases y partículas en las estaciones automáticas de la RAUTO.....	39
Tabla 2.3 Porcentaje de datos válidos capturados por las estaciones automáticas (%), 2006 – 2011.....	39
Tabla 2.4 Porcentaje de datos validos capturados por las estaciones automáticas (%), 2006 – 2011.....	39
Tabla 2.5 Venta anual de vehículos en Pichincha.....	46
Tabla 2.6 Valores horarios máximos de radiación solar global del año 2011.....	52
Tabla 2.7 Límites máximos de emisiones para fuentes móviles con motor de gasolina (prueba dinámica)* a partir del año 2000 (ciclos americanos).....	55
Tabla 2.8 Límites máximos de emisiones para fuentes móviles con motor de gasolina (prueba dinámica) * a partir del año 2000 (ciclos europeos)	55
Tabla 2.9 Límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor de gasolina. Marcha mínima o ralentí (prueba estática).....	56
Tabla 2.10 Perfil de las pruebas. Gráfica de los procedimientos de prueba PAS5024 y PAS2540	57
Tabla 2.11 Normas EURO a las emisiones.....	58
Tabla 2.12 Puesta en servicio de la norma EURO:	59

Tabla 2.13 Normas europeas sobre emisiones para vehículos industriales ligeros \leq a 1305 kg (Categoría N1 - I), en g/km.....	60
Tabla 2.14 Normas europeas sobre emisiones para vehículos industriales ligeros 1305 kg-1760 kg (categoría N1 - II), en g/km.	60
Tabla 2.15 Normas europeas sobre emisiones para vehículos industriales ligeros 1760-3500 kg (Categoría N1 - III), en g/km.	61
Tabla 2.16 Normas sobre emisiones para vehículos N2 y N3.....	61
Tabla 3.1 Equipos de protección personal	70
Tabla 4.1 Requisitos de la gasolina de 87 octanos.	81
Tabla 4.2 Valores de PVR para mezclas de etanol con gasolina extra y súper	85
Tabla 4.3 Propiedades físicas del etanol.....	87
Tabla 4.4 Propiedades del etanol y otros combustibles.	88
Tabla 4.5 Balance del Ciclo de vida del etanol	89
Tabla 4.6 Equivalente molecular para combustible 84.21% de C y 15.79% de H.....	95
Tabla 4.7 Balance de número de átomos de la ecuación de combustión.	96
Tabla 4.8 Equivalente molecular para combustible 84% de C y 16% de H.....	98
Tabla 5.1 Propiedades de la mezcla.	116
Tabla 5.2 Promedio de emisiones contaminantes de la prueba en ruta.....	119
Tabla 5.3 Consumo y rendimiento de combustible.....	122
Tabla 5.4 Factores de emisión de las diferentes composiciones.	123
Tabla 5.5 Factores de emisión del CO ₂	124
Tabla 5.6 Promedio de mediciones de gases en prueba estática.	126
Tabla 5.7 Potencia normal para cada composición de combustible.....	128
Tabla 5.8 Potencia normal para cada composición de combustible.....	129
Tabla 5.9 Variación de la potencia y momento normal, en porcentaje, respecto a la línea base	132
Tabla 5.10 Resultados del ciclo ASM 5015.....	132
Tabla 5.11 Resultados del ciclo ASM 2525.....	132
Tabla 5.12 Costos mensuales de combustible para las diferentes mezclas.	137

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A1 NORMAS DE GESTIÓN AMBIENTAL ACTUALES.....	145
ANEXO A1.1 NTE INEN 2204:2002 GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE. VEHÍCULOS AUTOMOTORES. LÍMITES PERMITIDOS DE EMISIONES PRODUCIDAS POR FUENTES MÓVILES TERRESTRES DE GASOLINA.....	146
ANEXO A1.2 NTE INEN 2203:99 GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE. VEHÍCULOS AUTOMOTORES. DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE EMISIONES DE ESCAPE EN CONDICIONES DE MARCHA MÍNIMA O “RALENTÍ” PRUEBA ESTÁTICA.....	157
ANEXO 1.3 NTE INEN 935: 2012 8R GASOLINA REQUISITOS	163
ANEXO A1.4 NORMA OFICIAL MEXICANA DE EMERGENCIA NOM-EM- 132-ECOL-1998.	172
ANEXO A1.5 RTE INEN 017:2008 CONTROL DE EMISIONES CONTAMINANTES DE FUENTES MÓVILES TERRESTRES.....	200
ANEXO A2 EJEMPLO DE FORMATOS DE RECOLECCIÓN	218
ANEXO A2.1 HOJA DE INSPECCIÓN VEHICULAR.	219
ANEXO A2.2 HOJA DE DATOS DE PRUEBA DINÁMICA (RUTA)	222
ANEXO A2.3 HOJA DE DATOS DE PRUEBA ESTÁTICA.....	224
ANEXO A3 EQUIPOS UTILIZADOS	225
ANEXO A3.1 VEHÍCULO DE PRUEBAS	226
ANEXO A3.2 DINAMÓMETRO DE CHASIS.....	227
ANEXO A3.3 JUEGO DE RODILLOS DE LA SERIE R102	229
ANEXO A3.4 ASM BF EURO LOSA RADIANTE (PRUEBA DINÁMICA).....	230
ANEXO A3.5 PUPITRE DE COMUNICACIONES.....	232
ANEXO 3.6 CAJA DE INTERFACES.....	233
ANEXO A3.7 VENTILADOR REFRIGERANTE.....	234
ANEXO A3.8 PANTALLAS DIGITALES	235

ANEXO A3.9 MEDIDORES DE FLUJO	236
ANEXO A3.10 ANALIZADOR DE GASES	237
ANEXO A3.11 ANALIZADOR DE GASES NEXTECH	239
ANEXO A3.12 SCANNER DE DIAGNÓSTICO	240
ANEXO A3.13 SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS).....	241
ANEXO A3.14 ELEVADOR DE CUATRO COLUMNAS.....	243
ANEXO A3.15 INVERSOR DE CORRIENTE.....	244
ANEXO A3.16 ELEMENTOS SUPLEMENTARIOS	245
ANEXO A4 PROPIEDADES DE LOS COMBUSTIBLES PARA LA MEZCLA	246
ANEXO A4.1 CARACTERISTICAS DE LA GASOLINA (EXTRA)	247
ANEXO A4.2 CARACTERISTICAS DEL ALCOHOL ANHÍDRO	248
ANEXO A5 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS	251
ANEXO A5.1 EMISIONES CONTAMINANTES.....	251
ANEXO A5.2 TORQUE Y POTENCIA	271
ANEXO A5.3 PRUEBA ESTÁTICA	288
ANEXO A6 PROCEDIMIENTOS.....	290
ANEXO A6.1 PROCEDIMIENTO PRUEBA DINÁMICA (RUTA).....	291
ANEXO A6.2 PROCEDIMIENTO PRUEBA DE TORQUE Y POTENCIA.....	293
ANEXO A6.3 PROCEDIMIENTO PRUEBA ESTÁTICA (RALENTI).....	297
ANEXO A6.4 PROCEDIMIENTO PRUEBA DINÁMICA (CICLO ASM).....	300

RESUMEN 1

El interés en la preservación por el medio ambiente ha motivado la investigación de nuevas opciones en la obtención de energías limpias. El presente proyecto tiene por objetivo analizar el comportamiento del motor de gasolina al utilizar alcohol anhidro como combustible de aporte, en un vehículo Chevrolet Aveo, de inyección electrónica y motor 1600 cc, para lo cual se realizaron pruebas estáticas, dinámicas de banco y de ruta.

Se establece el procedimiento de pruebas y los equipos a utilizar durante la ejecución del proyecto, para gasolina extra convencional, como referencia, y para composiciones con 5, 10 15 y 20 por ciento de alcohol anhidro como combustible de aporte. Al realizar las pruebas para evaluar el desempeño mecánico del motor y las emisiones de gases contaminantes, se obtuvo que la potencia y el torque no presentan variaciones, existen reducciones en las concentraciones de CO, HC y CO₂, y aumento de las concentraciones de NO_x. Con la utilización de combustible aditivado con alcohol anhidro el vehículo de pruebas cumple con los límites establecidos por las normas INEN 2204:2002 e INEN 2203:99 para emisiones de gases.

El proyecto contiene información sobre: Fundamentos básicos de los motores a gasolina, características de la contaminación en el Distrito Metropolitano de Quito, tecnologías alternativas relacionadas con la reducción del impacto de los combustibles fósiles, principalmente utilizando alcohol, desarrollo de métodos de obtención en factores de emisión en gases contaminantes utilizando gasolina y aditivando alcohol anhidro, el tratamiento y análisis de los datos obtenidos para poder llegar a obtener las conclusiones y recomendaciones correspondientes. Se adjunta como información de respaldo, datos obtenidos y calculados, normas aplicadas, además procedimientos y descripción de los equipos.

PRESENTACIÓN 1 2

Los combustibles fósiles convencionales utilizados comúnmente generan emisiones contaminantes perjudiciales tanto para el medio ambiente como para la salud de las personas. El hecho de que estos recursos no renovables sean cada vez más escasos, de menor calidad y de más costosa obtención, y con el aumento del número de vehículos que funciona con estos combustibles trae consecuencias negativas, tanto para el ecosistema como para la economía de los países.

En busca de una nueva alternativa para resolver los problemas generados por la utilización de combustibles fósiles se evalúan nuevas opciones de obtención de energía como el etanol, metanol, hidrógeno, biocombustibles, que pueden utilizarse como aditivos para los combustibles derivados del petróleo, o como reemplazo de éstos últimos, con la finalidad de reducir los niveles de los gases contaminantes emitidos en la combustión.

Con el presente estudio se podrá conocer qué ventajas presenta la aditivación de alcohol anhidro en la gasolina convencional con respecto a las emisiones de gases producto de la combustión y al desempeño mecánico del motor, evaluando estos factores en cada una de las composiciones utilizadas.

CAPÍTULO 1

FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA

El presente capítulo trata los principales aspectos teóricos, en lo que respecta al funcionamiento, conceptos básicos, características o prestaciones del motor de ciclo Otto, así como también un análisis de la gasolina como combustible para estos motores.

1.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Un motor de combustión interna basa su funcionamiento en el quemado de una mezcla comprimida de aire combustible dentro de una cámara cerrada o cilindro, con el objeto de incrementar la presión y generar el movimiento lineal alternativo del pistón con la potencia suficiente. Por medio de la biela se transmite el movimiento del pistón al eje principal del motor, donde se convierte en movimiento rotativo, el cual se transmite a los mecanismos de transmisión de potencia, y finalmente a los neumáticos, con la potencia necesaria para obtener la velocidad deseada y la carga que se requiera transportar. Al estar el pistón dentro del cilindro, las paredes restringen el movimiento lateral, por lo cual el movimiento queda limitado al lineal alternativo entre el punto muerto inferior y el punto muerto superior.

1.1.1 MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA

Un motor de combustión interna es un tipo de máquina que obtiene energía mecánica directamente de la energía química de un combustible que arde dentro de una cámara de combustión. Su nombre se debe a que dicha combustión se produce dentro de la máquina en sí misma, a diferencia de, por ejemplo, la máquina de vapor.¹

¹ ua.es/dspace/bitstream/10045/.../1/motorcombustioninterna.pdf

El motor de combustión interna se clasifica dependiendo del ciclo de funcionamiento en:

- Motor de ciclo Otto
- Motor de ciclo Diesel

A su vez, dependiendo del combustible utilizado, el motor Otto puede clasificarse en motores a:

- Gasolina
- GLP (Gas licuado de petróleo)
- GNC (Gas natural comprimido)
- Etanol

El **motor de combustión interna** consta básicamente de un mecanismo de cilindro-pistón, cuyos elementos se ilustran a continuación en la figura 1.1. El cilindro aloja un **pistón** el cual se ajusta a las paredes del mismo mediante unos **anillos** que impiden que los gases se introduzcan en la parte inferior del motor y ayuden a la lubricación del motor.

El pistón se encuentra unido a una **biela**, la misma que transmite la fuerza de la explosión al codo de un **cigüeñal**. El cigüeñal al girar describe una trayectoria circular mientras que el pistón es obligado a realizar una trayectoria rectilínea ascendente o descendente. Con este mecanismo el movimiento lineal alternativo del pistón se convierte en un movimiento de rotación mediante el eje del cigüeñal.

Por su parte superior el cilindro se cierra mediante la **culata o cabezote**, dentro de la cual se ubican las **válvulas**. Las válvulas, que son accionadas por un **eje de levas**, permiten la entrada o salida de los gases en el cilindro. El eje de levas recibe el movimiento del cigüeñal a través de una **cadena o banda dentada** y gira con la mitad del número de revoluciones que el cigüeñal.

El encargado de alojar el mecanismo cilindro – pistón es un cuerpo robusto denominado **bloque** que por su parte inferior se sella mediante el **cárter**, donde se aloja el aceite, cuya principal función es la lubricación, y contiene conductos de refrigeración.

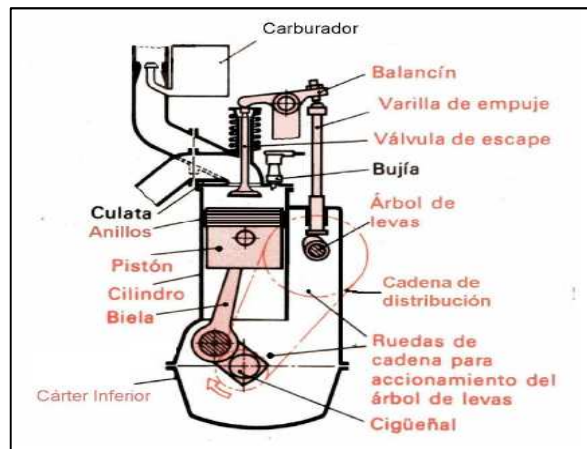


Figura 1.1 Esquema básico del Motor de Combustión Interna ²

1.1.2 MOTOR OTTO

En este tipo de motor se requiere preparar la mezcla aire combustible convenientemente dosificada, esta dosificación se realiza en sistemas de carburación, en vehículos anteriores ó en sistemas de inyección con control electrónico en vehículos modernos.

1.1.2.1 Ciclo termodinámico Otto de un motor de cuatro tiempos

1.1.2.1.1 Ciclo termodinámico ideal

El análisis termodinámico de los ciclos reales de cuatro tiempos no es una tarea simple. Sin embargo el análisis puede simplificarse de manera significativa si se utilizan las suposiciones de aire estándar, ya que el ciclo que resulta y que es parecido a las condiciones de operación reales es el ciclo de Otto ideal, el cual se compone de cuatro procesos reversibles internamente, representados en la figura 1.2

1-2 Compresión isentrópica

2-3 Adición de calor a volumen constante

3-4 Expansión isentrópica

4-1 Rechazo de calor

² STUTTGART, Gerschler, Tecnología del automóvil, TOMO 2, 1980.

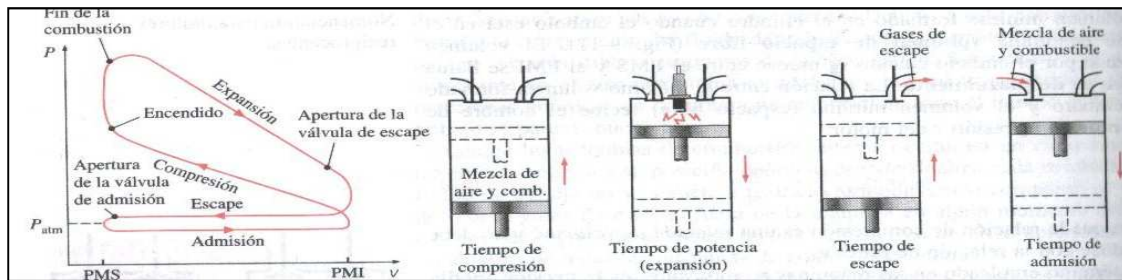


Figura 1.2 Ciclo Otto ideal³

La ejecución del ciclo de Otto en un dispositivo émbolo cilindro junto a un diagrama P-v se ilustra en la figura 1.2. No hay trabajo involucrado durante los dos procesos de transferencia de calor porque ambos toman lugar a volumen constante.³

$$W = \int P dv_{v=0} \quad (1.1)$$

$$W = 0$$

1.1.2.1.3 Ciclo termodinámico real

Ciclo real es el que refleja las condiciones efectivas de funcionamiento de un motor, y cuando se representa en un diagrama P-v se denomina diagrama indicado. El ciclo termodinámico real se representa en la figura 1.3.

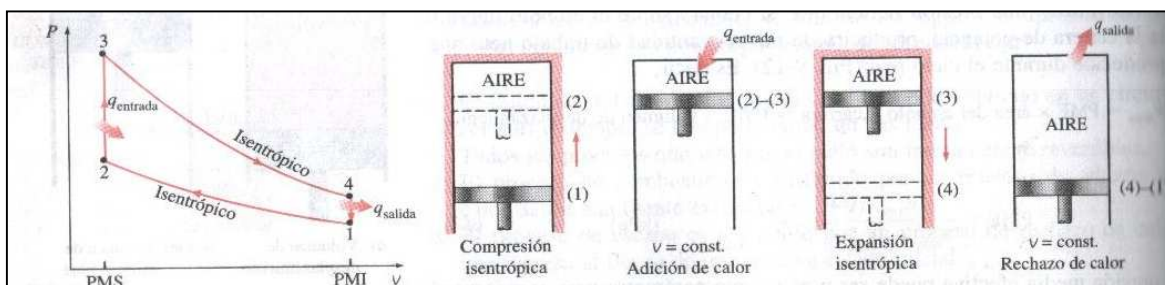


Figura 1.3 Ciclo Otto real³

1.1.2.1.4 Diferencias entre ciclo termodinámico Otto ideal y real⁴

Entre el ciclo indicado y el ciclo teórico correspondiente existen diferencias sustanciales tanto en la forma del diagrama como en los valores de temperaturas y presiones.

³ CENGEL Yunus, Termodinámica, Ciclos de potencia de gas, 6ta edición, México 2006.

⁴ http://www.demotor.net/ciclos_reales/diferencia_entre_los_ciclos_otto_real_y_teorico.html

La diferencia de forma consiste en un perfil distinto en las curvas de expansión y compresión, en la sustitución de los trazos rectilíneos de introducción y sustracción del calor por trazos curvos y el redondeamiento de los ángulos agudos, tal como se evidencia en la figura 1.4 Las causas de tales diferencias se fundan en las siguientes razones:

- *Pérdidas de calor.* En el ciclo teórico son nulas, pero bastante sensibles, por el contrario, en el ciclo real, como el cilindro está refrigerado para asegurar el buen funcionamiento del pistón y estar a una temperatura idónea, una cierta parte de calor del fluido se transmite a las paredes. Las líneas de compresión y expansión no son adiabáticas, sino politrópicas.
- *Combustión no instantánea.* En el ciclo teórico, se supone que la combustión se realiza a volumen constante; es, por tanto, instantánea; en el ciclo real, por el contrario, la combustión dura un cierto tiempo. Si el encendido tuviese lugar justamente en el P.M.S., la combustión ocurriría mientras el pistón se aleja de dicho punto, y el valor de la presión sería inferior al previsto, con la correspondiente pérdida de trabajo útil. Por ello es necesario anticipar el encendido de forma que la combustión pueda tener lugar, en su mayor parte, cuando el pistón se encuentra en la proximidad del P.M.S. Esto produce un redondeamiento de la línea teórica 2-3 de introducción del calor y, por tanto, una pérdida de trabajo útil representada por el área B. Pero esta pérdida resulta de cuantía bastante menor de la que se tendría sin adelantar el encendido.
- *Tiempo de apertura de la válvula de escape.* En el ciclo teórico también se ha supuesto que la sustracción de calor ocurriría instantáneamente en el P.M.I. En el ciclo real la sustracción de calor tiene lugar en un tiempo en que una parte de los gases salen del cilindro antes de que el pistón alcance el P.M.I. de manera que su presión descienda cerca del valor de la presión exterior al comienzo de la carrera de expulsión. Este hecho provoca una pérdida de trabajo útil representada por el área C, pérdida que es, sin embargo, menor que la que se tendría sin el adelanto de la apertura de la válvula de escape.

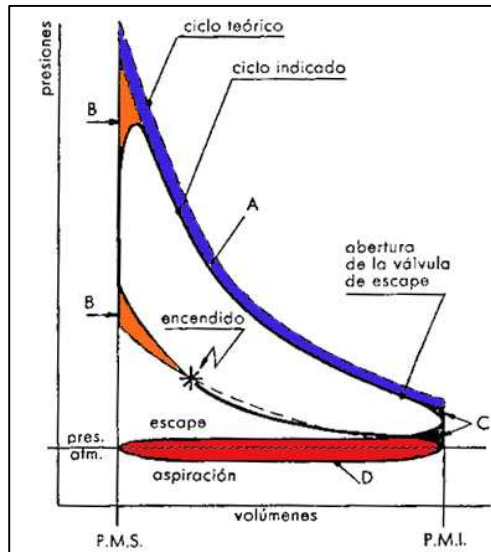


Figura 1.4 Diferencias entre ciclo Otto real e ideal⁴

1.1.2.2 Ciclo mecánico Otto de un motor de cuatro tiempos

La mayoría de motores de combustión interna funcionan bajo un ciclo de operación de cuatro tiempos, bajo los ciclos Otto o Diesel.

El ciclo consiste en dos carreras ascendentes y dos descendentes del pistón. Cada carrera coincide con una fase del ciclo de trabajo y recibe su nombre de la acción que realiza en el instante. El esquema del ciclo mecánico se representa en la figura 1.5.

⁴ http://www.demotor.net/ciclos_reales/diferencia_entre_los_ciclos_otto_real_y_teorico.html

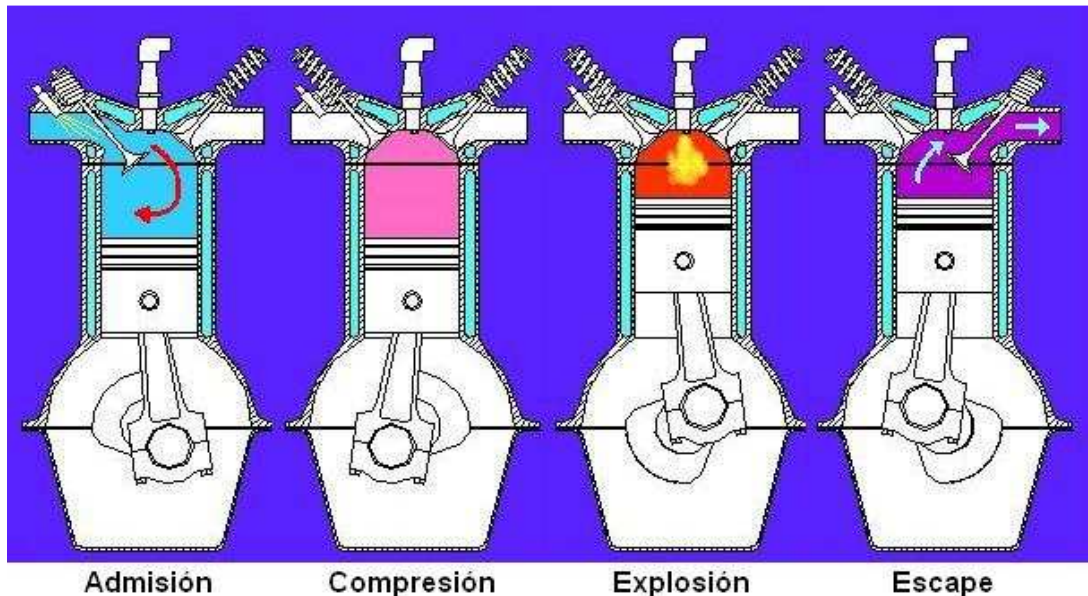


Figura 1.5 Ciclo de funcionamiento de un motor de cuatro tiempos.⁵

1.1.2.2.1 Carrera de admisión

En esta fase el pistón aspira la mezcla de aire combustible, la válvula de admisión permanece abierta y la de escape cerrada. El cigüeñal gira 180° y el árbol de levas 90°.

1.1.2.2.2 Carrera de compresión

Al finalizar la carrera de admisión se cierra la válvula de admisión y la mezcla se comprime por el ascenso del pistón. El cigüeñal alcanza un giro de 360° y el árbol de levas un giro de 180°.

1.1.2.2.3 Carrera de explosión o expansión

La mezcla alcanza la presión máxima al llegar el pistón nuevamente a la parte superior del cilindro, y la chispa de la bujía produce la explosión de la mezcla, lo que se diferencia de los motores Diesel donde el combustible se inyecta pulverizado y se autoinflama por la presión y temperaturas existentes en el cilindro. La combustión incrementa la temperatura y presión dentro del cilindro y empuja a los gases expandiendo el pistón.

⁵ <http://www.eng.warwick.ac.uk>

1.1.2.2.5 Carrera de escape

El pistón empuja los gases de escape en su movimiento ascendente y los obliga a salir por la válvula de escape. Al llegar a su nivel máximo superior, se cierra la válvula de escape y se abre la de admisión, con lo cual se reinicia el ciclo de funcionamiento.

1.1.3 CONCEPTOS BÁSICOS

1.1.3.1 Carrera

El pistón se desplaza desde una posición máxima superior, **punto muerto superior** (PMS), hasta una posición mínima inferior, **punto muerto inferior** (PMI), (véase figura 1.6). La distancia recorrida entre estos puntos se denomina **carrera**. En una vuelta completa del cigüeñal, el pistón realiza una carrera ascendente y descendente.

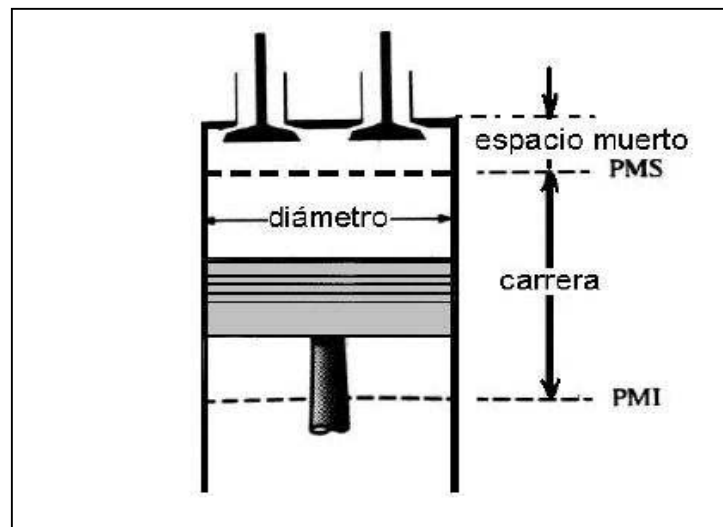


Figura 1.6 Nomenclatura para los motores⁶

1.1.3.2 Cilindrada

Es el volumen comprendido entre el punto muerto superior y el punto muerto inferior, es decir, el volumen de la parte del cilindro que comprende la carrera del pistón, de todos los cilindros del motor.

⁶ Çengel Y, Termodinámica, Tomo 2, 2001

Por ejemplo: un motor de 6 cilindros (3000 cc) (cilindrada total) indica que cada cilindro tiene una capacidad (cilindrada unitaria) de (500 cc).

$$V_T = N^\circ \text{ cilindros} \times \frac{\pi D^2}{4} \times H \quad (1.2)$$

Dónde:

H : carrera del pistón (cm)

V_T : cilindrada total del motor (cm³)

D : diámetro cilindro(cm)

1.1.3.3 Área de la sección transversal A

Es el área del pistón que recibe la fuerza durante la explosión y se le puede calcular con la siguiente expresión:

$$A = \frac{\pi}{4} * (\text{diámetro})^2 \quad (\text{cm}^2) \quad (1.3)$$

1.1.3.4 Espacio muerto

Es el espacio formado por la cabeza del pistón, la culata y el cilindro, cuando el pistón se encuentra en el PMS, este espacio se conoce también como *cámara de combustión*.

1.1.3.5 Volumen total

Es a la suma del volumen barrido y el volumen de espacio muerto

1.1.3.6 Relación de compresión:

Es la relación entre el volumen total y el espacio muerto.

En un motor volumétrico alternativo, la relación entre las presiones final e inicial en la fase de compresión es función de diferentes variables y, en primer lugar, de la relación geométrica de compresión. Ésta se define como la relación entre los volúmenes máximo (pistón en el PMI) y mínimo (pistón en el PMS) del cilindro. Dado que el rendimiento del ciclo termodinámico aumenta al incrementarse la diferencia de presión entre las dos transformaciones adiabáticas (compresión y

expansión), es indispensable que la presión máxima del ciclo sea lo más elevada posible, compatible con las características estructurales del motor y de combustión del carburante.

Desde el punto de vista estructural y práctico, los valores de compresión óptimos en un motor dependen de las siguientes características:

- Ciclo de funcionamiento, esto es, si es de encendido por chispa (ciclo de Otto) o de encendido por compresión (ciclo de Diesel);
- Características del combustible, especialmente la velocidad de combustión y las características de resistencia a la detonación (número de octano);
- Tipo y forma de la cámara de combustión que determinan la exigencia de octanaje del motor;
- Velocidad de rotación del motor;
- Velocidad del pistón.

La relación de compresión en los motores con ciclo de Otto, con valores de 3:1 y 4:1 a principios de siglo, con el paso de los años ha experimentado un continuo incremento hasta alcanzar valores de 8:1 y 9:1 para los motores de serie y de 12:1 y superiores para las versiones especialmente rápidas.

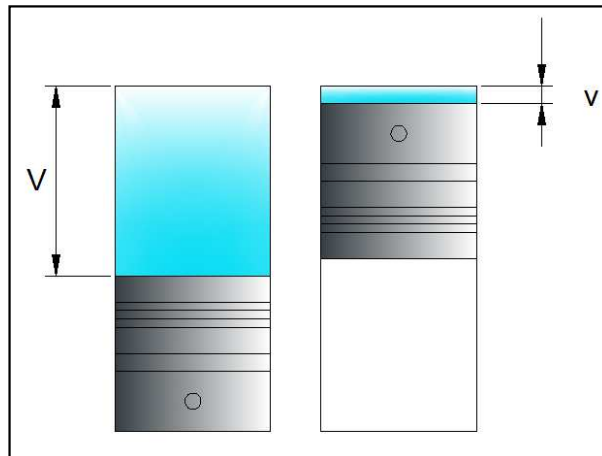


Figura 1.7 Relación de compresión⁷

⁷ <http://www.todomotores.cl/>

$$r = \frac{V+v}{v} \quad (1.4)$$

Dónde:

r : relación de compresión

v : volumen cámara de compresión (cm³)

V : cilindrada unitaria (cm³)

1.2 EFICIENCIA ENERGETICA DEL MOTOR

Un motor de pistones, alimentado con gasolina, no es capaz de alcanzar 100% de eficiencia térmica. Es decir, no puede aprovechar todo el calor generado por la combustión para transformarlo en fuerza motriz. Los motores de combustión interna a gasolina son derrochadores, su eficiencia térmica es bastante pobre. Alrededor de 30% de la energía calórica que disponen, la transforman en movimiento y la otra parte la disipan (pérdida), hacia la atmósfera. Su popularidad se basa en la agilidad de aceleración que presentan, a diferencia de otros tipos como el diesel, que arrojan mejor eficiencia térmica pero son más lentos⁷.

$$n_{ter Otto} = 1 - \frac{1}{r^{k-1}} \quad (1.5)$$

Donde:

r : relación de compresión

k : relación de calores específicos C_p/C_v

De la energía liberada en el proceso de combustión, un 40 % es eliminado en los gases de escape, un 30 % se convierte en calor que será disipado por los sistemas de enfriamiento, un 5% es perdido en la fricción entre componentes en contacto y solo un porcentaje de 25% se utiliza de manera efectiva para generar el movimiento del vehículo. Esta distribución energética está representada en la figura 1.8.

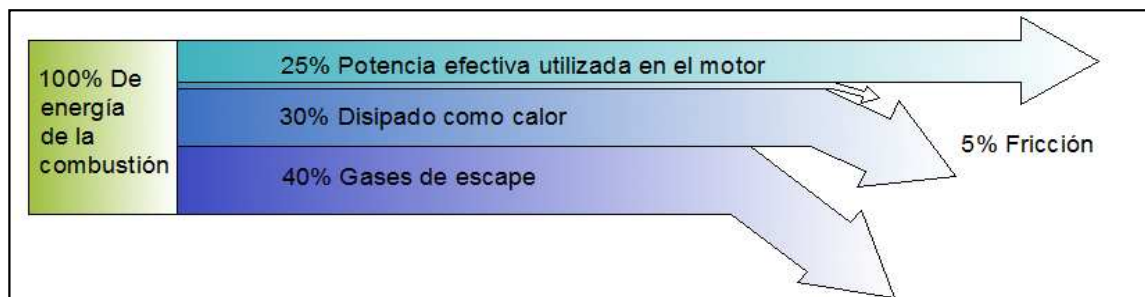


Figura 1.8 Diagrama Sankey de la eficiencia energética en un motor de combustión interna⁸

1.3 SISTEMAS DEL MOTOR OTTO

En un motor Otto los principales sistemas son:

1.3.1 SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE

Permite el transporte del combustible desde el depósito hasta el motor. El sistema de alimentación de la figura 1.9 muestra sus principales componentes.

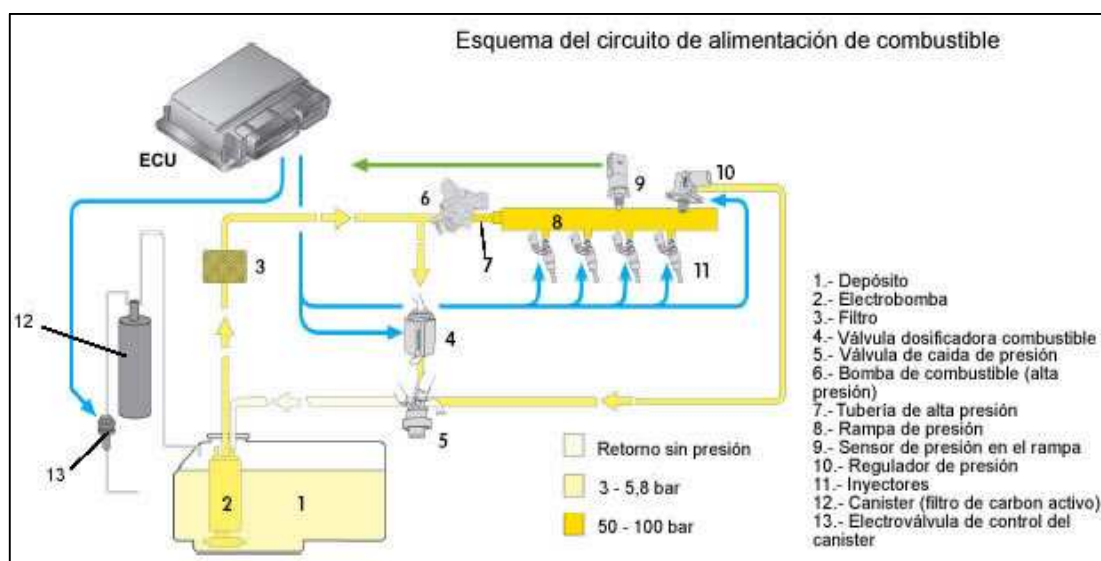


Figura 1.9 Sistema de alimentación⁹

⁸ [//www.sankey-diagrams.com/tag/car/](http://www.sankey-diagrams.com/tag/car/)

⁹ <http://www.electriauto.com/mecanica/sistema-de-lubricacion/componentes-del-sistema-de-lubricacion/>

- Depósito de combustible
- Bomba de combustible
- Dispositivo dosificador de combustible (carburador o inyector)
- Conducto de alta presión (admisión)
- Conducto de baja presión (retorno)

En la actualidad todos los vehículos funcionan con sistemas de inyección electrónica, que ha remplazado al carburador en los motores a gasolina.

1.3.1.1 Clasificación de los sistemas de inyección.

Inyección directa: El inyector introduce el combustible directamente en la cámara de combustión, como se observa en la figura 1.10. Este sistema de alimentación es el más novedoso, debido al proceso de combustión o dificultades de combustión.

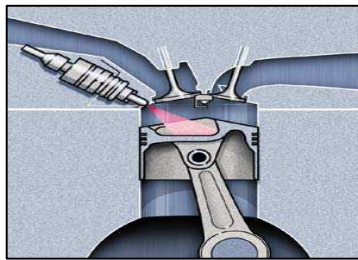


Figura 1.10 Inyección directa¹⁰

Inyección indirecta: El inyector introduce combustible en el colector de admisión, encima de la válvula de admisión, que no tiene que estar necesariamente abierta, como se observa en la figura 1.11. Es la más usada actualmente.

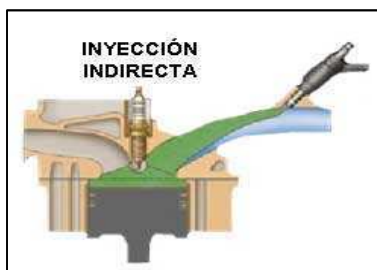


Figura 1.11 Inyección indirecta¹⁰

¹⁰ http://www.aficionadosalamecanica.com/inyeccion_directa1.htm

Inyección monopunto: Es uno de los primeros sistemas. Tiene solamente un inyector, que introduce el combustible en el colector de admisión, después de la mariposa de gases. Es la más usada en vehículos turismo de baja cilindrada que cumplen normas de antipolución. El esquema de la inyección monopunto se representa en la figura 1.12

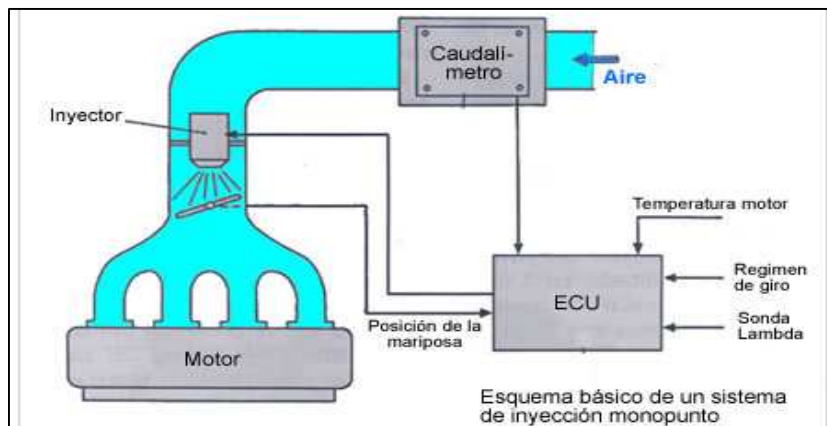


Figura 1.12 Inyección monopunto¹¹

Inyección multipunto: Hay un inyector por cilindro, pudiendo ser del tipo "inyección directa o indirecta". Es la que se usa en vehículos de media y alta cilindrada, con control o no de emisiones. La inyección multipunto se representa en la figura 1.13.

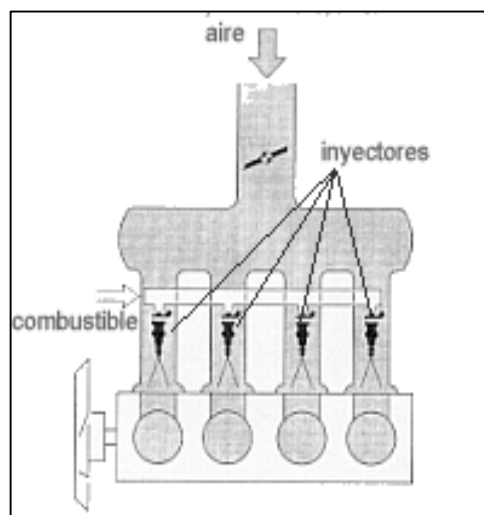


Figura 1.13 Inyección multipunto¹¹

¹¹ <http://www.irvinsystems.com/?p=3442>

Inyección continua: Los inyectores introducen el combustible de forma continua en los colectores de admisión, previamente dosificada y a presión, la cual puede ser constante o variable.

Inyección intermitente: Los inyectores introducen el combustible de forma intermitente, es decir; el inyector abre y cierra según recibe órdenes de la central de mando. La inyección intermitente se divide a su vez en tres tipos:

- **Secuencial:** El combustible es inyectado en el cilindro con la válvula de admisión abierta, es decir; los inyectores funcionan de uno en uno de forma sincronizada.
- **Semisecuencial:** El combustible es inyectado en los cilindros de forma que los inyectores abren y cierran de dos en dos.
- **Simultánea:** El combustible es inyectado en los cilindros por todos los inyectores a la vez, es decir; abren y cierran todos los inyectores al mismo tiempo.

1.3.2 SISTEMA DE SUMINISTRO DE AIRE

Por sistema de suministro se entiende el conjunto de dispositivos que permiten que ingrese el aire comburente a las cámaras de combustión del motor.¹² Se encarga de regular la cantidad de aire y eliminar el polvo y partículas en suspensión existentes en el mismo, eliminando los efectos abrasivos que éstos generan dentro del motor. Los principales elementos del sistema de suministro de aire se indican en la figura 1.14.

1.3.2.1 Sistema de admisión de aire de aspiración natural

- Depurador de aire
- Múltiple de admisión
- Empaquetadura del múltiple de admisión
- Conducto de aire

¹² <http://www.rotarypit.com/admision.htm>

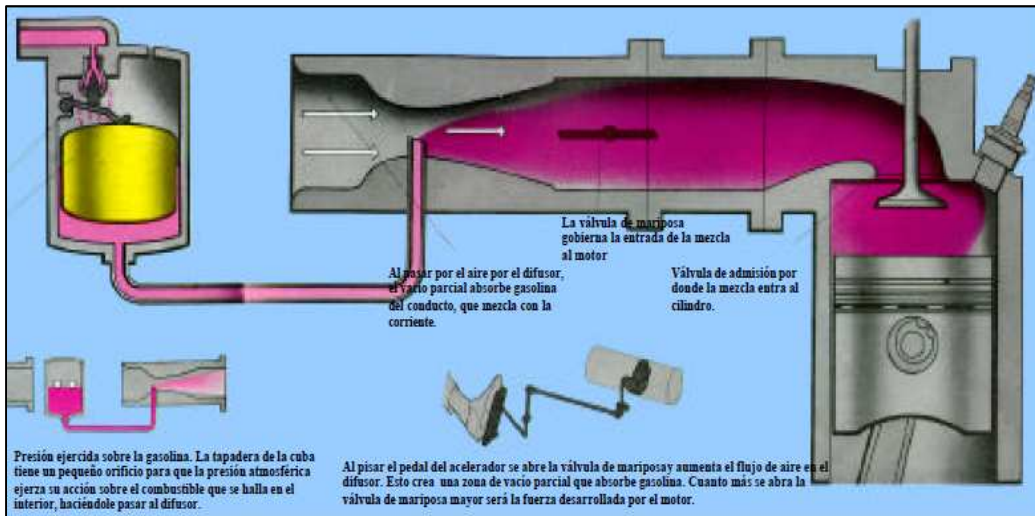


Figura 1.14 Sistema de aire¹³

1.3.2.2 Sistema de alimentación de aire sobrealimentado

Existen autos que utilizan sobrealimentación de aire, para contrarrestar los efectos de la altura y la pérdida de potencia, y se indica la figura 1.15.

- Filtro de aire
- Conducto de aire
- Compresor
- Múltiple de admisión

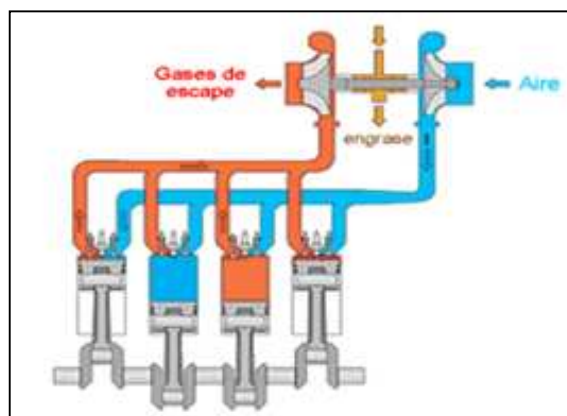


Figura 1.15 Sistema de aire sobrealimentado¹³

¹³ <http://www.electriauto.com/mecanica/sistema-de-lubricacion/componentes-del-sistema-de-lubricacion/>

1.3.3 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

El sistema de distribución es el conjunto de elementos que regulan la apertura y cierre de válvulas en el momento oportuno y a su vez la entrada de la mezcla, y la salida de los gases residuales de los cilindros. Sus elementos principales se representan en la figura 1.16.

- Engranajes de distribución, ruedas dentadas.
- Bandas o cadenas de distribución
- Eje de levas
- Taques
- Propulsores
- Balancines
- Válvulas

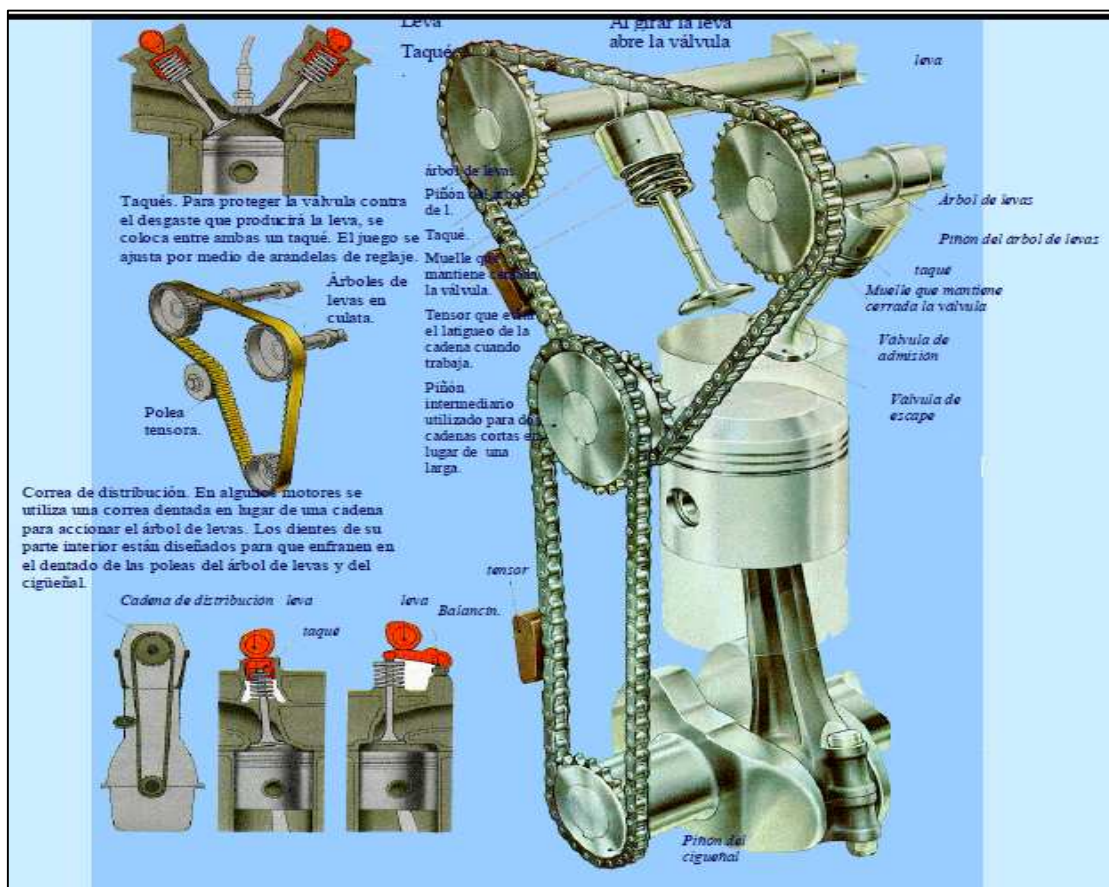


Figura 1.16 Sistema de distribución¹³

1.3.4 SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

El sistema de enfriamiento es el que se encarga de que los diferentes componentes del motor se mantengan en temperaturas seguras y así evitar que el motor sufra desgastes prematuros o daños importantes y lograr con ello su máximo rendimiento. Sus elementos principales se indican en la figura 1.17.

- Radiador
- Tapón de radiador
- Manguera
- Termostato
- Ventilador
- Bomba
- Poleas y bandas
- Conductos
- Líquido refrigerante

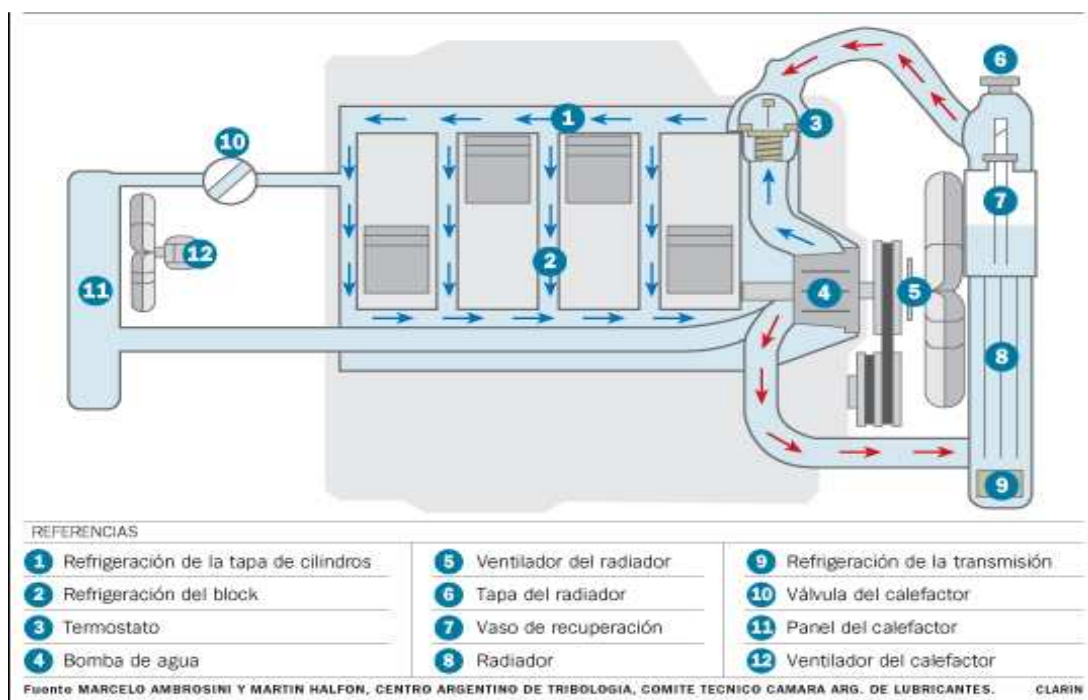


Figura 1.17 Sistema de enfriamiento¹⁴

¹⁴ <http://jufreoilservice.blogspot.com/2011/11/radiador-de-autos.html>

1.3.5 SISTEMA DE LUBRICACIÓN

El sistema de lubricación tiene como función evitar un desgaste rápido en los elementos mecánicos y minimizar la fricción entre elementos en movimiento como el cigüeñal y el pistón, y para ciertos elementos mecánicos sirve como refrigerante.

Proporciona al motor el lubricante necesario, a las presiones y flujos requeridos. Los elementos del sistema de lubricación se muestran en la figura 1.18.

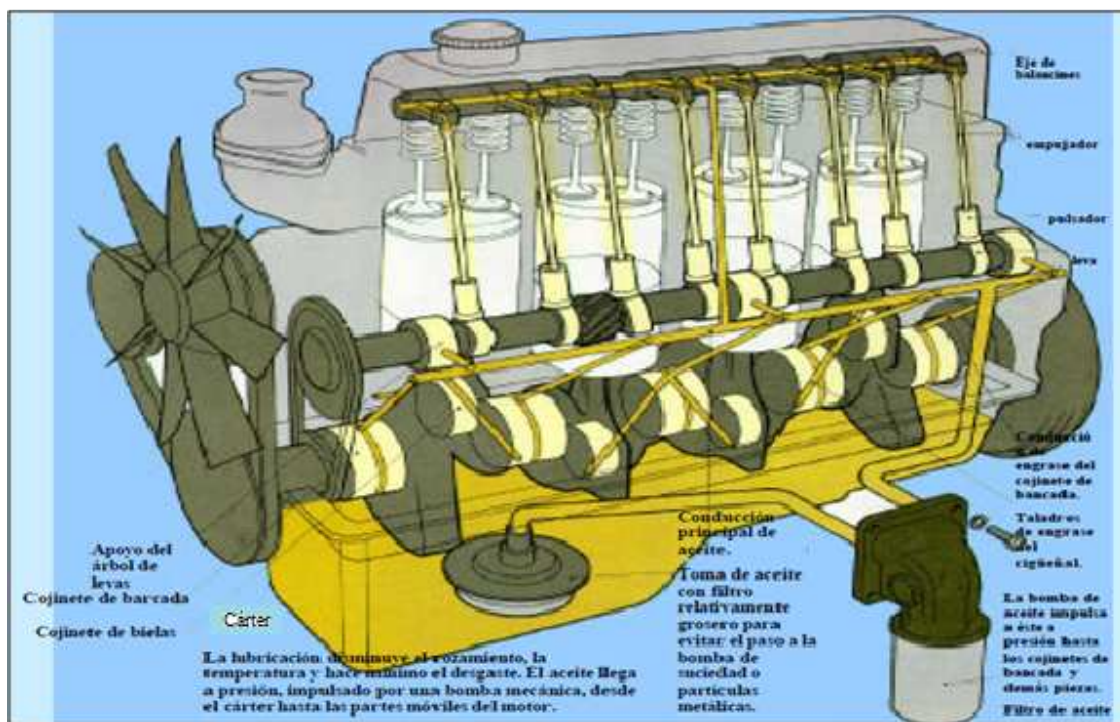


Figura 1.18 Sistema de lubricación¹⁵

- Cárter.
- Varilla indicadora de nivel.
- Bomba de aceite.
- Válvula de sobrepresión.
- Termocontacto e indicador al conductor (Opcional).
- Filtro de aceite.
- Puerto y switch de presión.

¹⁵ <http://motospapamija.blogspot.com/2010/07/sistema-de-lubricacion.html>

- Indicador de presión al conductor.
- Galerías de lubricación

1.3.6 SISTEMA DE ENCENDIDO

En un motor a gasolina proporciona la chispa para la inflamación de la mezcla aire-combustible. Los componentes principales se mencionan a continuación y se indican en la figura 1.19.

- Fuente de energía (batería, 12V)
- Circuito primario (baja tensión, 12V)
- Circuito secundario (alta tensión, 9kV - 40kV)
- Transformador (bobina)
- Distribuidor (cables de bujías, tapa del distribuidor)
- Bujías de encendido

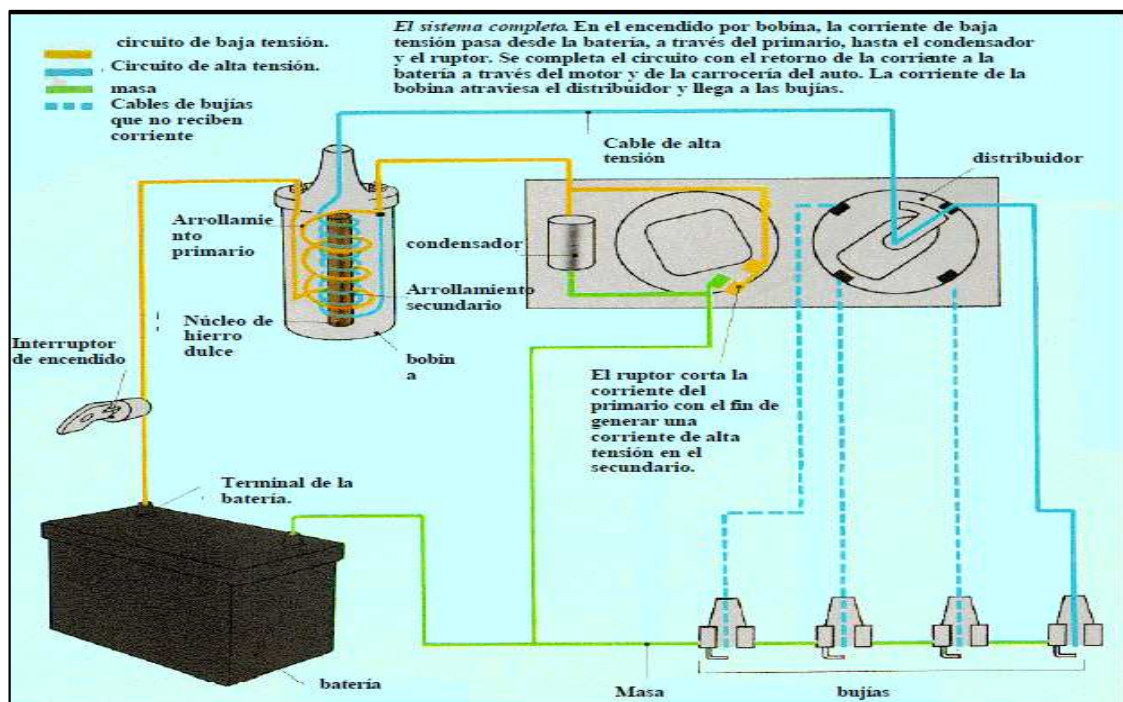


Figura 1.19 Sistema de encendido¹⁶

¹⁶ <http://mecanicageneral.webcindario.com/motor.htm>

1.4 DESEMPEÑO MECÁNICO DEL MOTOR OTTO

El desempeño mecánico del motor está influenciado por la carga transportada y por la pendiente por la que transita. Los parámetros que permiten calcular las prestaciones de los vehículos son:

- Torque
- Potencia
- Consumo de combustible
- Emisiones contaminantes

1.4.1 TORQUE

El torque es la fuerza que producen los cuerpos en rotación, el motor produce fuerza en un eje que se encuentra girando. Se llama Torque máximo a la mayor cantidad de fuerza de giro que puede hacer el motor. Esto sucede a cierto número de revoluciones.¹⁷

$$T = F \times R \quad (1.6)$$

Dónde:

T: es el torque (Nm)

F: es la fuerza del brazo del pistón (N)

R: es la longitud de la biela (m)

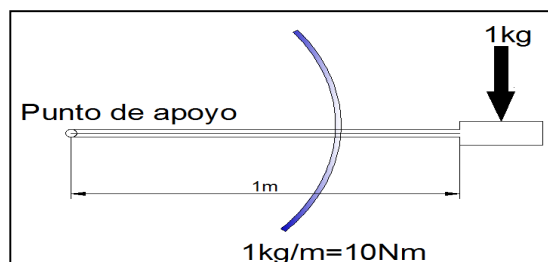


Figura 1.20 Torque¹⁷

¹⁷ GUEVARA M. Metodología de pruebas para la evaluación de convertidores catalíticos en motores a gasolina, Quito 2010

1.4.2 POTENCIA

La potencia indica la rapidez con que puede trabajar el motor. La potencia máxima es el mayor número obtenido de multiplicar el torque del motor por la velocidad de giro en que lo genera.

$$P = T \times \omega \quad (1.7)$$

Donde:

P: es la potencia (W)

T: es el torque (N.m)

ω : es la velocidad de giro del motor (rev / min)

Esta potencia no se aplica totalmente sobre el cigüeñal. Esto se debe a que existen factores como calor, rozamiento, ruido, entre otros, que restan valor a la potencia. Por lo tanto la potencia en el eje siempre será menor.

En el motor se distinguen tres clases de potencia: indicada, efectiva, absorbida.

Potencia indicada: Es la potencia que recibe el pistón durante el ciclo y se calcula con ayuda del diagrama indicado.

Potencia efectiva: El par motor multiplicado por la velocidad de rotación da como resultado la potencia efectiva, conocida también como **potencia al freno** debido al mecanismo que se utiliza para su medición.

Potencia absorbida: Esta corresponde a la diferencia entre la potencia indicada y la potencia al freno. Generalmente esta es utilizada para vencer el rozamiento entre las superficies (pistones, cojinetes, etc.) y para dar movimiento a otros elementos que el motor necesita como: la bomba de agua, el alternador, etc.

1.4.2.1 Efectos de la altitud sobre la potencia

La altitud a la que un motor funciona tiene un efecto dramático en la producción de energía. Dado que la presión atmosférica (1 atm a nivel del mar) disminuye a medida que la altitud aumenta, el aire se vuelve menos denso y más ligero. Por lo tanto, tiene el mismo efecto sobre la producción de caballos de fuerza que la temperatura del

aire. La tasa de disminución de potencia es de 3% por cada 304.8 m de incremento de la altitud. La variación de la potencia con la altitud se representa en la figura 1.21.

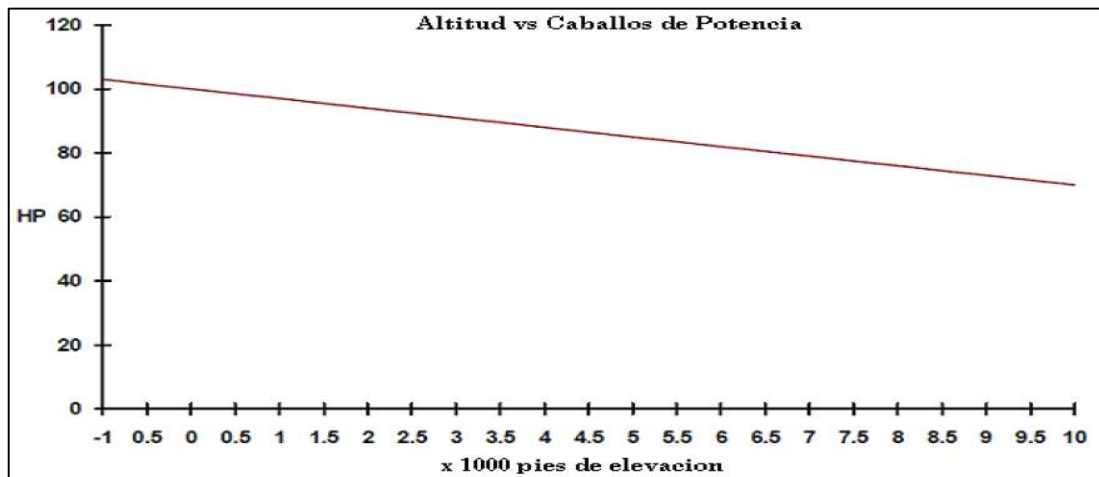


Figura 1.21 Efecto de la altitud en la potencia producida por el motor (presión atmosférica)¹⁸

1.4.3 CONSUMO DE COMBUSTIBLE

El consumo de combustible de un automóvil depende de múltiples factores, tales como, la carrocería, la manera de conducir y las condiciones ambientales; se expresa generalmente en centímetros cúbicos por cada 100 km, pero en ocasiones y cada vez con más frecuencia, se expresa en m/cm³. Los fabricantes indican un consumo normalizado.¹⁹

El *consumo de combustible* es la masa de combustible que se consume en determinado tiempo.

$$c.c = \rho_{Combustible} \times V / t \text{ (lbm/s)} \quad (1.8)$$

Dónde:

$\rho_{Combustible}$: densidad del combustible (gr/cm³)

V: volumen determinado (cm³)

t : tiempo que se demora en consumirse V (s)

¹⁸<http://www.bibliosepi.esimez.ipn.mx/mecanica/2012/Software%20para%20el%20calculo%20de%20la%20potencia%20torque.pdf>

¹⁹ <http://diccionario.motorgiga.com/>

El *consumo específico de combustible* determina cuanto combustible se está gastando frente a cuanta potencia se recibe.

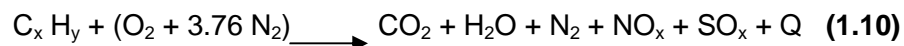
$$c.e.c = c.c / P_e \quad (\text{lbm/s/HP}) \quad (1.9)$$

1.4.4 EMISIONES CONTAMINANTES

El transporte, en general, es responsable de la mayor parte de las emisiones a la atmósfera. Los vehículos obtienen su capacidad de movimiento gracias a los motores de combustión interna.²⁰ Estos motores son los responsables en gran medida de las aportaciones de contaminantes gaseosos a la atmósfera causantes del aumento del efecto invernadero (CO₂), del incremento de la lluvia ácida (SO₂, NO_x), así como de la mayor incidencia de ciertas afecciones pulmonares en las ciudades.

1.4.4.1 Combustión en motores de explosión

El proceso de la combustión que se desarrolla en los motores de combustión interna es un proceso físico-químico completo, sin embargo la potencia del motor, el rendimiento económico (consumo) se ven afectados por la regularidad del desprendimiento del calor y el cambio de presión y temperatura dentro del cilindro afectado por dicho desprendimiento.



Combustible = Gasolina formada por Hidrocarburos (HC)

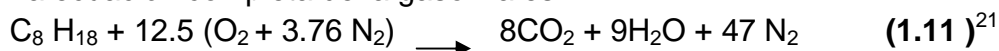
Comburente = Oxígeno (O₂)

El O₂ procede del aire atmosférico (en volumen 21% de O₂ y 79 % de N₂)

1.4.4.1.1 Combustión ideal con mezcla estequiométrica

Es aquella en que todos los elementos oxidables del combustible se oxidan (se combinan con el oxígeno) completamente, esto es el C se oxida hasta CO₂ y el H hasta H₂O.

La ecuación completa de la gasolina es:



Hidrocarburo: C₈ H₁₈ (gasolina)

Aire Atmosférico: O₂ + 3.76 N₂

²⁰http://www.unizar.es/actividades_fq/cont_amb_l_vehic_cot/actividad.pdf

²¹ Motores Combustión Interna. Teoría%2C funcionamiento pdf. Pág. 41

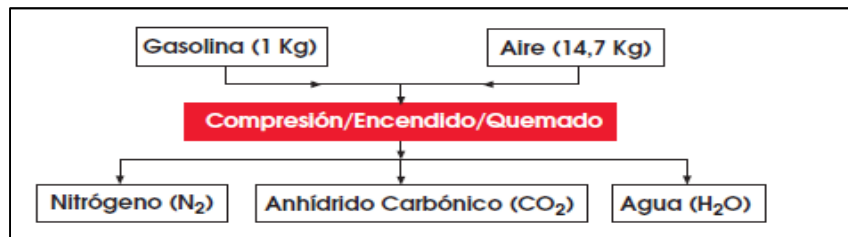
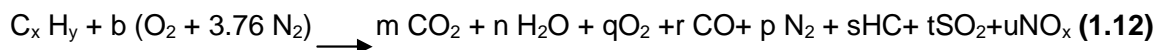


Diagrama 1.1 Combustión ideal de la gasolina

1.4.4.1.2 Combustión real

Es aquella cuando el O_2 no oxida totalmente a los elementos del hidrocarburo, luego en los productos pueden existir combustibles como CO o “combustible vivo”

Ej. : La siguiente es una ecuación de combustión incompleta de un Hidrocarburo genérico:



Hidrocarburo genérico: $C_x H_y$

Aire atmosférico: $b (O_2 + 3.76 N_2)$

Aparecen en los productos: $q O_2 + r CO +$ otros

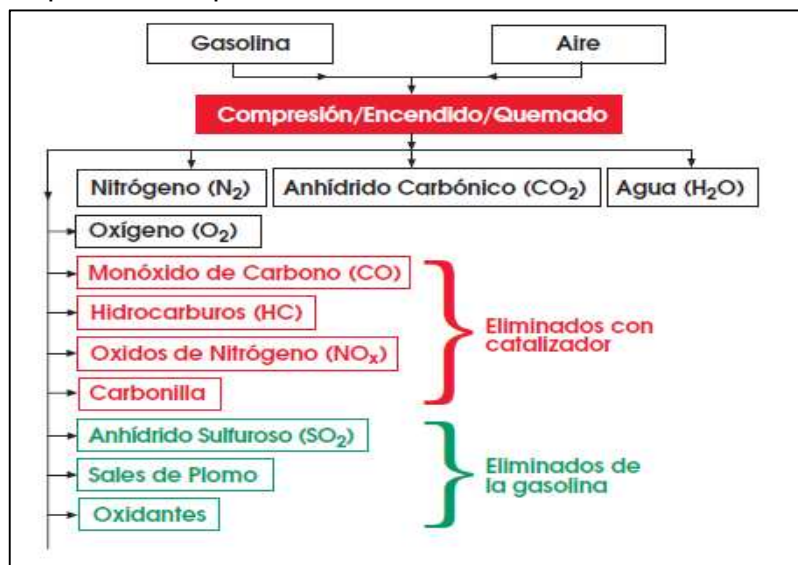


Diagrama 1.2 Combustión real de la gasolina

1.4.4.2 Tipos de gases producidos en la combustión

Los gases emitidos por un motor de combustión interna de gasolina son, principalmente, de dos tipos: inofensivos y contaminantes. Los primeros están formados, fundamentalmente, por nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono, vapor de agua e hidrógeno. Los segundos o contaminantes están formados,

fundamentalmente, por el monóxido de carbono, hidrocarburos, óxidos de nitrógeno y óxidos de azufre.

- **Inofensivos**

Nitrógeno es un gas inerte que se encuentra presente en el aire que respiramos en una concentración del 79%. Debido a las altas temperaturas existentes en el motor, el nitrógeno se oxida formando pequeñas cantidades de óxidos de nitrógeno, aunque sea un gas inerte a temperatura ambiente.

Oxígeno es uno de los elementos indispensables para la combustión y se encuentra presente en el aire en una concentración del 21%. Si su mezcla es demasiado rica o demasiado pobre, el oxígeno no podrá oxidar todos los enlaces de hidrocarburos y será expulsado con el resto de los gases de escape.

Vapor de agua se produce como consecuencia de la combustión, mediante la oxidación del hidrógeno, y se libera junto con los gases de escape.

Dióxido de Carbono producido por la combustión completa del carbono. Cuanto mayor es su concentración, mejor es la combustión. No resulta nocivo para los seres vivos y constituye una fuente de alimentación para las plantas verdes, gracias a la fotosíntesis. Sin embargo, un incremento desmesurado de la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera puede producir variaciones climáticas a gran escala (el llamado efecto invernadero).

- **Contaminantes**

Monóxido de Carbono, La falta de oxígeno en la combustión hace que ésta no se produzca completamente y se forme monóxido de carbono en lugar de dióxido de carbono. En un vehículo, la aparición de mayores concentraciones en el escape de CO indica la existencia de una mezcla inicial rica o falta de oxígeno. Al ser absorbido por los pulmones reduce la capacidad de la sangre para transportar el O₂ disponible a los tejidos. La exposición a altas concentraciones de CO durante largos períodos de tiempo puede provocar desde la afectación de la percepción y el pensamiento, la desaceleración de los reflejos y puede causar mareos, inconsciencia o la muerte. Por eso, concentraciones superiores de CO al 0,3 % en volumen resultan mortales.

Hidrocarburos, Su presencia se debe a los componentes incombustibles de la mezcla o a las reacciones intermedias del proceso de combustión, las cuales son también responsables de la producción de aldehídos y fenoles. La presencia simultánea de hidrocarburos, óxidos de nitrógeno, rayos ultravioleta y la estratificación atmosférica conduce a la formación del smog fotoquímico, de consecuencias muy graves para la salud de los seres vivos. La mayoría de los hidrocarburos no son directamente perjudiciales para la salud a las concentraciones que se encuentran en el ambiente. Pero debido a las reacciones químicas que se producen en la tropósfera, desempeñan una importante función en la formación de NO_2 y O_3 que sí son un peligro para la salud y el medio ambiente. Dependiendo de su estructura molecular, presentan diferentes efectos nocivos. El benceno, por ejemplo, es venenoso por sí mismo, y la exposición a este gas provoca irritaciones de piel, ojos y conductos respiratorios; si el nivel es muy alto, provocará mareos, dolores de cabeza y náuseas. El benceno es uno de los múltiples causantes de cáncer.

Óxidos de Nitrógeno, como resultado de la combustión de gasolina a altas temperaturas siempre se obtendrán óxidos de nitrógeno. Además de las consecuencias que tiene sobre las vías respiratorias (susceptibilidad a infecciones, disminución de la función pulmonar), una vez en la atmósfera puede participar en una serie de reacciones (en presencia de luz UV) que produce la niebla fotoquímica que reduce la visibilidad. No sólo irritan la mucosa sino que en combinación con los hidrocarburos contenidos en el smog y con la humedad del aire producen ácidos nitrosos, que posteriormente caen sobre la tierra en forma de lluvia ácida y contaminan grandes áreas, algunas veces situadas a cientos de kilómetros del lugar de origen de la contaminación.

Ozono O_3 El O_3 a nivel del suelo es uno de los principales componentes de la niebla en zonas urbanas y son los vehículos automotores la principal fuente de emisiones de cual procede este contaminante. Sobre la salud humana el O_3 puede provocar daños graves a los tejidos pulmonares y reducir las defensas contra bacterias y virus.

Por inhalación en cortos períodos de tiempo produce irritación de ojos, nariz y garganta, tos, sequedad de garganta y dolores de pecho.

Óxidos de azufre Es un gas irritante que se absorbe por la nariz y afecta la función pulmonar (provoca asfixia, bronquitis, irritación de los conductos respiratorios), con mayor riesgo de mortalidad y morbilidad. Además contribuyen a la formación de la lluvia ácida.

1.4.4.3 Variación de las emisiones con el uso del catalizador

El catalizador tiene como función acelerar las reacciones químicas internas para disminuir los elementos polucionantes contenidos en los gases de escape de un vehículo mediante la técnica de la catálisis. Se trata de un dispositivo instalado en el tubo de escape, cerca del motor, ya que ahí los gases mantienen una temperatura elevada. Esta energía calorífica pasa al catalizador y eleva su propia temperatura, circunstancia indispensable para que este dispositivo tenga un óptimo rendimiento, que se alcanza entre los 400 y 700 grados centígrados. En su interior contiene un soporte cerámico o monolito, de forma oval o cilíndrica, con una estructura de múltiples celdillas en forma de panal, con una densidad de éstas de aproximadamente 450 celdillas por cada pulgada cuadrada (unas 70 por centímetro cuadrado). Su superficie se encuentra impregnada con una resina que contiene elementos nobles metálicos, tales como Platino (Pt) y Paladio (Pd), que permiten la función de oxidación, y Rodio (Rh), que interviene en la reducción. Estos metales preciosos actúan como elementos activos catalizadores; es decir, inician y aceleran las reacciones químicas entre otras sustancias con las cuales entran en contacto, sin participar ellos mismos en estas reacciones. Los gases de escape contaminantes generados por el motor, al entrar en contacto con la superficie activa del catalizador son transformados parcialmente en elementos inocuos no polucionantes. El proceso químico del catalizador se muestra en la figura 1.22

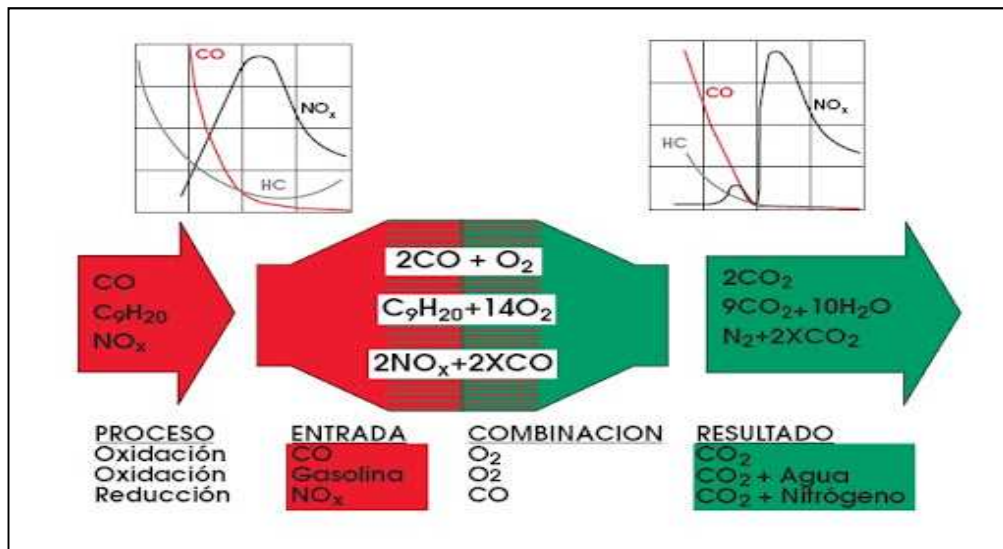


Figura 1.22 Proceso químico interno del catalizador²²

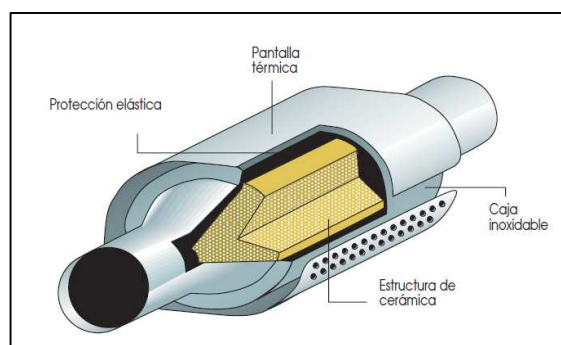


Figura 1.23 Esquema de un convertidor catalítico²²

1.4.5 CURVAS CARACTERÍSTICAS

Se entiende por curvas características de un motor a la Potencia (W), el Torque (N.m), y el Consumo específico de combustible expresada en función de las RPM del mismo. Un ejemplo de curvas características se representa en la figura 1.24.

Cabe acotar que estas curvas son a máxima potencia, o lo que es lo mismo a mariposa totalmente abierta. Para obtener las curvas de torque y potencia es necesario llegar hasta las revoluciones de corte determinadas en las especificaciones del vehículo y luego dejar marchar en inercia al vehículo.

²² http://mecanicageneral.webcindario.com/info_catalizador.pdf

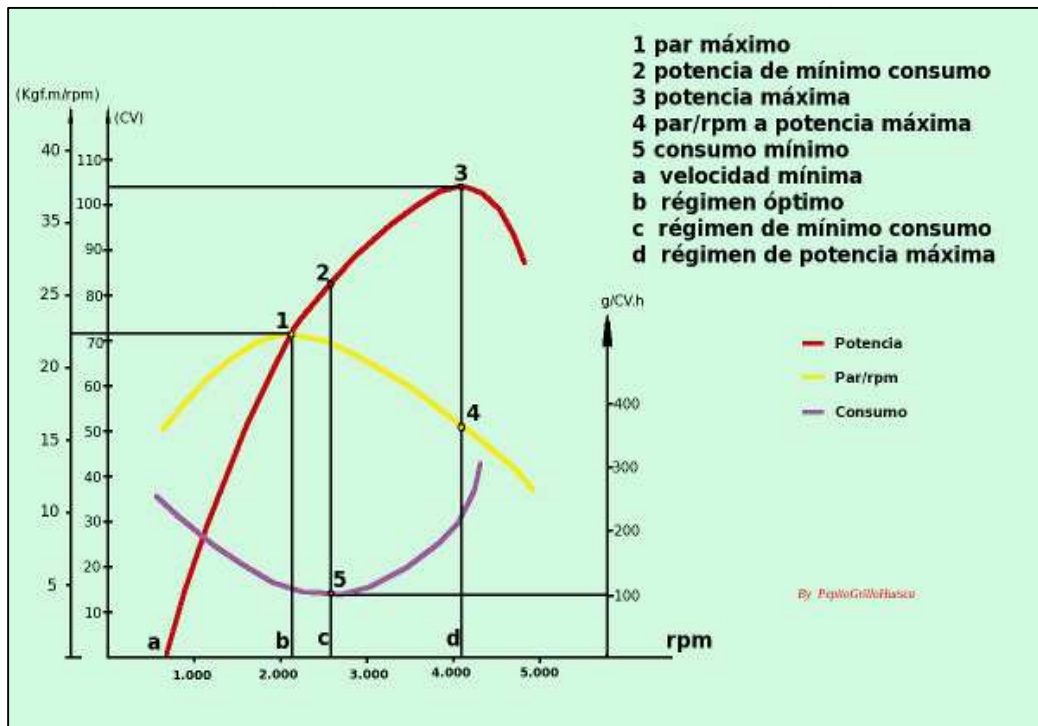


Figura 1.24 Curvas características de un motor Otto²³

1.4.6 FACTOR LAMBDA

El **factor lambda** comúnmente designado con la letra griega " λ " designa la proporción aire / combustible (en peso) en forma de mezcla que entra al cilindro de un motor de ciclo Otto, comparada con la proporción estequiométrica de la mezcla ideal, de 14,7 partes de aire en peso por 1 parte de combustible en peso (normalmente gasolina), como se muestra en la figura 1.25.

- $\lambda = 1$ Mezcla estequiométrica (14.7:1)
- $\lambda < 1$ Mezcla rica (exceso de combustible).
- $\lambda > 1$ Mezcla pobre (falta de combustible).

²³ <http://pepitogrillohuesca.blogspot.com/2011/03/sobre-la-corresponsabilidad.html>

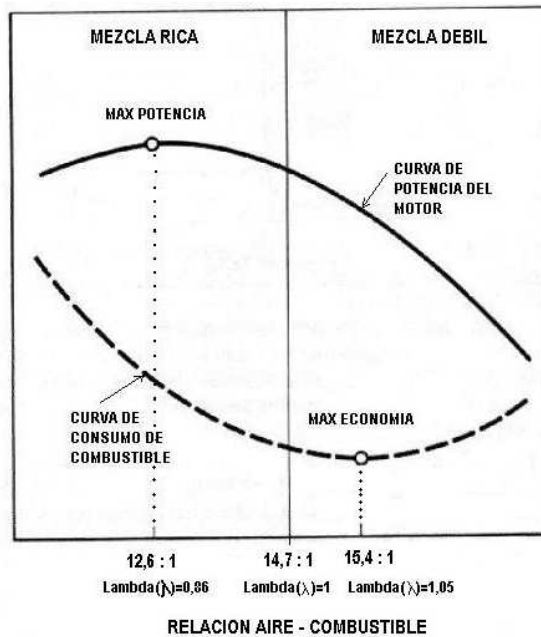


Figura 1.25 Factor lambda ²⁴

En la actualidad la mayoría de los vehículos controlan el factor lambda variando la relación de aire y combustible que ingresan en la cámara. El torque y la potencia varían en función de lambda como se muestran en la figura 1.26.

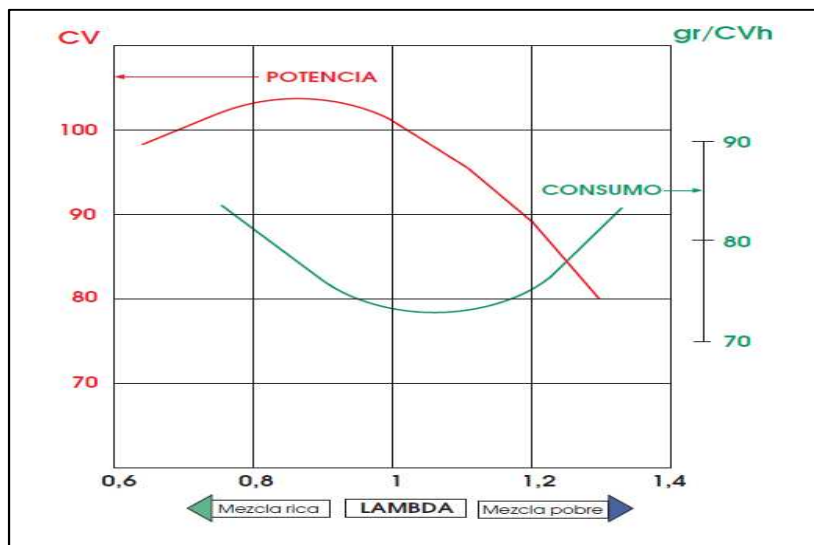


Figura 1.26 El torque y potencia en función de lambda ²⁴

²⁴ <http://automovilescolombia.com/foros/threads/prueba-de-gases-no-pasa.670/>

Las emisiones contaminantes en función de lambda se indican en la figura 1.27.

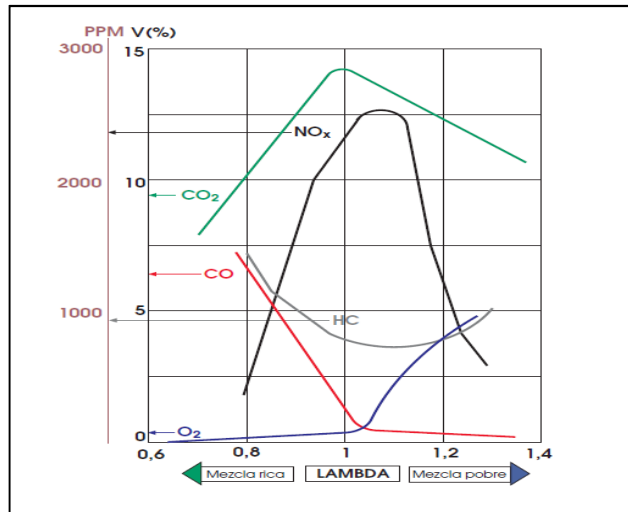


Figura 1.27 Emisiones contaminantes en función de lambda ²⁵

²⁵ http://mecanicageneral.webcindario.com/info_catalizador.pdf

CAPÍTULO 2

REALIDAD ACTUAL DE LA CONTAMINACIÓN POR MOTORES A GASOLINA EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO

En este capítulo se trata acerca de la calidad del aire de Quito y los factores de los que depende, los impactos que representan las emisiones contaminantes y las normativas destinadas a controlar que se cumplan los límites de emisiones establecidos.

2.1 MONITOREO DEL AIRE EN QUITO

El monitoreo del aire es una herramienta básica de la gestión ambiental y la información que produce debe ser utilizada para el diseño, implementación y evaluación de las políticas de control de las fuentes generadoras de emisiones y de las acciones orientadas al mejoramiento de la calidad del recurso, más aún en ciudades de altura como Quito, donde las condiciones climáticas, topográficas y de operación de los equipos de combustión, las vuelven más sensibles a experimentar episodios graves de contaminación atmosférica, que conllevan peligros potenciales para la salud de sus habitantes.

La REMMAQ (Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico) por medio de sus estaciones remotas ubicadas en el área urbana de la ciudad de Quito y los valles aledaños, está en capacidad de medir de manera continua la concentración en el aire ambiente de cinco de los denominados contaminantes comunes: material particulado fino ($PM_{2.5}$), óxidos de nitrógeno expresados como dióxido de nitrógeno (NO_2), dióxido de azufre (SO_2), monóxido de carbono (CO) y oxidantes fotoquímicos expresados como ozono (O_3).²⁶

²⁶ <http://remmaq.corpaire.org/paginas/articulos/iqca.pdf>

2.1.1 ÍNDICE QUITEÑO DE CALIDAD DEL AIRE (IQCA)²⁷

El IQCA ha sido diseñado por el MDMQ para proporcionar información confiable, oportuna y fácilmente entendible sobre los niveles diarios de contaminación del aire. Su simplicidad radica en el hecho de que se *traducen* los términos técnicos de la ingeniería ambiental a expresiones de uso más generalizado, convirtiendo las concentraciones medidas de los contaminantes del aire, expresadas en microgramos por metro cúbico (u otras unidades equivalentes como partes por millón, por ejemplo) y en rangos específicos para cada caso, a una escala numérica y de colores común para todos esos contaminantes, con rangos establecidos en función de los efectos que sobre la salud humana tienen los diferentes niveles de contaminación.

La oportunidad y utilidad del IQCA se manifiesta en que para cada rango se describen de manera ilustrativa las principales medidas de precaución que deberían ser adoptadas por la población para minimizar la magnitud de esos efectos nocivos, así como las medidas de control que deberían tomarse de manera urgente para reducir los niveles de contaminación bajo los niveles de precaución.

Debe señalarse que el IQCA es un instrumento local y específico de difusión pública de la información de calidad del aire, que busca facilitar la comprensión de la misma, por lo que no debe entenderse como una sustitución de la norma nacional o de los parámetros y unidades técnicas de medición internacionalmente aceptados.

Tabla 2.1 Límites numéricos del IQCA ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)²⁷

Rango	Categoría	CO ^a	O ₃ ^b	NO ₂ ^c	SO ₂ ^d	PM _{2.5} ^e
0-50	Nivel deseable u optimo	0-5000	0-80	0-100	0-175	0-33
51-100	Nivel aceptable u bueno	5001-10000	81-160	101-200	176-350	34-65
101-200	Nivel de precaución	10001-15000	161-300	201-1200	351-800	66-150
201-300	Nivel de alerta	15001-30000	301-600	1201-2300	801-1600	151-350
301-400	Nivel de alarma	30001-40000	601-800	2301-3000	1601-2100	251-350
401-500	Nivel de emergencia	>40000	>800	>3000	>2100	>350

²⁷ CORPAIRE, Índice Quiteño de Calidad del Aire

Notas:

- a. Se refiere a la concentración promedio en 8 horas
- b. Se refiere a la concentración promedio en 1 hora.
- c. Se refiere a la concentración promedio en 1 hora.
- d. Se refiere a la concentración promedio en 24 horas.
- e. Se refiere a la concentración promedio en 24 horas.

Cabe señalar que índices similares al IQCA han sido adoptados en otras ciudades desde hace varios años y han demostrado su efectividad en el cumplimiento de los objetivos arriba señalados; por ello, para el caso de Quito se ha tomado como referencia el *Air Quality Index* o *AQI* vigente en los Estados Unidos desde 1976.

La tabla 2.2 indica la disponibilidad de analizadores de gases en las estaciones en las Redes Automáticas de Monitoreo (RAUTO), y en la figura 2.1 se muestra la localización de estas redes.

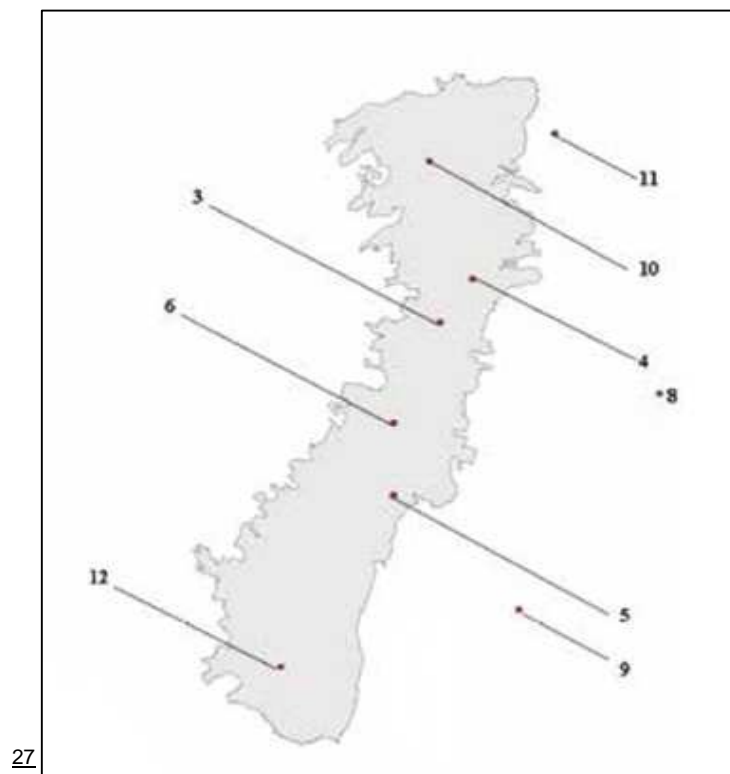


Figura 2.1 Localización de las redes automáticas de monitoreo²⁷

²⁷ CORPAIRE, Índice Quiteño de Calidad del Aire

Tabla 2.2 Disponibilidad de analizadores de gases y partículas en las estaciones automáticas de la RAUTO²⁸

Estación	Nomenclatura	Contaminante					
		CO	NO ₂	O ₃	SO ₂	PM _{2.5}	PM ₁₀
Carapungo	Car	X	X	X	X	X	X
Cotacollao	Cot	X	X	X	X	X	
Belisario	Bel	X	X	X	X	X	
Centro	Cen	X	X	X	X	X	
El Camal	Cam	X	X	X	X	X	
Guamaní	Gua	X	X	X			X
Los Chillos	Chi			X			
Tumbaco	Tum			X	X		X

Tabla 2.3 Porcentaje de datos válidos capturados por las estaciones automáticas (%), 2006 – 2011²⁸

Localización de las estaciones de la red automática (RAUTO)			
Belisario (Bel, Adm. Norte)	3	Los Chillos (Chi, Adm. Los Chillos)	9
Jipijapa (Jip, est. Respaldo)	4	Cotacollao (Cot, Adm. La Delicia)	10
El Camal (Cam, Adm. Sur)	5	Carapungo (Car, Adm. Calderón)	11
Centro (Cen, Adm. Centro)	6	Guamaní (Gua, Adm. Quitumbe)	12
Tumbaco (Tum, Adm. Tumbaco)	8		

Tabla 2.4 Porcentaje de datos válidos capturados por las estaciones automáticas (%), 2006 – 2011²⁸

Contaminante	2006	2007	2008	2009	2010	2011
SO ₂	97.23	98.23	95.83	95.14	97.72	97.38
CO	97.38	98.06	96.22	96.71	96.72	97.32
O ₃	97.50	98.06	96.22	97.38	97.71	97.14
NO ₂	96.62	97.32	96.69	97.22	95.74	98.20
PM _{2.5}	96.95	97.96	97.00	96.93	96.91	95.29

2.1.2 ESTADO DE LA CONTAMINACIÓN EN EL DMQ POR FUENTES MÓVILES²⁸

La contaminación del aire es uno de los problemas más importantes a ser controlados para tener un buen índice de salud para las personas que se ven afectadas por este fenómeno, como son las enfermedades cardiorespiratorias. Una de las mayores y más importantes fuentes de contaminación son los vehículos dentro de la ciudad de Quito que en su mayoría son a diesel y gasolina, que son productos derivados del petróleo.

²⁸ SECRETARIA DEL AMBIENTE, Borrador del Informe Anual 2011 Calidad del Aire, Quito 2011.

2.1.2.1 Contaminación de la ciudad de Quito

Tomando como base el inventario de emisiones del DMQ 2009, en la figura 2.2 se puede apreciar la diferencia entre las emisiones debidas a fuentes fijas y fuentes móviles en el DMQ en función de distintos contaminantes como el CO, SO₂, NO_x y material particulado PM. Lo más evidente de la información presentada en la figura 2.2 es que, del total de emisiones en el DMQ, las emisiones de CO son debidas esencialmente a fuentes móviles mientras que para el caso de SO₂, las fuentes fijas son las principales responsables de este tipo de emisiones. El aporte de fuentes fijas y móviles para emisiones de NO_x y material particulado PM es relativamente similar.

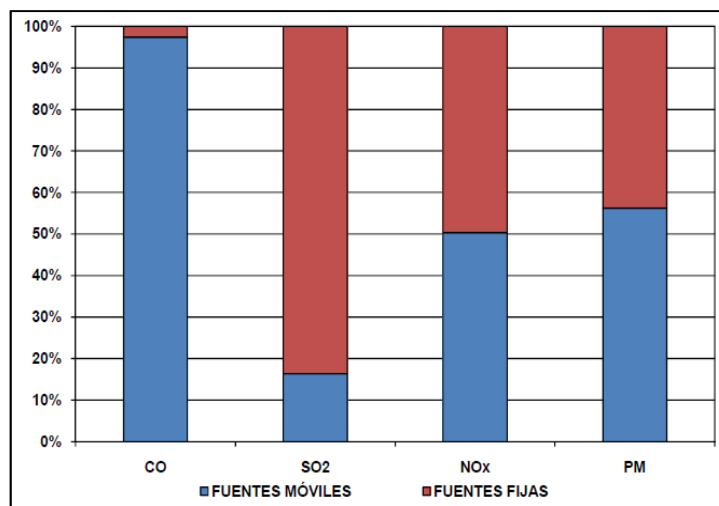
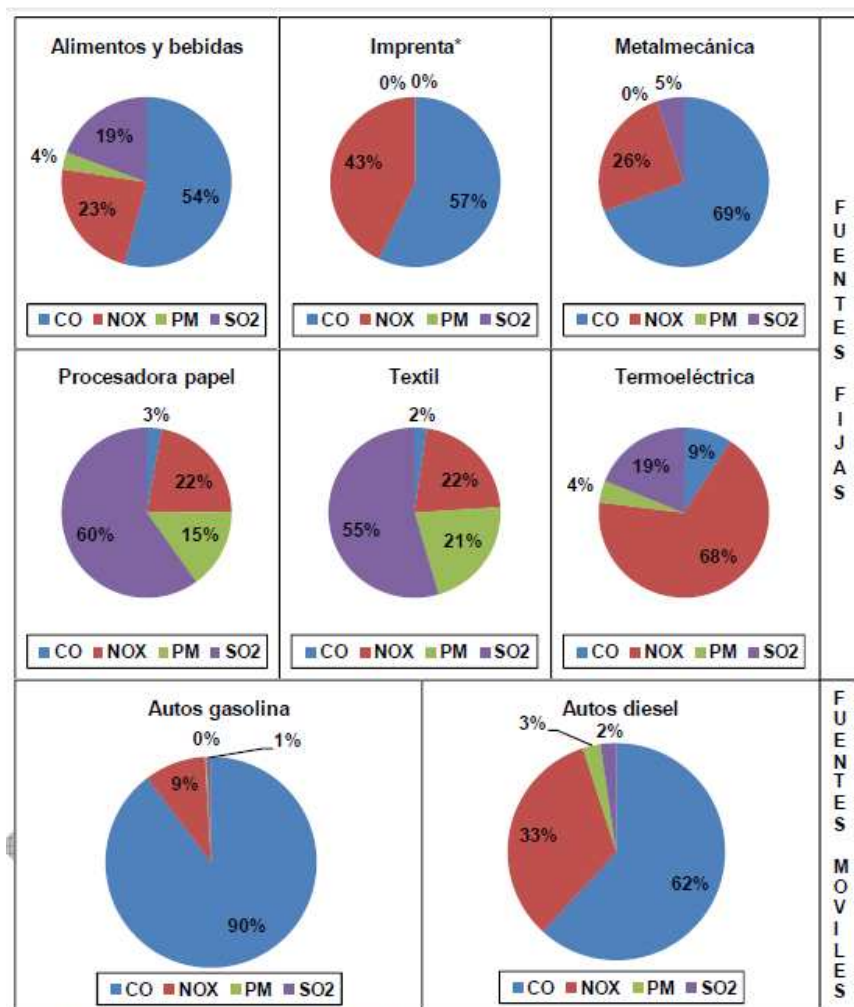


Figura 2.2 Porcentaje acumulado de emisiones de fuentes fijas y fuentes móviles en el DMQ en función de contaminantes CO, SO₂, NO_x y PM²⁹

En la figura 2.3 se presenta la composición de las emisiones de las principales fuentes de combustión monitoreadas durante el 2011. La información de las fuentes fijas corresponde al procesamiento de datos de campo recolectados durante los controles públicos efectuados por el Laboratorio de la Secretaría de Ambiente a las industrias en el DMQ. Para fuentes móviles se realiza el cálculo utilizando factores de emisión según tipo de vehículo y la base de datos de la Revisión Técnica Vehicular para su clasificación.

²⁹ SECRETARIA DEL AMBIENTE, Informe Anual 2011 Calidad del Aire, Quito 2012.



* Las imprentas controladas en el 2011 utilizaron GLP como combustible
 ** Calculado utilizando factores de emisión y datos de RTV

Figura 2.3 Porcentaje acumulado de emisiones de las principales fuentes de contaminación para 2011²⁹

En la figura 2.4, se presenta el resultado del cálculo de porcentaje de emisión de los principales contaminantes, según el combustible utilizado. Como se esperaba, el combustible generador de las mayores emisiones de monóxido de carbono es la gasolina, fuente de más del 50% del total de estas emisiones, sin embargo en cuanto a material particulado y dióxido de azufre, la aportación de estos contaminantes por la combustión de la gasolina es baja.

²⁹ SECRETARIA DEL AMBIENTE, Informe Anual 2011 Calidad del Aire, Quito 2012.

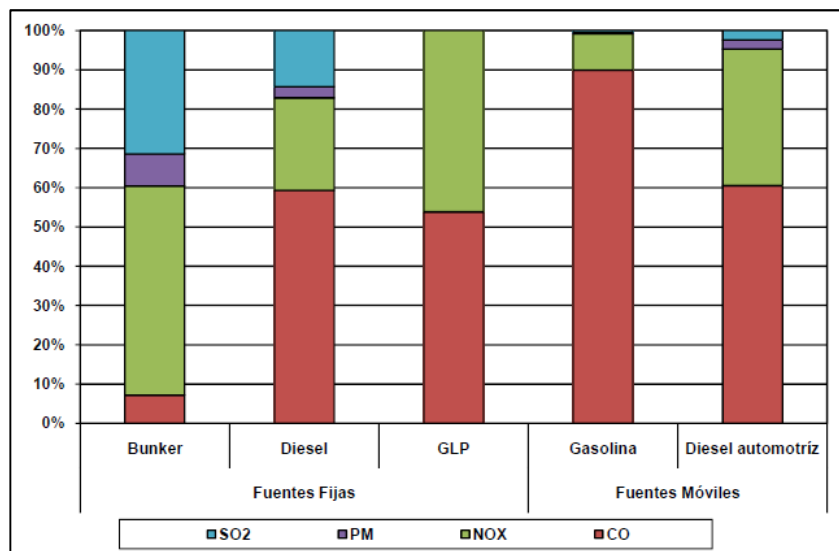


Figura 2.4 Porcentaje acumulado de emisiones por tipo de combustible utilizado en el DMQ durante el 2011²⁹.

Según se observa en la figura 2.5, en lo que respecta a fuentes móviles, la información entregada por la Revisión Técnica Vehicular muestra que los niveles de hidrocarburos emitidos al aire han ido disminuyendo paulatinamente hasta el 2008; del 2008 al 2011 no existen diferencias significativas.

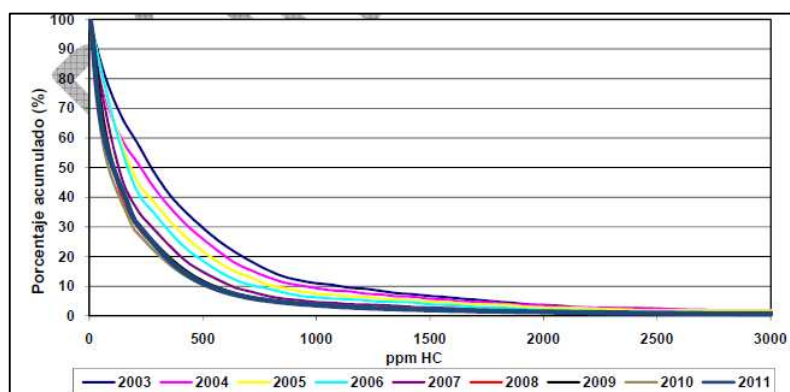


Figura 2.5 Porcentaje acumulado de emisiones de hidrocarburos no combustionados a 2500 RPM de aceleración, en autos del DMQ, RTV 2003 – 2011²⁹

En la figura 2.6 se puede evidenciar un incremento en las emisiones de CO, el ligero incremento de emisiones de monóxido de carbono que se registra en la revisión

²⁹ SECRETARIA DEL AMBIENTE, Informe Anual 2011 Calidad del Aire, Quito 2012.

vehicular durante el 2011 se podría deber a que los catalizadores de los automóviles, especialmente de aquellos con más de 150 mil km de recorrido, tienen menor eficiencia.

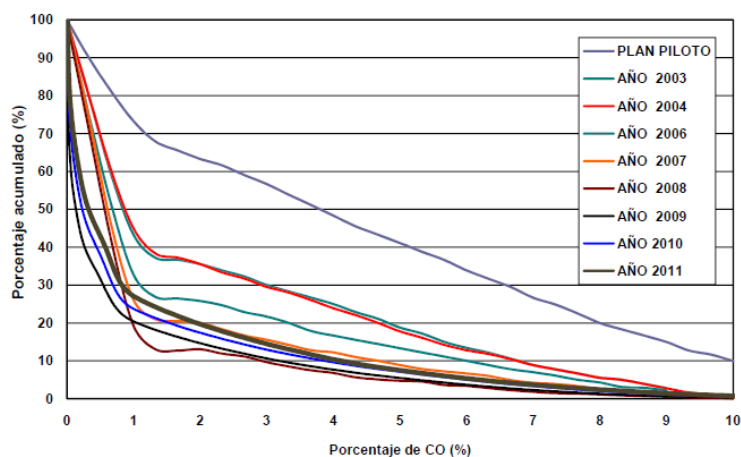


Figura 2.6 Porcentaje acumulado de emisiones de monóxido de carbono a 2500 RPM de aceleración, en autos del DMQ, RTV 2003 – 2011²⁹

2.2 IMPACTO DE LAS EMISIONES

El problema de la contaminación atmosférica en las ciudades se debe fundamentalmente a las emisiones vehiculares, y la población se ve afectada en la calidad de vida, a causa de las emisiones de gases y partículas, de parte de las unidades automotrices, principalmente en vías de alto tráfico vehicular y durante las horas de entradas y salidas de trabajos, colegios y universidades, donde la población además de sufrir demoras por el incremento vehicular, se ve afectada en su calidad de vida. La contaminación proveniente de los motores de combustión interna es una de las que más contribuye perjudicialmente en la calidad del aire. Siendo de particular importancia en aquellas ciudades con alta concentración de vehículos en áreas pequeñas. La concentración de contaminantes se incrementa debido a las reacciones fotoquímicas, ya que en presencia de la luz solar se produce la interacción de los productos de gases de escape con el oxígeno. Los cielos despejados conducen a la formación de capas de inversión desde la tarde a las primeras horas de la mañana. Es por esto que durante esas horas la contaminación

²⁹ SECRETARIA DEL AMBIENTE, Informe Anual 2011 Calidad del Aire, Quito 2012.

tiene lugar en la capa superficial de la atmósfera, alcanzando concentraciones críticas, contribuyendo a problemas globales de contaminación del aire, como smog, lluvia ácida, agotamiento de la capa de ozono y calentamiento global, ya que tienen el potencial de cambiar la atmósfera superior. El transporte es el responsable de un tercio de las emisiones de gases de efecto invernadero por la utilización de combustibles fósiles como gasolina o diesel, el principal gas emitido es el dióxido de carbono. La figura 2.7 muestra los gases contaminantes principales emitidos en el proceso de combustión de la mezcla aire combustible, en un proceso real.



Figura 2.7 Emisiones contaminantes producto de la combustión de gasolina.

Cada contaminante causa efectos sobre la salud de las personas, y genera diversos impactos en el ambiente. Es posible realizar una clasificación de los contaminantes, con el criterio de si han sido emitidos directamente a la atmósfera por fuentes de emisión, como automóviles, chimeneas de la industria, entre otros, o si se produjeron en la atmósfera. Estos contaminantes y sus efectos en relación al ambiente y la salud de las personas se describen en la sección 2.2.2.1.

El impacto de las emisiones contaminantes puede evidenciarse tanto a nivel global como a nivel local. A nivel global enfocando el problema de la contaminación y los factores que influyen en el efecto invernadero como el parque automotor, las fuentes fijas de contaminación. A nivel local enfocando el impacto que han tenido las emisiones sobre las afecciones en la salud.

2.2.1 IMPACTO GLOBAL

Existe una relación directa entre el calentamiento global o cambio climático y el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero provocado por las sociedades humanas tanto industrializadas como en desarrollo. Las concentraciones de dióxido de carbono en la atmósfera en la actualidad superan las alcanzadas en el último medio millón de años, y probablemente en los últimos veinte millones de años.

Dentro de las diferentes actividades que desarrolla el país se refleja un gran porcentaje de dióxido de carbono que abarca casi la totalidad de las emisiones, seguido por el monóxido de carbono y metano, gases que están ligados con el consumo de combustibles fósiles. El dióxido de carbono proviene principalmente del sector eléctrico 28,8% y del uso del suelo y silvicultura 14,9% junto con el sector de transporte 54,3% que sumados superan el 98% del total. De manera similar que el CO₂, el CO es emitido principalmente por los sectores energético (50,9%) y cambio en el uso del suelo y silvicultura (43,88%), que juntos suman el 94,78% del total nacional. Las emisiones de metano resultan de la actividad agrícola en aproximadamente un 70%, y el resto del cambio en el uso del suelo y silvicultura (10,94%), desperdicios (11,54%) y del sector energético (7,36%).³⁰

Se observa según estos porcentajes la influencia del transporte en las emisiones de CO₂, que contribuyen directamente al efecto invernadero, y por tanto es conveniente conocer las características del parque automotor de Quito.

2.2.1.1 Características del parque automotor del Distrito Metropolitano

Presenta la mayor tasa de motorización del país, con un parque vehicular estimado de 410 mil unidades a diciembre de 2011. La tabla 2.1 indica la importación y venta de vehículos nuevos en la provincia de Pichincha.

³⁰ HARO Lenin, Determinación mensual del factor de emisiones de CO₂ producido por el Parque Generador en el Sistema Nacional Interconectado del Ecuador, mediante la aplicación de la metodología de la convención Marco Sobre el Cambio Climático UNFCCC, para el período 2005-2009, Quito 2010.

Tabla 2.5 Venta anual de vehículos en Pichincha.³¹

Año	Pichincha	% de la venta total en el Ecuador
2004	26763	45.25
2005	35476	44.12
2006	37465	41.83
2007	39310	42.83
2008	46947	41.66
2009	39403	42.48
2010	53394	40.40

Pero en realidad el aumento del parque automotor se debe a la gran cantidad de vehículos que ingresan al D.M.Q. no solo los importados sino también los usados. De los vehículos que circulan en la ciudad, los que aprueban la revisión están representados en la figura 2.8, que se obtuvo de los datos entregados por la CORPAIRE.

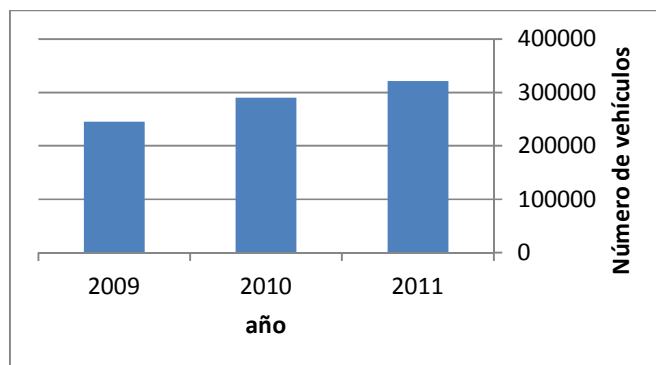


Figura 2.8 Parque automotor de D.M.Q. Vehículos que aprobaron la revisión de la CORPAIRE.³²

2.2.2 IMPACTO LOCAL

Con relación al impacto local de las emisiones contaminantes es apropiado mencionar sus efectos sobre la salud, causado por los distintos contaminantes. También es conveniente analizar las medidas aplicadas en el control de los límites de emisiones contaminantes que se ejecutan en la Revisión Técnica Vehicular.

³¹ <http://www.aeade.net/web/images/stories/images/anuario2010.pdf>

³² FUENTE PROPIA, Información obtenida de la Base de Datos de CORPAIRE.

2.2.2.1 Afecciones sobre la salud

Los contaminantes presentan diversos efectos sobre la salud de las personas y sobre el ambiente. A continuación se trata el impacto de los principales gases derivados de la combustión.

2.2.2.1.1 Dióxido de carbono:

No resulta nocivo para los seres vivos y constituye una fuente de alimentación para las plantas, gracias a la fotosíntesis. Sin embargo, un incremento desmesurado de la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera puede producir variaciones climáticas a gran escala (el llamado efecto invernadero).

2.2.2.1.2 Monóxido de carbono:

Al ser absorbido por los pulmones reduce la capacidad de la sangre para transportar el O₂ disponible a los tejidos. La exposición a altas concentraciones de CO durante largos períodos de tiempo puede provocar desde la afectación de la percepción y el pensamiento, la desaceleración de los reflejos y puede causar mareos, inconsciencia o la muerte. Por eso, concentraciones superiores de CO al 0,3 % en volumen resultan mortales.

2.2.2.1.3 Óxido de nitrógeno:

Además de las consecuencias que tiene sobre las vías respiratorias (susceptibilidad a infecciones, disminución de la función pulmonar), una vez en la atmósfera puede participar en una serie de reacciones (en presencia de luz UV) que produce la niebla fotoquímica que reduce la visibilidad. No sólo irritan la mucosa sino que en combinación con los hidrocarburos contenidos en el smog y con la humedad del aire producen ácidos nitrosos, que posteriormente caen sobre la tierra en forma de lluvia ácida y contaminan grandes áreas, algunas veces situadas a cientos de kilómetros del lugar de origen de la contaminación.

2.2.2.1.4 Hidrocarburos:

La mayoría de los hidrocarburos no son directamente perjudiciales para la salud a las concentraciones que se encuentran en el ambiente. Pero debido a las reacciones químicas que se producen en la tropósfera, desempeñan una importante función en la formación de NO₂ y O₃ que sí son un peligro para la salud y el medio ambiente.

Dependiendo de su estructura molecular, presentan diferentes efectos nocivos. El benceno, por ejemplo, es venenoso por sí mismo, y la exposición a este gas provoca irritaciones de piel, ojos y conductos respiratorios; si el nivel es muy alto, provocará depresiones, mareos, dolores de cabeza y náuseas. El benceno es uno de los múltiples causantes de cáncer.

2.2.2.1.5 Ozono

El O₃ a nivel de la tropósfera es uno de los principales componentes de la niebla en zonas urbanas. La formación del ozono proviene de la disociación de NO_x, hidrocarburos y compuestos volátiles. Sobre la salud humana el O₃ puede provocar daños graves a los tejidos pulmonares y reducir las defensas contra bacterias y virus. Por inhalación en cortos períodos de tiempo produce irritación de ojos, nariz y garganta, tos, sequedad de garganta y dolores de pecho.

2.2.2.1.6 Óxidos de azufre:

Es un gas irritante que se absorbe por la nariz y afecta la función pulmonar (provoca asfixia, bronquitis, irritación de los conductos respiratorios), con mayor riesgo de mortalidad y morbilidad. Además contribuyen a la formación de la lluvia ácida.

2.2.2.1.7 Material particulado:

El material particulado de diámetro entre 2,5 y 10 micras puede producir afecciones respiratorias y cardiorrespiratorias. Además, las partículas en suspensión también son las principales causantes de la neblina, la cual reduce la visibilidad.

2.2.2.2 Revisión Técnica Vehicular³³

La Revisión Técnica Vehicular (RTV) se realiza en seis centros de revisión que fueron construidos y son operados por dos empresas privadas: Danton S.A. y el Consorcio ITLS, seleccionadas luego de una licitación internacional. En cada línea de revisión (18 en total), se chequea el estado general y los componentes mecánicos y de seguridad de los vehículos, para prevenir desperfectos que provoquen accidentes.

Adicionalmente se realiza el control de emisiones, según corresponda al tipo de motor del vehículo y de acuerdo a su año de fabricación, elementos indicativos de la

³³ <http://www.revisionquito.gob.ec/index.php/meninformacionrevisión/77-artantecedentes>

tecnología del motor y de los dispositivos de control. Para los vehículos que utilizan diesel, se controla la opacidad (la intensidad de la coloración negra del humo de escape), utilizando opacímetros. En cambio para los motores que utilizan gasolina, se emplea un analizador de gases, para determinar las concentraciones de monóxido de carbono e hidrocarburos, dos de los principales contaminantes emitidos por estos vehículos. El control de emisiones se efectúa de acuerdo a normas emitidas por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN).

La RTV es obligatoria para todos los vehículos que circulan en el DMQ, los particulares deben aprobarla una vez al año y los de uso intensivo (buses, camiones, camionetas y taxis) dos, debido a sus mayores recorridos.

2.3 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE DE QUITO

En la presente sección se realiza una descripción de los factores que influyen en la contaminación del aire de Quito.

2.3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA CIUDAD

El Distrito Metropolitano de Quito está ubicado sobre la hoya de Guayllabamba en las laderas orientales del volcán activo Pichincha, en la parte occidental de los Andes, tiene una extensión de 4230 Km². Se encuentra aproximadamente en las coordenadas 0°13 '23"S 78°30 '45"O y su altitud promedio es de 2800 metros sobre el nivel del mar. De acuerdo al último censo poblacional realizado en noviembre de 2010, la población del DMQ es de 2'239.191 habitantes. Para el año 2011, en el DMQ existen 1302 empresas calificadas por la Secretaría de Ambiente como de alto impacto ambiental, de acuerdo al Art. II.381.13 de la Ordenanza Metropolitana 213. Igualmente, presenta la mayor tasa de motorización del país, con un parque vehicular estimado de 410 mil unidades a diciembre de 2011.²⁸ Una descripción gráfica de la ubicación de la ciudad se presenta en la figura 2.9.

²⁸ SECRETARIA DEL AMBIENTE, Borrador del Informe anual 2011 Calidad del Aire, Quito 2012.

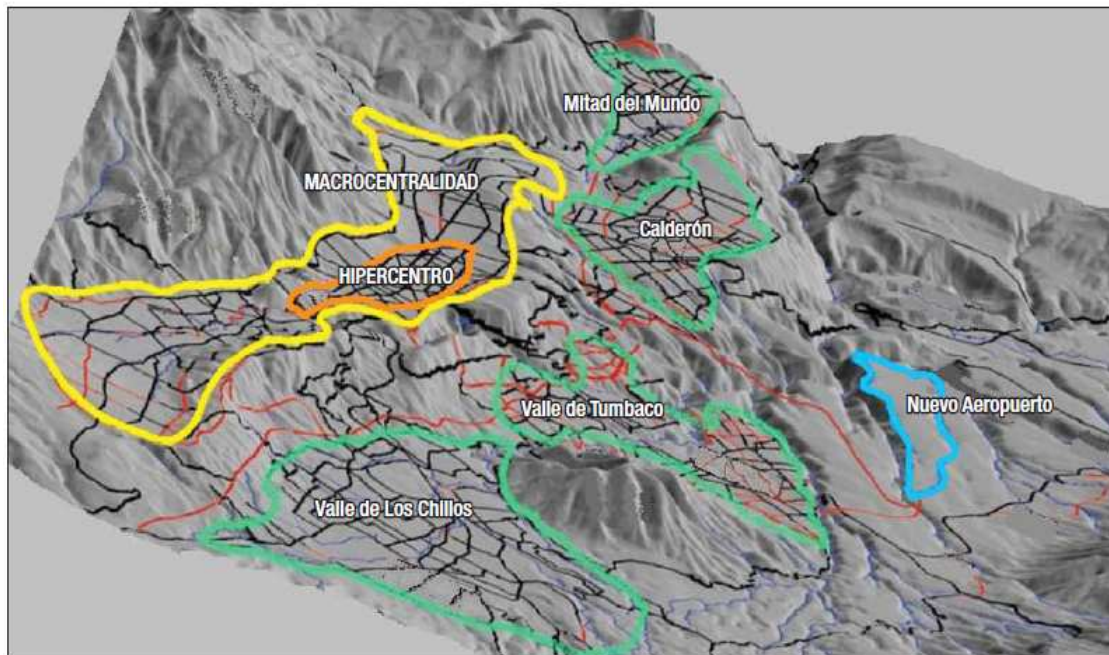


Figura 2.9 Esquema tridimensional de la ubicación de la ciudad de Quito ³⁴

Cuando se sobrepasa de los 1500 metros de altura sobre el nivel del mar, la mezcla aire-combustible se vuelve rica. Estas condiciones hacen que aumente el consumo de combustible, disminuya la potencia y aumenten las emisiones de hidrocarburos no combustionados y monóxido de carbono.³⁵

2.3.2 CONDICIONES METEOROLÓGICAS

La temperatura fue menor durante los primeros meses del año 2011, con relación al promedio registrado entre el 2005 al 2010. Este intervalo de bajas temperaturas en el 2011, coincide con la presencia de un nivel de precipitaciones considerable a lo largo de este período. Concluido el período de lluvias, la temperatura se incrementa durante los meses de mayo y junio, en donde la temperatura disminuye nuevamente y se mantiene en niveles inferiores hasta el mes de noviembre, en donde en cambio se registran valores más altos de temperatura con respecto al promedio 2005 a 2010, tendencia que permanece hasta finalizar el 2011.²⁹

³⁴ SECRETARIA DEL AMBIENTE, Plan Maestro de Movilidad para el Distrito Metropolitano de Quito, 2007.

³⁵ <http://www.ecojoven.com/seis/10/co2.html>

²⁹ SECRETARIA DEL AMBIENTE, Informe Anual 2011 Calidad del Aire, Quito 2012.

2.3.3 LA TEMPERATURA

Asociado al descenso de temperatura en las madrugadas, pueden presentarse mañanas con inversiones térmicas marcadas, producidas por el enfriamiento de la superficie de la tierra durante las noches especialmente con cielo despejado. La ausencia de nubes nocturnas favorece la fuga de calor al espacio exterior, y las capas atmosféricas adyacentes al suelo son más frías. Este tipo de eventos ocurren principalmente en el verano (julio, agosto y septiembre) y en el Veranillo del *Niño* (que se produce entre noviembre y diciembre). Las inversiones térmicas se asocian con la estabilidad atmosférica, que favorecen el estancamiento temporal de los contaminantes. Con el transcurso de la mañana, y el respectivo calentamiento de la superficie y capa baja de la atmósfera, la inversión se disipa, induciendo la dispersión paulatina de contaminantes.³⁶

La temperatura del año 2011 fue menor que la de los años anteriores, con excepción de los meses de mayo, junio, noviembre y diciembre. La temperatura promedio del mes de abril fue la más baja del año. De manera concordante, los niveles de precipitación de abril marcaron records para todo el periodo de registro de la REMMAQ, 2003 - 2011.²⁹

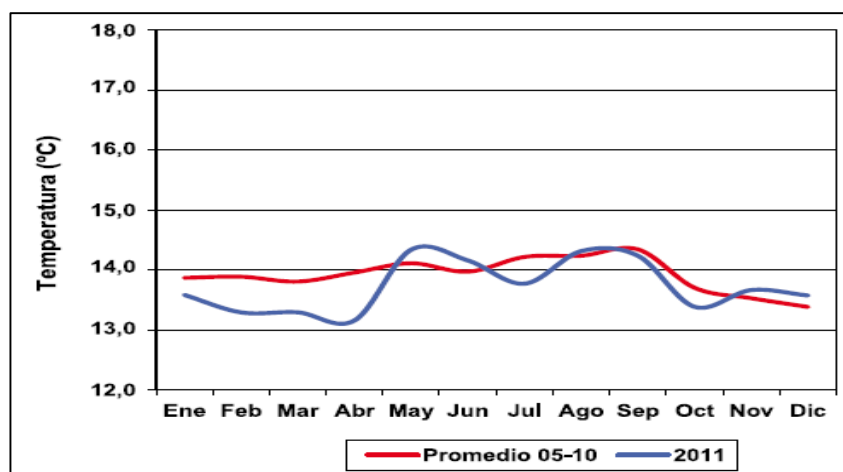


Figura 2.10 Temperatura media mensual para los años 2005 al 2010 (05-10) y 2011, promedio de las estaciones Cotocollao, Carapungo, Belisario y El Camal³⁶

³⁶ LOACHAMIN B., MOSQUERA C. Evaluación de las emisiones y el comportamiento de un vehículo utilizando biodiesel de palma como combustible.

²⁹ SECRETARIA DEL AMBIENTE, Informe Anual 2011 Calidad del Aire, Quito 2012.

2.3.4 RADIACIÓN SOLAR GLOBAL²⁹

La ciudad de Quito recibe altos niveles de radiación, debido a la zona geográfica en la que se encuentra y a la altitud con respecto al nivel del mar. Esta radiación afecta a la temperatura. La radiación solar tiene longitudes de onda entre 0,15 micras y 4 micras, por lo que es capaz de ionizar un átomo o disociar una molécula. Esto genera un aumento en la producción de ozono, puesto que, como se explicó en la sección 2.2.2.1.4, éste proviene de la disociación de NOx, hidrocarburos y compuestos volátiles. En general, en los meses con mayor presencia de lluvias (febrero-abril, octubre-diciembre) se registraron promedios bajos de radiación solar, asociados con la atenuación correspondiente de la radiación. Por otra parte, los mayores registros horarios corresponden a Cotocollao (1313 W/m², 28 de febrero, 13h00), Los Chillos (1280 W/m², 01 de octubre, 13h00) y Tumbaco (1275 W/m², 02 de septiembre, 12h00). (Tabla 2.6).

Tabla 2.6 Valores horarios máximos de radiación solar global del año 2011²⁹

Estación	Fecha	Hora	Registro en W/m ²
Cot	28-Feb	13h00	1313
Car	21-Feb	13h00	1204
Bel	11-Mar	13h00	1246
Cam	06-Sep	13h00	1233
Tum	02-Sep	13h00	1275
Chi	01-Oct	13h00	1280

2.3.5 PRECIPITACIÓN

La lluvia acumulada sobre las calzadas disminuye la capacidad de las vías para la circulación vehicular, con lo que se agrava la congestión y por ende aumentan las emisiones contaminantes. Por lo tanto, en los períodos señalados anteriormente con mayor precipitación, se tendrá niveles más altos de contaminaciones debidas al sector del transporte.

La precipitación en el DMQ presenta normalmente un régimen bimodal, con el primer periodo lluvioso entre marzo – mayo y el segundo entre noviembre– diciembre,

²⁹ SECRETARIA DEL AMBIENTE, Informe Anual 2011 Calidad del Aire, Quito 2012.

mientras que entre julio y septiembre se suelen registrar bajas precipitaciones. Como se indicó previamente y como se muestra en la figura 2.11, en abril se presentaron las precipitaciones más fuertes de todo el año; por su parte, el mes de junio fue el de menor nivel de precipitaciones del año, seguido en esta tendencia por los meses de agosto y noviembre.²⁸

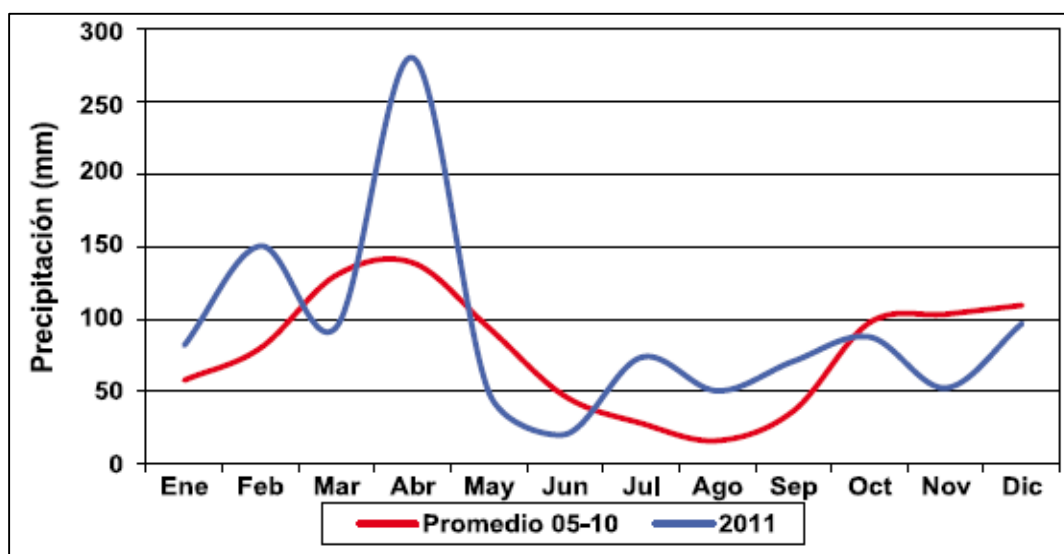


Figura 2.11 Precipitación mensual para los años 2005 al 2010 (05-10) y 2011, promedio de todas las estaciones.²⁸

2.4 NORMALIZACIÓN Y REGLAMENTOS DE EMISIONES CONTAMINANTES

Las normas y reglamentos de emisiones contaminantes establecen requisitos, propiedades y características técnicas que contribuyen al mejoramiento de la calidad y protección hacia el medio ambiente, cumpliendo con los procedimientos establecidos para las diferentes fuentes de contaminación en este caso las móviles como los vehículos para ingresar, registrar y operar, dentro del Sistema Nacional de Transporte Terrestre.

²⁸ SECRETARIA DEL AMBIENTE, Borrador del Informe anual 2011 Calidad del Aire, Quito 2012.

2.4.1 NORMAS LOCALES

Todos los vehículos que sirvan para el transporte de personas y bienes dentro del país y específicamente en el Distrito Metropolitano de Quito, tienen que cumplir con las normas ambientales y técnicas establecidas.

Dentro de las normas se destacan las siguientes:

- **NTE INEN 2204:2002-1R**

Gestión Ambiental – Aire. Vehículos automotores, límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres a gasolina.

- **NTE INEN 935:2012-8R**

Productos derivados de petróleo. Gasolina requisitos

- **NTE INEN 2203:99**

Gestión Ambiental – Aire. Vehículos automotores, Determinación de la concentración de emisiones de escape en condiciones de marcha mínima o “ralentí” prueba estática.

2.4.1.1 Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2204:2002 “Gestión Ambiental - Aire Vehículos automotores, límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres a gasolina”

El objetivo de esta norma establece los límites permitidos de emisiones de contaminantes producidas por fuentes móviles terrestres (vehículos automotores) de gasolina. Límites máximos de emisiones para fuentes móviles de gasolina. Toda fuente móvil de gasolina que se importe o se ensamble en el país debe emitir al aire monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC), óxido de nitrógeno (NOx) y emisiones evaporativas, en cantidades no superiores a las indicadas en las tablas 2.7 y 2.8.

Tabla 2.7 Límites máximos de emisiones para fuentes móviles con motor de gasolina (prueba dinámica)* a partir del año 2000 (ciclos americanos).³⁷

Categoría	Peso bruto del vehículo kg	Peso del vehículo cargado Kg	CO g/km	HC g/km	NOx g/km	CICLOS DE PRUEBA	Evaporativas G/ensayo SHED
Vehículos livianos			2.10	0.25	0.62	FTP – 75	2
Vehículos medianos	=< 3 860	=< 1 700	6.2	0.5	0.75		2
		1 700 -3 860	6.2	0.5	1.1		2
Vehículos pesados**	> 3 860 = < 6 350		14.4	1.1	5.0	Transiente Pesado	3
	> 6 350		37.1	1.9	5.0		4

* prueba realizada a nivel del mar
 ** en g/bHP-h (gramos/brake Horse Power – hora)

Tabla 2.8 Límites máximos de emisiones para fuentes móviles con motor de gasolina (prueba dinámica) * a partir del año 2000 (ciclos europeos)³⁷

Categoría	Peso bruto del vehículo kg	Peso del vehículo cargado Kg	CO g/km	HC + NOx g/km	CICLOS DE PRUEBA	Evaporativas g/ensayo SHED
M1 ⁽¹⁾	=< 3 500		2.72	0.97	ECE 15 + EUCD	2
M1 ⁽²⁾ , N1		< 1 250	2.72	0.97		2
		>1250<1700	5.17	1.4		2
		> 1 700	6.9	1.7		2

* Prueba realizada a nivel del mar
 (1) Vehículos que transportan hasta 5 pasajeros más el conductor y con un peso bruto del vehículo menor o igual a 2.5 toneladas.
 (2) Vehículos que transportan más de 5 pasajeros más el conductor o cuyo peso bruto del vehículo exceda de 2.5 toneladas.

Categoría M. Vehículos automotores destinados al transporte de personas y que tengan por lo menos cuatro ruedas.

Categoría M1. Vehículos automotores destinados al transporte de hasta 8 personas más el conductor.

Categoría N. Vehículos automotores destinados al transporte de carga, que tengan por lo menos cuatro ruedas.

Categoría N1. Vehículos automotores destinados al transporte de carga con una masa máxima no superior a 3.5 toneladas.

³⁷ NTE INEN 2204:2002-1R

2.2.2.2 Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2203:99 “Gestión Ambiental - Aire Vehículos automotores, Determinación de la concentración de emisiones de escape en condiciones de marcha mínima o “ralentí” prueba estática.”

Esta norma establece el método de ensayo para determinar la concentración de las emisiones provenientes del sistema de escape de vehículos equipados con motor de encendido por chispa, en condiciones de marcha mínima o “ralentí”.

Esta norma se aplica a los vehículos automotores cuyo combustible es gasolina. Para los efectos de esta norma se adoptan las definiciones contempladas en la NTE INEN 2204 de la tabla 2.9.

Tabla 2.9 Límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor de gasolina. Marcha mínima o ralentí (prueba estática).³⁸

Año modelo	% CO		ppm HC	
	0 -1500*	1500 – 3000	0 – 1500	1500 – 3000
2000 y posteriores	1.0	1.0	200	200
1990 a 1999	3.5	4.5	650	750
1989 y anteriores	5.5	6.5	1000	1200

* msnm

2.4.2 NORMAS INTERNACIONALES

Las normas internacionales en el campo ambiental son más avanzadas que en nuestro país y precisamente en la ciudad del D.M. de Quito. A continuación se encuentran algunos ejemplos que se aplican en otros países como:

- Norma Oficial Mexicana de Emergencia NOM–EM–132–ECOL–1998.
- Normas EURO IV y EURO V

2.4.2.1 NORMA OFICIAL MEXICANA DE EMERGENCIA NOM–EM–132–ECOL–1998

La presente Norma Oficial Mexicana de Emergencia establece las características del equipo y el procedimiento de medición, para la verificación de los límites de emisión

³⁸ NTE INEN 2203:99

de contaminantes provenientes de los vehículos automotores en circulación equipados con motores que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural u otros combustibles alternos, y es de observancia obligatoria para los responsables de los centros de verificación autorizados y para los propietarios de los citados vehículos. La tabla 2.10 muestra los procedimientos de prueba de aceleración simulada 5024 (50% de potencia y 24km/h o 15 millas/h) y 2540 (25% de potencia y 40km/h o 25millas/h).

Tabla 2.10 Perfil de las pruebas. Gráfica de los procedimientos de prueba PAS5024 y PAS2540³⁹

Registro de datos segundo por segundo		Perfil de la prueba kph			Etapa de la prueba
		0	24	40	
		10 segundos			Aceleración y estabilización
					1ra. Etapa preacondicionamiento PAS-5024 (60 segundos) prueba visual de humo
No hay registro de datos en el archivo de segundo por segundo		10 segundos			Desaceleración y estabilización
					Etapa de transición para iniciar la prueba
		10 segundos			Aceleración y estabilización
000	5024	Etapa PAS 5024 60 registros de segundo por segundo 000-60		10 segundos	Etapa PAS 5024 60 segundos
	ACEL	Etapa ACEL y tiempo de aceleración (3 segundos o más) y estabilización (5 segundos o más más los primeros 10 segundos del PAS 2540			Aceleración y estabilización
	2540	Etapa PAS 2450 50 registros iniciando con el segundo 10 010-060			3a. Etapa PAS 2540 (60 segundos)
No hay registro de datos en el archivo de segundo por segundo		10 segundos			Desaceleración y estabilización

³⁹ NORMA OFICIAL MEXICANA DE EMERGENCIA NOM-EM-132-ECOL-1998.

Esta norma establece el método de ensayo para determinar la concentración de las emisiones provenientes del sistema de escape de vehículos equipados con motor de encendido por chispa, en condiciones de prueba dinámica.

2.4.2.2 Normas EURO

La norma europea sobre emisiones es un conjunto de requisitos que regulan los límites aceptables para las emisiones de gases de combustión de los vehículos nuevos vendidos en los Estados Miembros de la Unión Europea. Las normas de emisión se definen en una serie de directivas de la Unión Europea con implantación progresiva que son cada vez más restrictivas.

Actualmente, las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x), Hidrocarburos (HC), Monóxido de carbono (CO) y partículas están reguladas para la mayoría de los tipos de vehículos, incluyendo automóviles, camiones, trenes, tractores y máquinas similares, barcas, pero excluyendo los barcos de navegación marítima y los aviones. Para cada tipo de vehículo se aplican normas diferentes.

Tabla 2.11 Normas EURO a las emisiones⁴⁰

Limitaciones a las emisiones para vehículos nuevos con motor de gasolina						
	Valido a partir de	CO (g/km)	HC (g/km)	NO _x (g/km)	HC+NO _x (g/km)	PM
Euro I	12/92	2.72	-	-	0.97	-
Euro II	01/97	2.20	-	-	0.5	-
Euro III	01/00	2.30	0.20	0.15	-	-
Euro IV	01/05	1.00	0.10	0.08	-	-
Euro V	09/09	1.00	0.10	0.06	-	0.005*
Euro VI	08/14	1.00	0.10	0.06	-	0.005*

*con inyección directa

Los gases de escape que regulan estas normas son:

- Óxidos de nitrógeno NO_x.
- Monóxido de carbono CO.
- Hidrocarburos no combustionados HC.
- Material particulado.

⁴⁰ <http://www.ngk.de/es/tecnologia-en-detalle/sondas-lambda/aspectos-basicos-de-los-gases-de-escape/normas-euro/>

Las normas EURO han sido establecidas según la fecha de puesta en servicio del vehículo se las clasifica de acuerdo a la Tabla 2.12 por ejemplo:

Tabla 2.12 Puesta en servicio de la norma EURO⁴¹:

NORMA EURO	NORMA EURO	AÑO DE PUESTA EN SERVICIO
	0	Después de 1988
	I	Después de 1993
	II	Después de 1996
	III	Después de 2000
	IV	Después de 2005
	V	Después de septiembre de 2009 para la recepción y enero de 2011 para la matriculación de vehículo.
	VI	Después de septiembre de 2014 para la recepción y enero de 2015 para la matriculación de vehículo.

En Europa se han venido aplicando varias normas de emisiones, desde la EURO 0, hasta la EURO V, la misma que entró en vigencia en el año 2008. En la figura (Fig.2.2) se muestran los límites de las normativas anticontaminación europea.

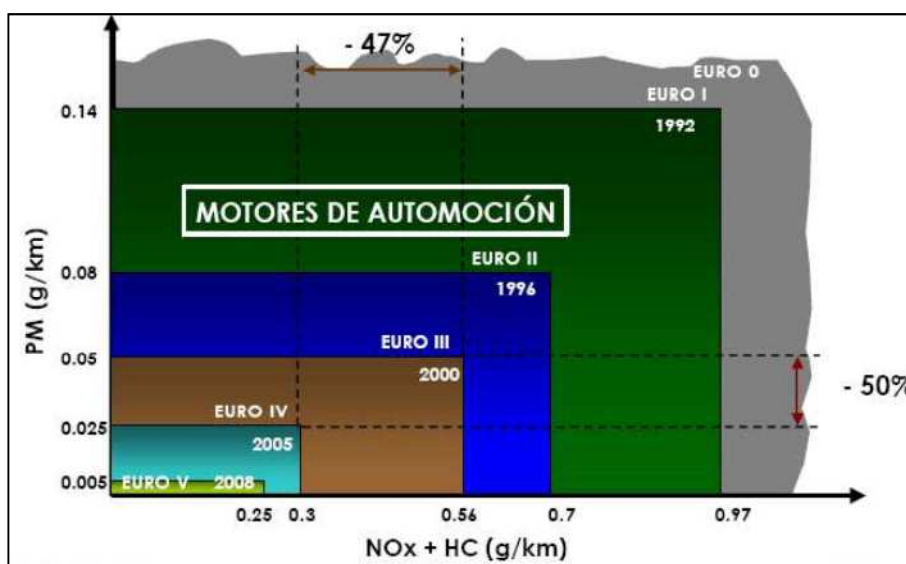


Figura 2.12 Límites de las normativas anticontaminación europea EURO, para vehículos livianos⁴¹.

⁴¹ GUEVARA M., Metodología de pruebas para la evaluación de convertidores catalíticos en motores a gasolina, pag. 623, Quito 2010.

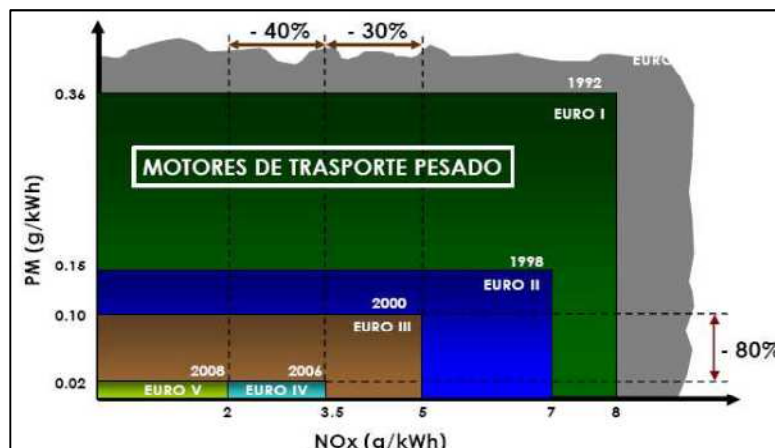


Figura 2.13 Límites de las normativas anticontaminación europeas EURO, para vehículos pesados⁴¹.

2.4.2.3 LÍMITES DE EMISIONES PARA LAS NORMAS EURO

Cada una de estas tiene un rango máximo de medida de los gases emitidos que se describe a continuación:

Tabla 2.13 Normas europeas sobre emisiones para vehículos industriales ligeros \leq a 1305 kg (Categoría N1 - I), en g/km⁴¹.

TIPO	FECHA	CO	HC	HC+Nox	Nox	PM
Gasolina						
EURO I	Octubre de 1988	2,72	-	0,97	-	-
EURO II	Enero de 1998	2,2	-	0,5	-	-
EURO III	Enero de 2000	2,3	0,2	-	0,15	-
EURO IV	Enero de 2005	1	0,1	-	0,08	-
EURO V	Septiembre de 2010	1	0,075	-	0,06	0,005

Tabla 2.14 Normas europeas sobre emisiones para vehículos industriales ligeros 1305 kg-1760 kg (categoría N1 - II), en g/km⁴¹.

TIPO	FECHA	CO	HC	HC+Nox	Nox	PM
Gasolina						
EURO I	Octubre de 1994	6,9	-	1,7	-	-
EURO II	Enero de 1998	5	-	0,8	-	-
EURO III	Enero de 2001	5,22	0,29	-	0,21	-
EURO IV	Enero de 2006	2,27	0,16	-	0,11	-
EURO V	Septiembre de 2010	2,27	0,16	-	0,082	0,005

⁴¹ GUEVARA M., Metodología de pruebas para la evaluación de convertidores catalíticos en motores a gasolina, pag. 623, Quito 2010.

Tabla 2.15 Normas europeas sobre emisiones para vehículos industriales ligeros 1760-3500 kg (Categoría N1 - III), en g/km⁴¹.

TIPO	FECHA	CO	HC	HC+Nox	Nox	PM
Gasolina						
EURO I	Octubre de 1994	5,17	-	1,4	-	-
EURO II	Enero de 1998	4	-	0,65	-	-
EURO III	Enero de 2001	4,17	0,25	-	0,18	-
EURO IV	Enero de 2006	1,81	0,13	-	0,1	-
EURO V	Septiembre de 2010	1,81	0,13	-	0,075	0,005

Tabla 2.16 Normas sobre emisiones para vehículos N2 y N3⁴¹.

Tipo	Fecha	CO (g/kWh)	HC (g/kWh)	NOx (g/kWh)	PM(g/kWh)
Euro I	1988/1992	12.30	2.60	15.8	-
Euro II	1992/1995	4.90	1.23	9.00	0.40
Euro III	1995/1999	4.00	1.10	7.00	0.15
Euro IV	1999/2005	2.10	0.66	5.00	0.10
Euro V	2005/2008	1.50	0.46	3.50	0.02
Euro VI	2008/2014	1.50	0.46	2.00	0.02

2.4.3 REGLAMENTO LOCAL

El Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN, cumpliendo con las disposiciones Gubernamentales y siguiendo el trámite reglamentario establecido en el artículo 29 de la Ley 2007- 76 del Sistema Ecuatoriano de la Calidad, ha formulado el presente **Reglamento Técnico Ecuatoriano. “Control de emisiones contaminantes de fuentes móviles terrestres”**.

2.4.3.1 Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 017:2008 “Control de emisiones contaminantes de fuentes móviles terrestres.”

Este Reglamento Técnico Ecuatoriano establece los procedimientos para el control de las emisiones contaminantes de fuentes móviles terrestres, con el fin de proteger la vida y la salud humana, animal y vegetal, y al ambiente, sin perjuicio de la eficiencia de los vehículos automotores.

⁴¹ GUEVARA M., Metodología de pruebas para la evaluación de convertidores catalíticos en motores a gasolina, pag. 623, Quito 2010.

2.4.4 ORDENANZAS PARA EL D.M. DE QUITO⁴²

El Distrito Metropolitano de Quito, ha expedido varias ordenanzas sobre la contaminación vehicular. Según la ordenanza 213 del Distrito Metropolitano de Quito Art. II.373.1.- ÁMBITO DE APLICACIÓN Y LOS PRINCIPIOS.- El presente capítulo establece las normas relativas a la Revisión Técnica Vehicular, que es el conjunto de procedimientos técnicos normalizados, utilizados para determinar la aptitud de circulación de vehículos motorizados terrestres y unidades de carga, que circulen dentro del Distrito Metropolitano de Quito. A la Revisión Técnica Vehicular, previa a la matriculación, y obligatoria para la circulación en el Distrito, se hallan sujetos los vehículos a motor, y es de observancia obligatoria para todas las personas que sean propietarias o tenedoras de dicha clase de vehículos, con las solas excepciones que este Capítulo contempla y la misma comprenderá:

- a) Revisión legal;
- b) Revisión mecánica y de seguridad;
- c) Control de emisiones de gases contaminantes o de opacidad y ruido dentro de los límites máximos permisibles; y,
- d) Revisión de idoneidad, en los casos específicos que se determinen.

Art. II.375.19.- Se hallan también incorporadas las normas del Capítulo I "De los Gases de Combustión" y del Capítulo II "De la Prevención y Control del Ruido" del Título XII "Del Control de la Contaminación Ambiental y del Ruido" del Reglamento General para la aplicación de la Ley de Tránsito y Transporte Terrestres.

⁴² Código Municipal para el Distrito Metropolitano de Quito, Ordenanza 213 del Distrito Metropolitano de Quito.

CAPÍTULO 3

TECNOLOGÍAS ALTERNATIVAS

Debido a la demanda mundial de petróleo y su contaminación al medio ambiente los esfuerzos por crear nuevas tecnologías han alcanzado un elevado desarrollo. Los fabricantes de motores en general han implementado diseños mejorados en los cuales no se dependa generalmente de los combustibles fósiles, a su vez optando por fuentes de energías menos contaminantes a pesar de que no se han desarrollado completamente y no han llegado a igualar las características de los combustibles tradicionales tal como se muestra en la figura 3.1.

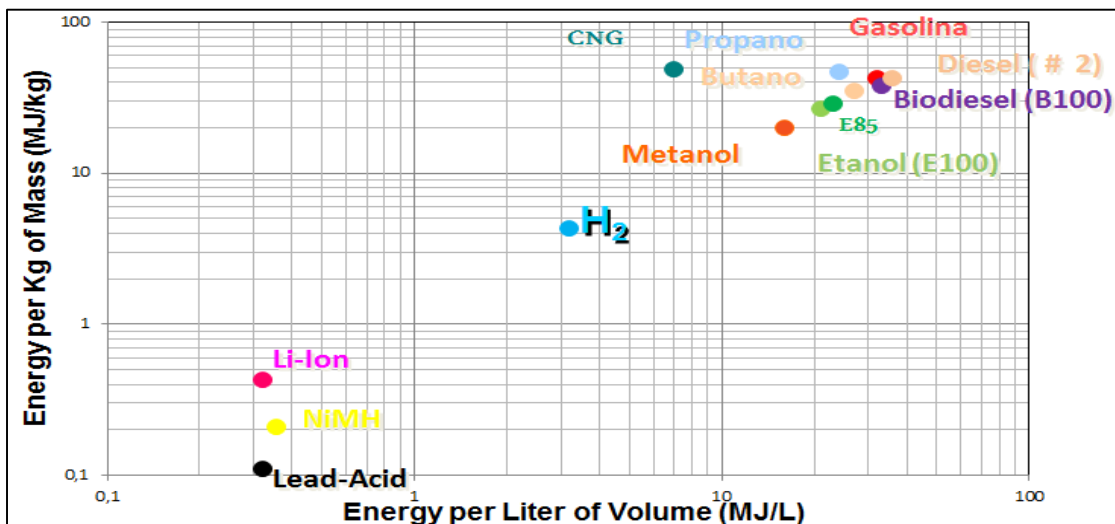


Figura 3.1 Consumo de combustible y de nuevas tecnologías⁴³

La manera de contribuir a la reducción del consumo de combustibles a base de hidrocarburos es introduciendo nuevas formas de energía, de tal manera que se reduzcan los gases de combustión que estos producen, en consecuencia se mantendrán reservas de petróleo para el futuro, introduciendo energías más limpias como se representa en la figura 3.2

⁴³ Zumárraga A. Conferencia Autos Híbridos, 2011

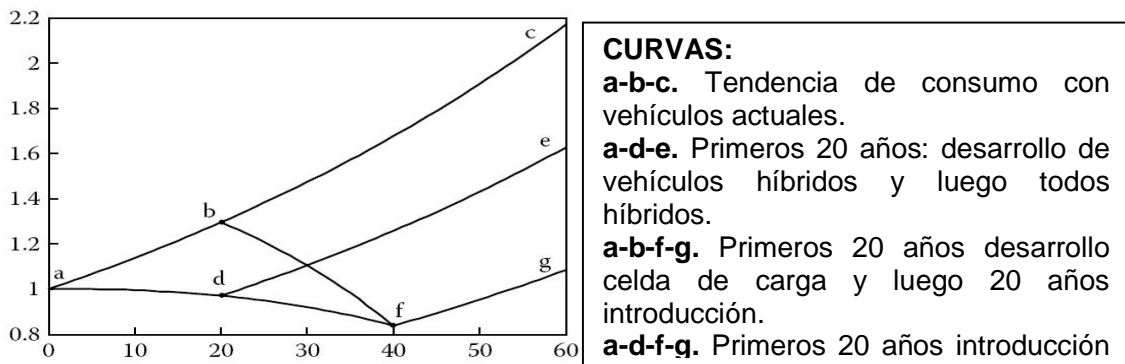


Figura 3.2 Tendencia de consumo de energía⁴³

3.1 EVOLUCIÓN DE LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS

El uso de las energías alternativas inició hace varias décadas pero sin tener una gran acogida, debido a una falta de desarrollo por la monopolización del petróleo y sus derivados y por no alcanzar las mismas características que con el uso de hidrocarburos para la combustión tal como se muestra en la figura 3.3

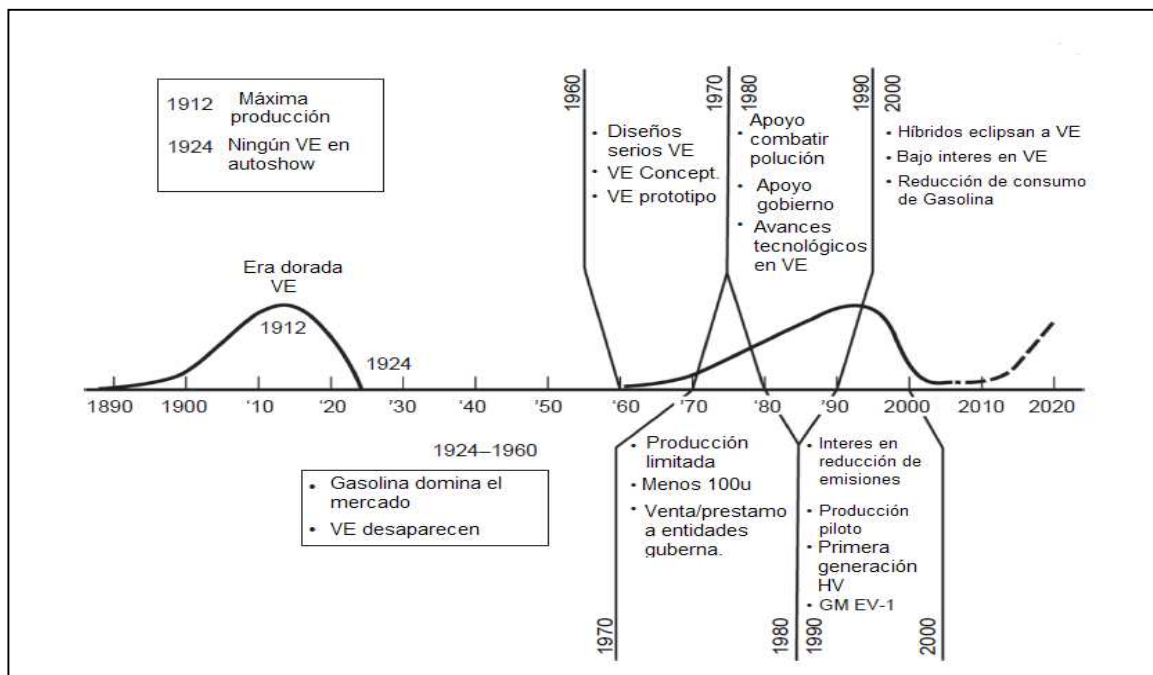


Figura 3.3 Proyección de nuevas tecnologías⁴³

⁴³ Zumárraga A. Conferencia Autos Híbridos, 2011

3.2 CLASIFICACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS ALTERNATIVAS

El hecho de retomar el tema del uso de energías alternativas se debe al calentamiento global y a las consecuencias que ha tenido a lo largo de los últimos años en especial en las ciudades donde la contaminación es mayor. Por estas razones se están desarrollando en los últimos años alternativas como las siguientes:

Automóviles modificados parcialmente:

- La Tecnología Híbrida

El uso de nuevos combustibles en un motor de combustión interna con o sin modificaciones dependiendo de las características del vehículo como:

- Biomasa
- Gas Natural Comprimido (GNC)
- Gas Natural Vehicular (GNV)
- Gas Natural Licuado de petróleo (GLP)
- Hidrógeno (H₂)

Y a su vez remplazando el tipo de motor dependiendo su fuente de energía como:

- Energía Solar
- Energía Eléctrica
- Energía Neumática

3.2.1 TECNOLOGÍA HÍBRIDA

Un vehículo híbrido tiene como principal fuente de propulsión un motor de combustión interna y como auxiliar un motor eléctrico. El motor eléctrico opera cuando la demanda de energía o poder es reducida debido a la poca capacidad de almacenamiento de las baterías actuales como se representa en la figura 3.4

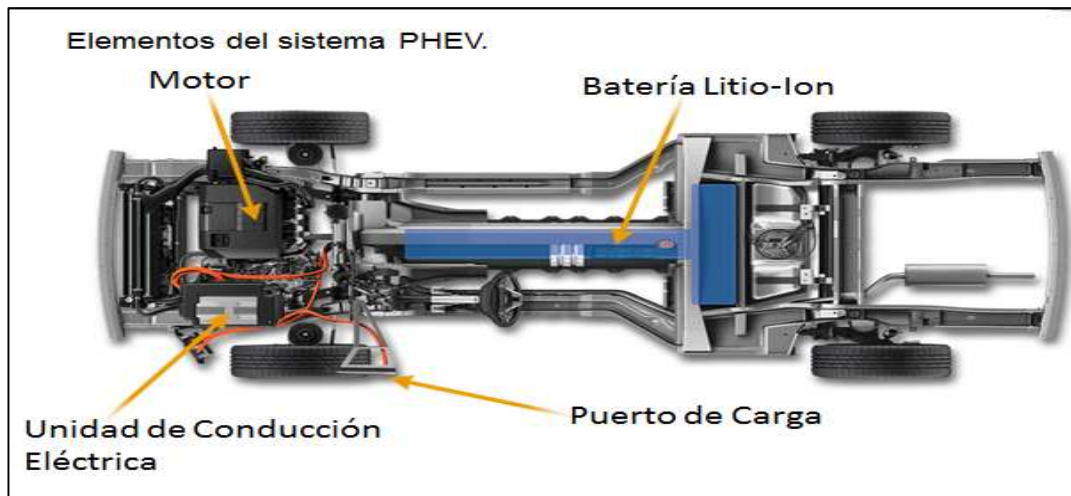


Figura 3.4 El auto híbrido⁴³

Los sistemas híbridos se clasifican de la siguiente manera:

- Sistema híbrido en paralelo
- Sistema híbrido en serie
- Sistema híbrido en serie/paralelo

3.2.1.1 Sistema híbrido en paralelo

En el sistema híbrido en paralelo, el motor eléctrico funciona en paralelo con el motor de combustión interna para movilizar el vehículo. Este tipo de sistema es eficiente en carretera ya que se puede tener una configuración de motor de combustión interna conectado directamente a las ruedas generando movimiento como se aprecia en la figura 3.5

Los tipos de sistemas híbridos en paralelo son:

3.2.1.1.1 Tipo medio (Mild):

Usa el motor eléctrico como un apoyo al motor de combustión interna (MCI). Este tipo de sistemas no pueden operar solamente con el sistema eléctrico, siempre tiene que estar activado el motor de combustión interna. Este tipo de sistema también es conocido como sistema de autoencendido (start-stop).

⁴³ Zumárraga A. Conferencia Autos Híbridos, 2011

3.2.1.1.2 Tipo Autoencendido BAS:

Utiliza un motor generador en lugar del alternador tradicional para apagar y encender el motor.

3.2.1.1.3 Tipo Autoencendido FAS:

Utiliza un motor generador instalado entre el motor y la caja de cambios para apagar y encender el motor.

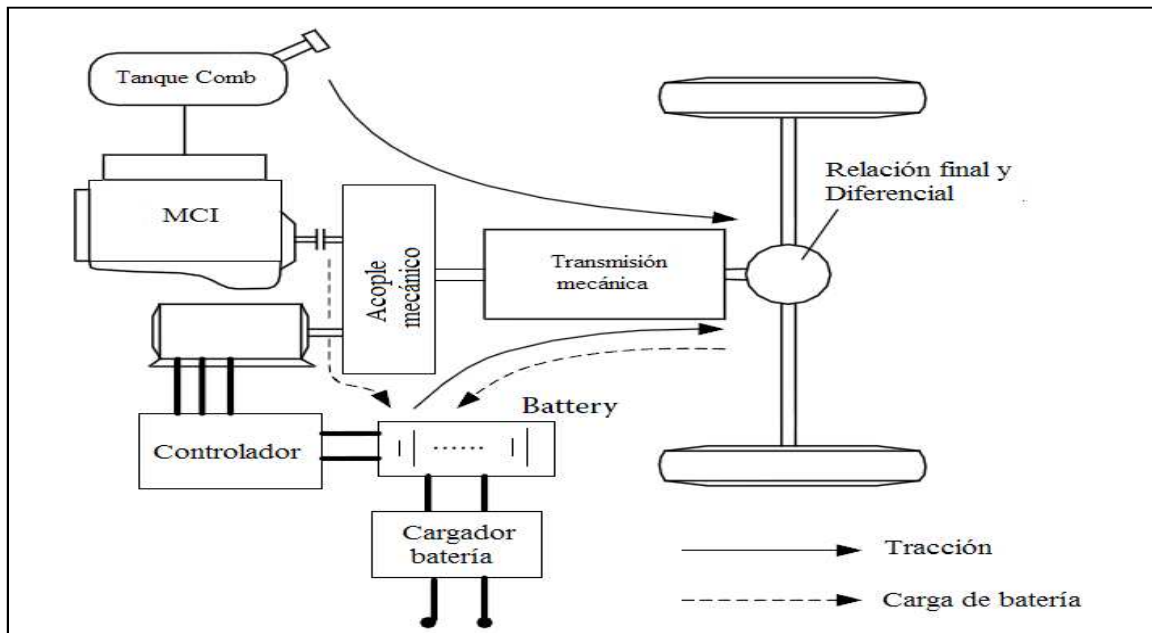


Figura 3.5 Híbrido en paralelo⁴³

3.2.1.2 Sistema híbrido en serie

En este sistema, el motor eléctrico es la única fuente de poder para movilizar el vehículo, este motor recibe el poder desde las baterías del vehículo o desde un generador conectado a un motor de combustión interna pequeño. Se considera la configuración más simple ya que el motor de combustión interna funciona solamente como un generador de electricidad para cargar las baterías o entregar energía directamente al motor eléctrico, el motor de combustión interna nunca está conectado al tren motriz como se indica en la figura 3.6.

⁴³ Zumárraga A. Conferencia Autos Híbridos, 2011

Los tipos de sistema híbrido en serie son:

3.2.1.2.1 Tipo conectable (Plug-in):

El motor de combustión interna sirve como un apoyo para recargar las baterías de los motores eléctricos. El vehículo se mueve con el poder de los motores eléctricos.

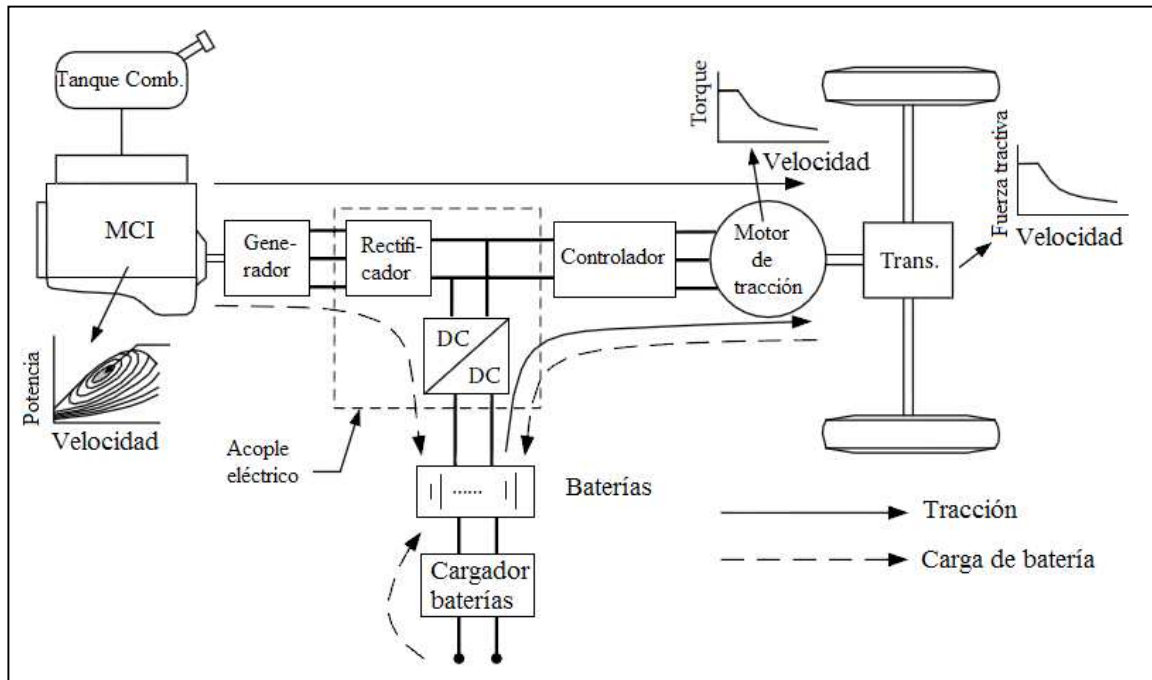


Figura 3.6 Sistema híbrido en serie⁴³

Debido a que este sistema funciona principalmente con electricidad las baterías de este sistema son más grandes que en el sistema en paralelo

3.2.1.3 Sistema híbrido en serie/paralelo

Este tipo de sistema utiliza las dos tecnologías (serie y paralelo) en un mismo automóvil. Cuando el vehículo se encuentra a baja velocidad funciona como un híbrido en serie utilizando solamente los motores eléctricos para mover el vehículo. Cuando el vehículo llega a velocidad cruceo o se encuentra en carretera se utiliza el motor de combustión interna para movilizar el vehículo y cargar las baterías. Este tipo de sistemas es costoso ya que se necesita equipos de control más finos y

⁴³ Zumárraga A. Conferencia Autos Híbridos, 2011

baterías más grandes para satisfacer las demandas de energía de todos los componentes como se observa la figura 3.7

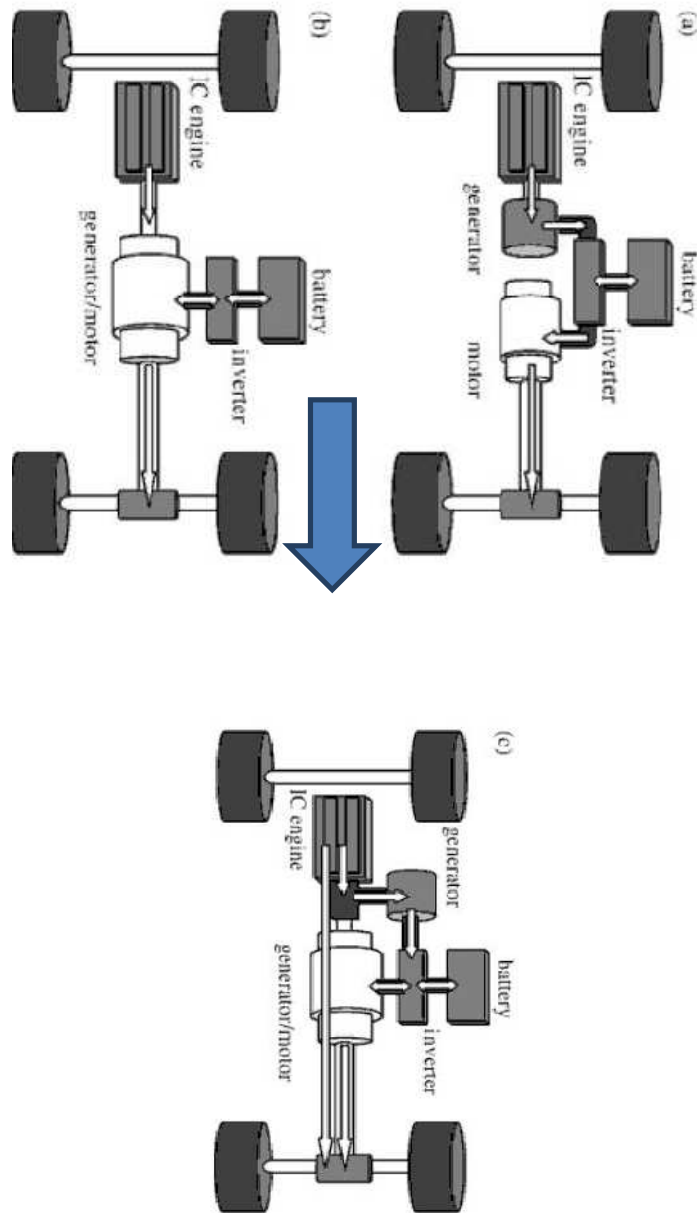


Figura 3.7 Híbrido total⁴³

⁴³ Zumárraga A. Conferencia Autos Híbridos, 2011

Los tipos de sistemas híbridos en serie/paralelo son:

3.2.1.3.1 Tipo Total (Full):

Este tipo de sistema puede operar independientemente con el motor eléctrico o el de combustión o en conjunto ambos para mover al vehículo.

3.2.1.4 Precauciones de los vehículos híbridos

Utilizar los equipos de protección personal adecuados para realizar los trabajos de inspección o reparación. A continuación se presenta una tabla de EPP:

Tabla 3.1 Equipos de protección personal

	SISTEMA HÍBRIDO	
	MEDIO (BAS O FAS)	TOTAL (FULL)
GAFAS DE SEGURIDAD CON PROTECCIÓN A LOS COSTADOS	OBLIGATORIO	OBLIGATORIO
GUANTES DIELECTRICOS CLASE "0" CON GUANTE DE CUERO	RECOMENDADO	OBLIGATORIO
ROPA DIELECTRICA O RETARDANTE DE LLAMA DE ACUERDO A LA "NFPA"	RECOMENDADO	OBLIGATORIO

Revisar que la llave no se encuentre en encendido. Los sistemas de seguridad y control estén operando correctamente (interruptor de capó)

3.2.2 BIOMASA

Se considera como biomasa a toda la materia orgánica de origen vegetal o animal, incluyendo los materiales procedentes de su transformación. Cuando se usa la biomasa como combustible se libera energía a través de la oxidación del carbono.

Proporciona energía sustitutiva a los combustibles fósiles, gracias a combustibles líquidos (como el biodiesel o el bioetanol), gaseosos (gas metano) o sólidos (leña).

Como se sabe la biomasa explotada en exceso también afectará al sistema si en especial se consume combustibles sólidos. En la figura 3.8 se observa el ciclo de la biomasa.

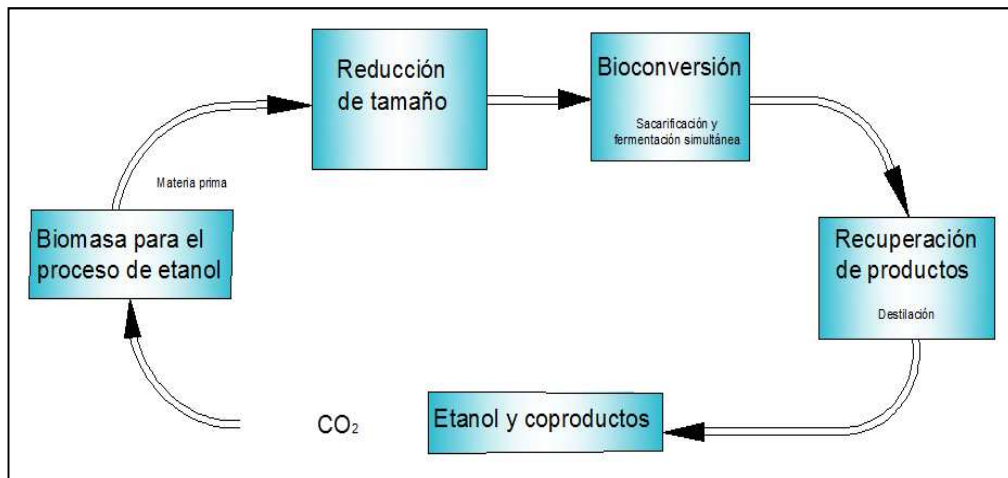


Figura 3.8 Proceso de obtención de alcohol a partir de la biomasa⁴⁴

3.2.3 GAS NATURAL COMPRIMIDO (GNC)

El gas se extrae en las mismas zonas en donde se encuentra el petróleo o las bolsas de petróleo. Se ubica en la parte superior de la bolsa petrolífera. Su uso principal es como combustible doméstico. El gas natural está formado por un pequeño grupo de hidrocarburos: fundamentalmente metano con una pequeña cantidad de propano y butano.



Figura 3.9 Adaptación de bombonas de gas en el automóvil.

⁴⁴presentación Fuel LifeCycleAnalysis of Fuel EthanolProduction and Use; Alain Lefevre, Quebec ministry of Natural Resources, Canada en el Congreso Internacional de Biocombustibles, Guadalajara, Jal. México

El propano y el butano se separan del metano y se usan como combustible para cocinar y calentar, distribuidos en bombonas. El metano se usa como combustible tanto en viviendas como en industrias y como materia prima para obtener diferentes compuestos en la industria química orgánica. El GNC es esencialmente gas natural almacenado a altas presiones, habitualmente entre 200 y 250 bares, según la normativa de cada país. Este gas natural es principalmente metano, que al tener un alto índice de hidrógeno por carbono produce menos CO₂ por unidad de energía entregada, en comparación con otros hidrocarburos más pesados.

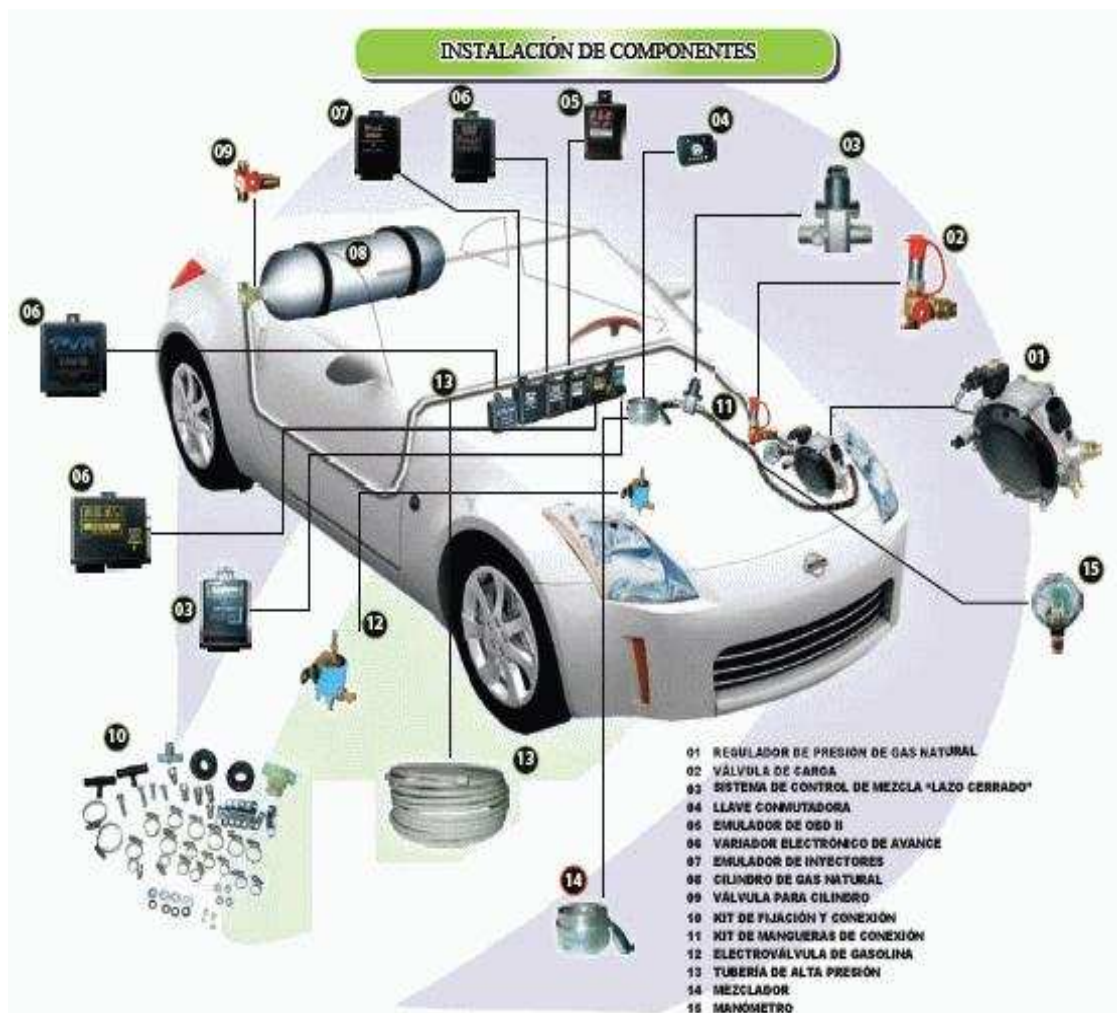


Figura 3.10 Adaptación de un vehículo para que funcione con gas natural comprimido.⁴⁵

⁴⁵ http://ecuador.acambiode.com/producto/fotos_instalacion-de-gas-vehicular_44664

Hasta diciembre del 2011 se mantuvo una tendencia en el aumento del número de vehículos que operan con GNC (alrededor de 15 millones de vehículos), tal como se evidencia en la figura 3.11.

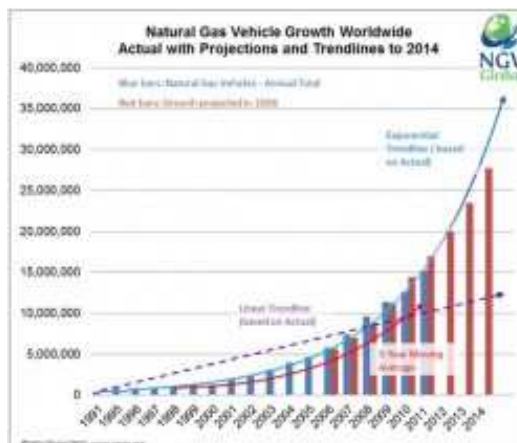


Figura 3.11 Aumento del número de vehículos que usan GNC.⁴⁶

3.2.4 GAS LICUADO DE PETRÓLEO

El gas licuado de petróleo (GLP) es una mezcla de propano (C_3H_8) y de butano (C_4H_{10}). Las proporciones en las que se utilizan dependen del país y del tipo de vehículo, así por ejemplo en España el GLP de automoción para vehículos turismo tiene una composición volumétrica de 30% de propano y 70% de butano, para el caso de autobuses tiene 70% de propano y 30% de butano.

Los vehículos que funcionan con GLP son similares a sus equivalentes de gasolina, siendo su mayor diferencia el sistema de almacenamiento de combustible y el sistema de alimentación de combustible al motor. En varios países estos vehículos son bicomcombustible, esto es, tienen depósito de GLP y de gasolina. Existiendo vehículos monocombustible a GLP, de los que se reporta menores emisiones contaminantes.

⁴⁶ <http://www.iangv.org/category/stats/>



Figura 3.12 Adaptación para un vehículo a GLP⁴⁷

3.2.5 HIDRÓGENO

El hidrógeno, se encuentra entre las fuentes alternativas de energía, se presenta como uno de los candidatos ideales porque a diferencia de los combustibles fósiles o los biocombustibles, el único producto de combustión es el agua, por lo que es un combustible muy limpio. Entre las aplicaciones del hidrógeno se pueden mencionar el empleo en equipos de combustión para la generación combinada de calor y electricidad, utilización en pilas de combustible para propulsión eléctrica en el transporte, generación de electricidad, etc. El hidrógeno, a pesar de ser el elemento más abundante en el universo, no es un recurso natural y debe obtenerse a partir de otras materias primas como el agua, biomasa, combustibles fósiles.⁴⁸

Grado de contaminación depende de la forma de obtención:

- Para su obtención hay que invertir mucha energía
- Hidrólisis
- Fotosíntesis de algas especiales (Investigación de Honda)

⁴⁷ <http://www.blogicars.com/2010/10/glp-gas-licuado-de-petroleo-para-autos/>

⁴⁸ VALLE.G. Hidrógeno y otras fuentes alternativas de Energía. Costa Rica. 2006



Figura 3.13 Vehículo a hidrógeno⁴⁹

3.2.6 ENERGÍA SOLAR

La energía solar es la energía que llega a la Tierra en forma de radiación electromagnética procedente del Sol, en donde es generada por un proceso de fusión nuclear. Es limpia, renovable, abundante y está disponible en la mayor parte de la superficie terrestre.

3.2.6.1 Vehículos de energía solar

En el caso de los vehículos, las células fotovoltaicas alimentan una batería, la cual, a su vez, se encarga de impulsar el motor eléctrico. En el vehículo que observamos en la figura 3.14, las placas que cubren la parte superior de la carrocería recogen una potencia de 100 vatios, que recarga una batería de células de litio de unos 34 kg. Esta batería alimenta el motor eléctrico, En las zonas de montaña y en los países fríos, los tejados suelen utilizar la pizarra negra. Desarrolla una potencia de 1.900 vatios.

⁴⁹<http://artus.wordpress.com/2008/04/20/hidrogeno-como-sustituto-de-los-combustibles-fosiles/>

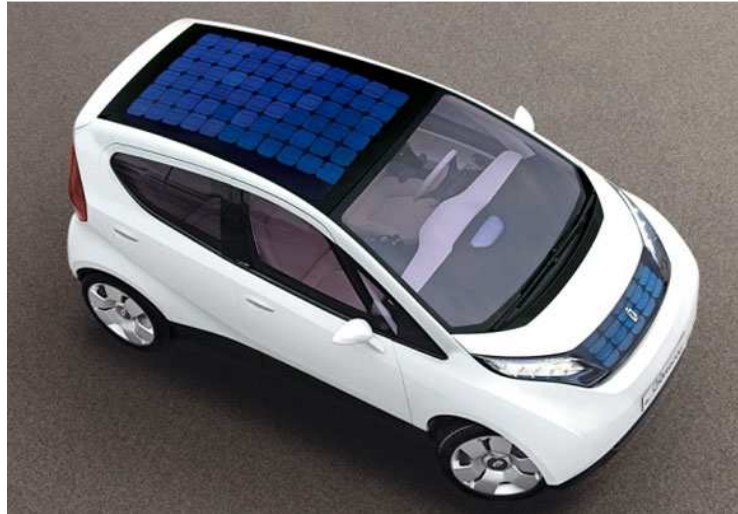


Figura 3.14 Auto solar⁵⁰

3.2.7 ENERGÍA ELÉCTRICA

La energía eléctrica proviene generalmente de las grandes hidroeléctricas, y en algunos casos de termoeléctricas que son contaminantes potenciales, o a través de energía nuclear. La electricidad es una energía limpia, cuando se la utiliza para el funcionamiento de motores en vehículos o fuentes fijas, en comparación con los combustibles fósiles que producen gran contaminación como se explicó en los capítulos anteriores.

3.2.7.1 Autos eléctricos

La batería, previamente recargada por una fuente externa (como el tomacorriente), envía la electricidad que el motor requiere para impulsar el automóvil. El controlador toma energía de las baterías y se lo entrega al motor. El acelerador va conectado a un par de potenciómetros (resistencias variables), y estos potenciómetros proveen de la señal que le dice al controlador cuanta energía se supone que tiene que entregar como se aprecia en la figura 3.15.

⁵⁰<http://ens-ciencia.blogspot.com/2009/12/la-energia-solar.html>

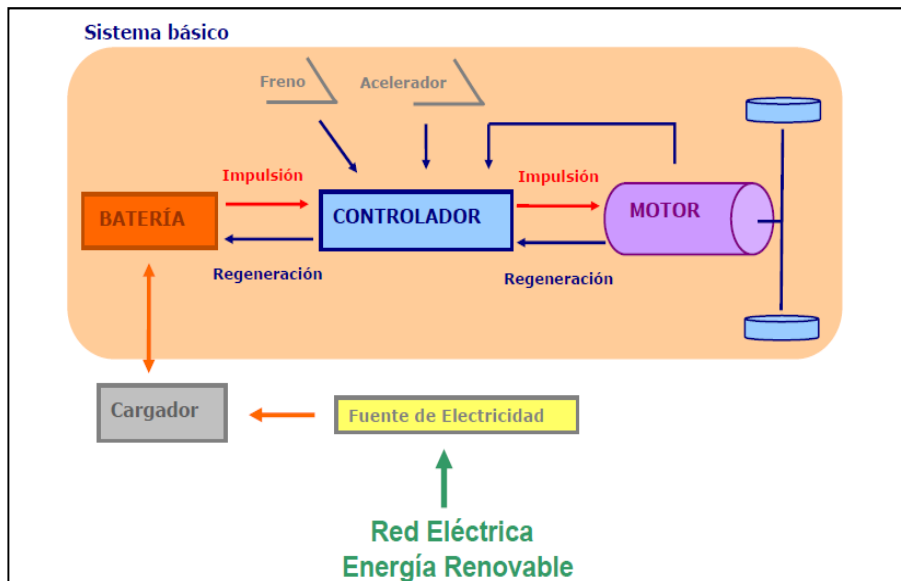


Figura 3.15 Esquema de funcionamiento vehículo eléctrico⁵¹

La aceleración del automóvil hará que al girar los generadores de las ruedas, estos produzcan electricidad, la cual es almacenada en la batería, electricidad que a su vez se vuelve a enviar al motor para que este acelere o impulse el automóvil, repitiéndose el ciclo indefinidas veces.



Figura 3.16 Acople del rotor al cigüeñal⁵²

El rotor, tanto del motor como del generador está unido por un mismo eje, que a la vez está conectado por unas varas (tapas) al aro del neumático.

⁵¹<http://oldcivilizations.wordpress.com/2012/02/03/la-energia-libre-de-nikola-tesla-es-real-o-ficcion/>

⁵²<http://www.autolibreelectrico.com/archives/715>

3.2.8 ENERGÍA NEUMÁTICA

La neumática es la tecnología que emplea el aire comprimido como modo de transmisión de la energía necesaria para mover y hacer funcionar mecanismos. Mediante el fluido aire (neumática) se puede conseguir mover un motor en movimiento giratorio o accionar un cilindro para que tenga un movimiento de salida o retroceso de un vástago (barra). Esto hoy en día tiene infinidad de aplicaciones como pueden ser la apertura o cierre de puertas en trenes o autobuses, levantamiento de grandes pesos, accionamientos para mover determinados elementos, etc. El control del motor o del cilindro para que realice lo que se desea se hace mediante válvulas que hacen las veces de interruptores, pulsadores, conmutadores, etc.

3.2.8.1 Autos neumáticos

El AirPod, un pequeño utilitario que funciona con aire comprimido y diseñado para moverse por la ciudad con facilidad. A pesar de su reducido tamaño, tiene 3 plazas, puede desplazarse hasta a 80 Km./h y dispone de una autonomía para recorrer 200 km. Tata Motors compró los derechos a MDI (una compañía luxemburguesa pionera en la investigación de motores de aire comprimido) para desarrollar y comercializar estos vehículos en la India, en una apuesta decidida del fabricante indio por el aire, un “combustible” limpio y barato como se observa en la figura 3.15



Figura 3.17 Vehículo que funciona con aire comprimido⁵³

⁵³ <http://merkarros.blogspot.com/2012/08/un-auto-que-funcionacon-aire.html>

CAPÍTULO 4

GASOLINA Y ETANOL

En este capítulo se considera a la gasolina, al etanol y las mezclas realizadas entre ellos, las propiedades de estos combustibles y las características relacionadas con la obtención del etanol y su utilización.

4.1 COMBUSTIBLES CONVENCIONALES

4.1.1 GASOLINA.

La gasolina es una mezcla de hidrocarburos derivados del petróleo. Las moléculas de la gasolina normalmente tienen entre 7 y 11 átomos de carbono unidos a átomos de hidrógeno. La gasolina es ampliamente utilizada en todo el mundo debido a que es un combustible relativamente fácil de obtener que almacena grandes cantidades de energía calórica que puede ser aprovechada transformándola a otro tipo de energía. Si la gasolina es quemada de manera ideal, es decir, sin exceso de oxígeno y sin impurezas, se produce dióxido de carbono, agua y nitrógeno. En condiciones reales se emite al ambiente contaminantes provenientes de una combustión incompleta, como el monóxido de carbono, hidrocarburos u óxidos de nitrógeno.

Para obtener una combustión normal en un motor Otto, el combustible debe tener aptitudes para soportar sin detonación elevadas compresiones, cuando ello ocurre, se dice que está dotado de un elevado poder antidetonante. La calidad de un carburante depende esencialmente del valor de su poder antidetonante, cuya medida está dada por el llamado Número de Octano (N.O.).⁵⁴ El valor del N.O. de un carburante se obtiene comparando el comportamiento del combustible (formado por la mezcla de isooctano y heptano) con la siguiente escala de referencia: índice 0, si

⁵⁴ CHALÁ F, ÑACATO J, Estudio comparativo del uso de biocombustible y gasolina en motores de ciclo Otto, Quito 2008.

el comportamiento es el de un heptano o índice 100 si el comportamiento es de un iso octano.

4.1.2 PROPIEDADES DE LA GASOLINA

4.1.2.1 El octanaje de la gasolina:

El octanaje de la gasolina indica que tanto puede ser comprimida la gasolina antes de que se encienda espontáneamente. Cuando la gasolina se enciende por compresión en vez de por la chispa de la bujía, entonces se tiene una pre-ignición o cascabeleo del motor. La pre-ignición puede dañar el motor por lo que debe evitarse. Un combustible de bajo octanaje (por ejemplo 87 octanos) soporta menos compresión que uno de alto octanaje (por ejemplo 93 octanos). Por lo tanto, la razón de compresión del motor que se puede encontrar en el manual del usuario del vehículo, determina el tipo de gasolina a utilizar. Una manera muy común de incrementar la potencia del vehículo es aumentando la relación de compresión del motor, por eso los motores de alto desempeño tienen altas relaciones de compresión y requiere de combustibles de alto octanaje.⁵⁴

Dentro de la mezcla de hidrocarburos que forman la gasolina se puede encontrar moléculas de diferentes tamaños como los heptanos (7 carbonos), octanos (8 carbonos), nonanos (9 carbonos), etc. La gasolina está formada en su mayoría por octano ya que este soporta grandes compresiones sin encenderse espontáneamente y por algunos otros compuestos como heptano que no resiste las compresiones de la misma manera. Una gasolina de 87 octanos se dice que tiene 87% de octano y 13 % de heptano u otros componentes, esta gasolina puede comprimirse hasta cierto nivel antes de encenderse espontáneamente y solo debe ser usada en motores que no excedan esa relación de compresión.

La gasolina común extra de 87 octanos (RON) debe cumplir con los requisitos establecidos en la tabla 4.1.

⁵⁴ CHALÁ F, ÑACATO J, Estudio comparativo del uso de biocombustible y gasolina en motores de ciclo Otto, Quito 2008.

Tabla 4.1 Requisitos de la gasolina de 87 octanos.⁵⁵

REQUISITOS DE LA GASOLINA DE 87 OCTANOS (RON)				
REQUISITOS	UNIDAD	Mínimo	Máximo	Método de ensayo
Número de octano Research	RON ^I	87	-	NTE INEN 2102
Destilación 10%	°C	--	70	NTE INEN 926
50%	°C	77	121	
90%	°C	--	189	
Punto final ^W	%	--	215	
Residuo de destilación	--	--	2	
Relación vapor líquida a 60°C, V/L		--	20	NTE INEN 932 ASTM D5 188
Presión de vapor	kPa ^A	--	60 ^B	NTE INEN 928 ^C ASTM D5 4953 ASTM D5 5191 ^D
Corrosión a la lámina de cobre (3h a 50°C)	--	--	1	NTE INEN 927
Contenido de gomas	mg/100cm ³	--	3.0	NTE INEN 933
Contenido de azufre	Ppm	--	650	NTE INEN 929 ASTM D4 294 ^D
Contenido de aromáticos	%	--	30	NTE INEN 2252 ^D ASTM D6730
Contenido de benceno	%	--	1.0	ASTM D 3606 ^C ASTM D 5580 ^D ASTM D 6277 ASTMD 6730
Contenido de olefinas	%	--	18.0	NTE INEN 2252 ^D ASTM D 6730
Estabilidad a la oxidación	Min	240	--	NTE INEN 934 ^D ASTM D7525
Contenido de oxígeno. Wa2	%	--	2,7 ^B	ASTM D 4815 ^D ASTM D 5845 ASTM D 6730
Contenido de plomo	mg/l	--	No detectado ^{F,G}	ASTM D 3237 ASTM D 5185
Contenido de manganeso	mg/l	--	No detectado ^{F,G}	ASTM D 3831 ASTM D 5185
Contenido de hierro	mg/l	--	No detectado ^{F,G}	ASTM D 5185

^A 1kPa≈0,01kgf/cm2≈0,1N/cm2≈0,145kgf/cm2

^B En el caso que las gasolinas contengan contengan etanol anhidro la presión de vapor puede llegar hasta 62kPa

^C Método de ensayo utilizado para combustible gasolina sin etanol.

^D Este método es considerado el método dirimente para los casos de arbitraje o peritación

^E Este método es considerado el método dirimente para los casos de arbitraje o peritación

^F Es equivalente en masa de etanol anhidro agregado a la mezcla

^G Sin adición intencional

^H No detectable de acuerdo al método de ensayo ASTM D 3237

^I No detectable de acuerdo al método de ensayo ASTM D 3831

^J No detectable de acuerdo al método de ensayo ASTM D 3237

^W Porcentaje en volumen

Porcentaje en masa

⁵⁵ Norma Técnica Ecuatoriana. NTE INEN 935 2012 Octava Edición.

4.1.1.1 Volatilidad:

Se define como la capacidad de una sustancia a evaporarse. La volatilidad se determina con la curva de destilación. El combustible líquido es una fracción de la destilación del crudo de petróleo. Para asegurar la volatilidad hay que tener en cuenta las propiedades del combustible, diseño del motor y materiales con los que está fabricado. La eficaz utilización de un combustible en un motor depende del diseño del motor (para que haya un mayor rendimiento), de la preparación del combustible para que el motor tenga mayor potencia y rendimiento. Para que esto se cumpla el combustible que sale directamente de la destilación no tiene estos requisitos, por lo que necesita un tratamiento posterior para que cumpla esos objetivos. Se debe añadir aditivos y otros elementos.⁵⁴

4.1.2.2 Estabilidad al almacenamiento:

Se evalúa por la tendencia que presenta la gasolina a formar gomas. Las gomas son residuos que se forman durante el almacenamiento de los combustibles cuando parte de sus componentes se han evaporado. Esta evaporación ha transcurrido en contacto con el aire y con metales. Estas gomas corresponden a compuestos originales por la oxidación y polimerización de los combustibles. Los problemas que pueden originar estos residuos pueden estar en el sistema de combustible o en el motor.

- Sistema de combustible: se deposita como residuo resinoso en la zona caliente de la toma de admisión. Si se va aumentando el residuo en capas, puede desprenderse y obturar el sistema de aspiración y filtros.
- Motor: obstruye las válvulas. Si se deposita en el colector puede llegar a dar humos en el tubo de escape (pérdida de potencia)

Todo esto se agrava si el combustible no está bien tratado. Un problema añadido es la propia degradación del combustible, lo que puede llevar a una disminución del nivel de octano, dando mal funcionamiento al motor.

4.1.2.3 Poder calórico (calor de combustión):

Es la energía liberada cuando se somete el combustible a un proceso de oxidación rápido, de manera que el combustible se oxida totalmente y que desprende una gran cantidad de calor que es aprovechable a nivel industrial.

4.1.2.4 Densidad específica o relativa:

Los combustibles se comercializan en volumen, por ello es importante saber la densidad que tienen a temperatura ambiente.

Se define la densidad específica como:

$$\text{Densidad específica o relativa} = \frac{\text{Densidad absoluta de un producto (a una temperatura)}}{\text{Densidad del agua líquida (a 4°C)}} \quad (4.1)$$

4.1.2.5 Viscosidad:

Es la resistencia interna que presenta un fluido para el desplazamiento de sus moléculas. Esta resistencia viene del rozamiento de unas moléculas con otras. La unidad de la viscosidad cinemática (relación entre el coeficiente de viscosidad dinámico sobre la densidad) es mm²/s. Un combustible que tenga la viscosidad muy alta quiere decir que es poco fluido.

4.1.2.6 Punto de inflamación:

Se define como la mínima temperatura a la cual los vapores originados en el calentamiento de una muestra de combustible se inflaman cuando se ponen en contacto con una llama piloto de una forma determinada. Teniendo en cuenta el punto de inflamación se podrá estimar cuales van a ser las condiciones de almacenamiento de ese combustible.

4.1.2.7 Contenido en azufre:

El azufre que se encuentra en un combustible líquido deriva del crudo de petróleo del que procede el combustible y a veces puede derivar de algún proceso al que ha sido sometido en el fraccionamiento, es necesario que el contenido de azufre sea el menor posible. Los problemas que puede provocar el azufre contenido en un combustible líquido son:

- Corrosiones en los equipos en los que se quema el combustible. Contaminación ambiental, que se debe evitar.
- Influye sobre el poder calórico del combustible, pudiendo hacer que sea menor.

4.1.2.8 Presión de vapor de Reid:

Es la presión de vapor absoluta obtenida por medio de un ensayo que mide la presión de una muestra en el interior de un cilindro a una temperatura de 37,8 °C (100 °F) en una relación volumétrica de 4 (cuatro) partes de líquido por 1 (una) parte de vapor [relación (líquido/vapor) = 4], esta propiedad mide la tendencia a la vaporización de un líquido.⁵⁶ El objetivo de realizar a los combustibles la prueba de Presión de Vapor de Reid es proporcionar un medio para determinar si un hidrocarburo líquido almacenado en un tanque atmosférico, vaporizará o no cuando su temperatura se eleve a 37,8°C, que es una temperatura seleccionada que puede alcanzar el tanque de almacenamiento en los meses de verano.

Aunque ésta no sea una medida exacta de la volatilidad, mide la tendencia que presenta el combustible a pasar a fase vapor. Para determinarla se mide la presión de vapor formado en el calentamiento de una muestra de un combustible líquido a 37.8°C (ASTM-D323). Esta prueba se emplea para saber qué ocurrirá en el almacenamiento de los productos en la refinería. Este ensayo no es una medida de la presión de vapor real, porque el aire que contiene la cámara va a estar en contacto con los vapores que se producen en el ensayo. Pero es una medida indirecta de elementos ligeros o muy volátiles que contiene el combustible a ensayar.

⁵⁶ Reglamento Técnico Centroamericano, Guatemala, Diciembre 2005.

Tabla 4.2 Valores de PVR para mezclas de etanol con gasolina extra y súper⁵⁷

	%Gasolina	% Etanol	PVR (kPa)
Extra	99	1	46,66
	95	5	51,48
	90	10	52,4
Súper	99	1	50,79
	95	5	58,15
	90	10	60,22

4.2 ETANOL

Es un alcohol (etanol C_2H_5OH) que es producido de la caña de azúcar, maíz, trigo, etc. En mezclas con gasolina, aumenta el número de octanos, mejorando la combustión y además reduce las emisiones contaminantes como el monóxido de carbono e hidrocarburos. Las dos mezclas más comunes son E10 y E85 que contienen etanol al 10% y al 85% respectivamente. Si esta sustancia procede de plantas, entonces al ser quemada devuelve a la atmósfera el dióxido de carbono que la planta tomó del aire tiempo atrás. Por tanto, desde el punto de vista ecológico es un sistema que respeta el medio ambiente, ya que hay un aumento neto de gases de efecto invernadero, pero hay que considerar la energía utilizada para su producción y solo así tener un balance final.

4.2.1 ANTECEDENTES

La búsqueda de nuevos combustibles, de origen biológico y renovable, biodegradables, capaces de aumentar el rendimiento de los motores de automóviles, y la necesidad de disminuir la emanación de los gases invernadero han contribuido a usar al etanol anhidro como combustible o también como aditivo para gasolinas comerciales. Brasil y EE.UU. tienen experiencias reconocidas de éxito, gracias a políticas gubernamentales que legislan a favor de una combustión limpia, fomentando el consumo del etanol anhidro en particular y priorizando las nuevas tecnologías para su elaboración. En ambos países, la producción de etanol anhidro es creciente, aunque aún no satisface a la totalidad de su parque automotor.

⁵⁷ ÁLVAREZ Ana. Estudio de la influencia de la adición de etanol en las gasolinas ecuatorianas y su cuantificación por espectrofotometría de infrarrojo de transformadas de Fourier. Quito. EPN 2006.

Mucho se viene hablando últimamente a nivel mundial y local acerca de la posibilidad que tiene el sector del transporte de incursionar en el uso de energías alternativas; es así que se ha promovido el uso de etanol como alcohol carburante en motores de combustión interna. Los antecedentes del empleo de este combustible datan del desarrollo de las primeras máquinas de combustión interna; tomando mayor importancia en la década de los 70's, debido al aumento súbito de los precios del petróleo que se produjo en esa época. Actualmente, las fluctuaciones al alza del precio del barril de petróleo ha impulsado el desarrollo de las fuentes de energías alternativas. Una solución real que se ha dado de a poco en países desarrollados ha sido el uso de etanol mezclado con gasolina en diversas proporciones. Pero la principal ventaja del uso de biocombustibles en los vehículos a motor viene a ser el uso de recursos renovables para la obtención de combustibles. El etanol comparado con los combustibles tradicionales produce menos emisiones contaminantes de gases del efecto invernadero; con un balance global positivo ya que las emisiones de CO₂ se compensan al ser absorbidas durante el proceso de regeneración de la materia vegetal que sirve de base para la producción de etanol, además que al obtenerse de productos agrícolas, no contienen azufre y por lo tanto no forman el SO₂, uno de los principales causantes de la lluvia ácida, ofreciendo ventajas medioambientales en comparación con los combustibles convencionales. El etanol o alcohol etílico (C₂H₅OH) es el más común de los alcoholes y se caracteriza por ser un compuesto líquido, incoloro volátil, inflamable y soluble en agua. A pesar de que el etanol se ha utilizado mayoritariamente como base en la producción de bebidas alcohólicas, a partir de la caña de azúcar, tiene además una serie de aplicaciones en la industria química, farmacéutica, y más recientemente como combustible para automóviles. El etanol es producido por la fermentación de granos tales como: trigo, cebada, maíz, madera y caña de azúcar, o por residuos forestales, en nuestro país, su extracción se la realiza de la caña de azúcar.⁵⁸

⁵⁸ ÁLVAREZ Ana. Estudio de la influencia de la adición de etanol en las gasolinas ecuatorianas y su cuantificación por espectrofotometría de infrarrojo de transformadas de Fourier. Quito. EPN 2006.

La figura 4.1 describe el proceso de obtención del etanol a partir de la caña de azúcar.

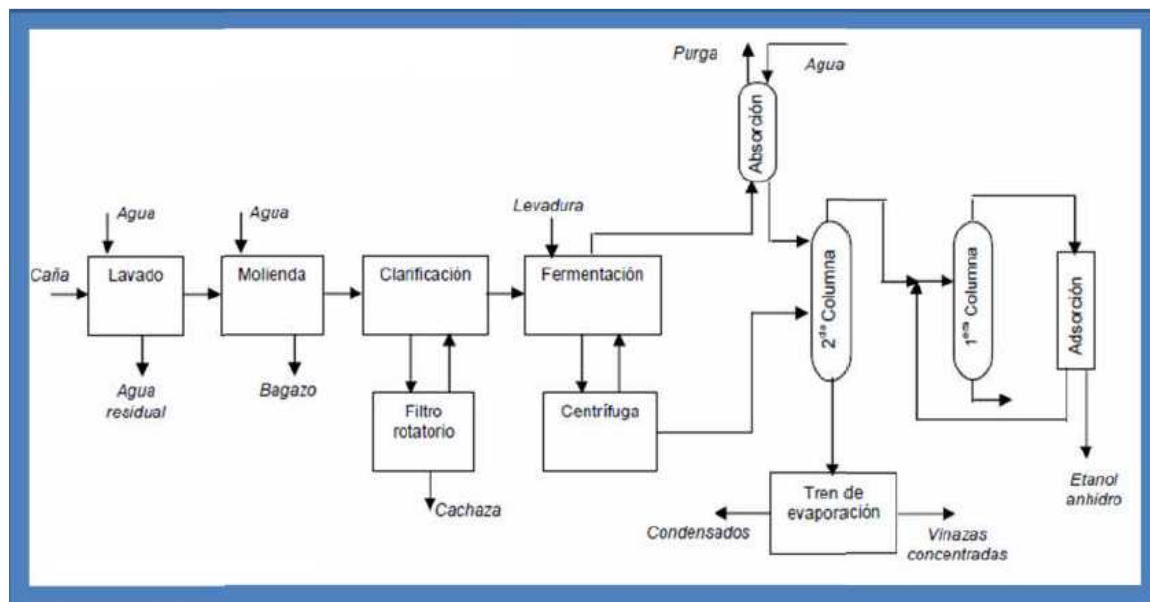


Figura 4.1 Obtención del alcohol anhidro⁵⁸

4.2.2 PROPIEDADES DEL ETANOL

4.2.2.1 Propiedades físicas

Las principales propiedades físicas del etanol se resumen en la tabla 4.3. La tabla 4.4 muestra una comparación entre las propiedades del etanol y otros combustibles.

Tabla 4.3 Propiedades físicas del etanol.⁵⁹

Propiedades físicas del alcohol anhidro			
Estado físico; aspecto	Líquido incoloro, de olor característico en condiciones ambientales.		
Punto de ebullición	79°C	Densidad de la mezcla vapor/aire a 20°C (aire=1)	1,03
Punto de fusión	-117°C	Punto de inflamación	13°C cc
Densidad relativa (agua =1)	0,8	Temperatura de autoignición	363°C
Solubilidad en agua	miscible	Límites de explosividad, % en volumen en el aire	3,3-19
Presión de vapor, kPa a 20°C	5,8	Coefficiente de reparto octano/agua como log Pow	-0,32
Densidad relativa de vapor (aire=1)	1,6		

⁵⁸ Revista Scientia et Technica de la Universidad Tecnológica de Pereira.

⁵⁹ <http://www.quimica.unam.mx/IMG/pdf/12etanol.pdf>

Tabla 4.4 Propiedades del etanol y otros combustibles.⁶⁰

Propiedades	Gasolina sin plomo	Diesel	Metanol	Etanol
Composición	Mezcla de hidrocarburos (principalmente C4 – C10)	Mezcla de hidrocarburos (principalmente C12 – C20)	CH3OH	C2H5OH
Rango de ebullición (°C @ 1 atm)	26,6 a 215,5	160 a 382,2	65	78,13
Densidad (kg/m)(kg/l)	688,7 a 784,8 0,695 a 0,778	784,8 a 880,9 0,778 a 0,87	788,01 0,79	788,01 0,79
Contenido de energía MJ/kg MJ/l	43,49-44,42 31,22-33,72	43,96 34,28-35,68	20,0 15,76	26,74 21,09
Temperatura de autoignición (°C)	232,2 a 482,2	204,4 a 260	470	423,8
Punto de inflamabilidad ((°C)	42,77	51,66 (min)	11,11	21,11
Rango de N° de octano (R+M)/2	87 a 93	N/A	99	100
Límites de inflamabilidad (% de vol. en aire)	Bajo= 1,4 Alto=7,6	N/A	99	100
Contenido de azufre (% peso)	0,02 a 0,045	0,2 a 0,25	Ninguno	Ninguno
Velocidad de la flama (m/s)	0,3962	0,3962	0,3962	0,3962

4.2.2.2 PROPIEDADES MICROBIOLÓGICAS

Entre sus propiedades es un antiséptico de alto poder.

4.2.2.3 PROPIEDADES NUTRICIONALES

Por su grado de pureza este producto no está acondicionado para consumo humano.

4.2.2.4 PROPIEDADES SENSORIALES

El etanol anhidro es un líquido incoloro, inflamable, volátil, con un olor característico y sabor picante.

4.2.2.5 CICLO DE VIDA DEL ETANOL⁶¹

La evaluación medioambiental del ciclo de vida del etanol que se realiza a continuación es una evaluación de los aspectos medioambientales a lo largo de todas las etapas de su ciclo de vida.

⁶⁰ http://www.t3quimica.com/pdfs/49i_etanol.pdf

⁶¹ gruopoelectropositivos.blogspot.com/2009/09/el-bioetanol.html

El ciclo de vida inicia con la extracción de la materia prima, continúa con su fabricación, transporte y uso, y termina con la gestión de recursos incluyendo el reciclado y la eliminación final. En todas las etapas del ciclo de vida se producen emisiones, residuos y se consumen recursos. La tabla 4.5 indica el balance del ciclo de vida del etanol en sus etapas de producción y utilización.

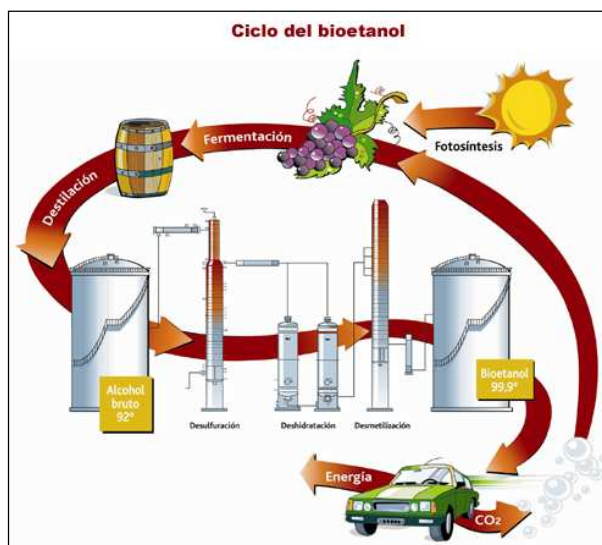


Figura 4.2 Ciclo de vida del etanol.⁶²

Tabla 4.5 Balance del Ciclo de vida del etanol⁶²

ETAPA	FORMA DE CONSUMO	BALANCE
Extracción de la materia prima	Energía consumida en labores agrícolas y cosecha	Negativo
Procesado	Combustión de combustibles fósiles, emisión de N ₂ O	Negativo
Transporte	Combustión de combustibles fósiles	Negativo
Uso	Posible sustitución de gasolina por etanol (mezcla)	Positivo
Eliminación del residuo final	Quema de la caña	Negativo

⁶² Estudio comparativo del uso de biocombustible y gasolina en motores de ciclo Otto. CHALÁ Franklin, ÑACATO Andrés

4.3 PRECAUCIONES CON RELACIÓN AL USO DEL ETANOL

4.3.1 PELIGROS FÍSICOS:

El vapor se mezcla bien con el aire, formándose fácilmente mezclas explosivas.

4.3.2 PELIGROS QUÍMICOS:

Reacciona lentamente con hipoclorito cálcico, óxido de plata y amoníaco originando peligro de incendio y explosión. Reacciona violentamente con oxidantes fuertes tales como ácido nítrico, nitrato de plata, nitrato de mercurio o perclorato magnésico, originando peligro de incendio y explosión.

4.3.3 VÍAS DE EXPOSICIÓN:

La sustancia se puede absorber por inhalación del vapor y por ingestión. Por evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar bastante lentamente una concentración nociva en el aire. Los efectos debidos a la exposición al alcohol dependen del tiempo en que ésta tiene lugar.

4.3.3.1 Efectos de exposición de corta duración:

La sustancia irrita los ojos. La inhalación de altas concentraciones del vapor puede originar irritación de los ojos y del tracto respiratorio. La sustancia puede afectar al sistema nervioso central.

4.3.3.2 Efectos de exposición prolongada o repetida:

El líquido desengrasa la piel. La sustancia puede afectar al tracto respiratorio superior y al sistema nervioso central, dando lugar a irritación, dolor de cabeza, fatiga y falta de concentración.

4.4 REACCIONES CON ETANOL ANHIDRO

Es miscible con: agua, metanol, dietil éter, acetona, cloroformo, benceno y disolventes orgánicos. Presenta reacciones químicas: con sodio, formando hidrógeno y etóxido sódico. Reacción similar pero más violenta con potasio. Reacción explosiva con concentraciones de ácido nítrico conteniendo tetraóxido de nitrógeno y en

especial, agentes oxidantes. En general, es incompatible con ácidos, cloruros de ácido, agentes oxidantes y reductores y metales alcalinos.

4.5 APLICACIONES

4.5.1 APLICACIONES GENERALES:

Se ha utilizado mayoritariamente como base en la producción de bebidas alcohólicas, tales como cervezas, vinos, licores, etc.

4.5.2 APLICACIONES EN LA INDUSTRIA QUÍMICA:

Como compuesto de partida en la síntesis de diversos productos, como el acetato de etilo, el éter dietílico, etc.-, y como excipiente de cosméticos ambientadores y perfumes.

4.5.3 APLICACIONES EN LA INDUSTRIA FARMACÉUTICA:

Como excipiente de algunos medicamentos como el alcohol antiséptico. Es un buen disolvente y desinfectante, y puede utilizarse como anticongelante.

4.5.4 APLICACIONES COMO COMBUSTIBLE:

El etanol es un alcohol combustible con potencial de llegar a ser ampliamente usado como combustible de automóvil, que según estudios realizados en Estados Unidos reducen la producción de gases de efecto invernadero en un 85%.

4.6 DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN DE COMBUSTIBLES CON ETANOL A NIVEL MUNDIAL

A nivel mundial, los principales productores de etanol son Brasil, EEUU y Canadá. En el año 1975, la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos recibió muchas preguntas y sugerencias acerca de la idea de utilizar alcoholes como combustible para motores. Además en Brasil como respuesta a los fuertes aumentos del precio del petróleo se inició el programa ProAlcohol, con el objetivo de utilizar el etanol

como combustible sustituto de la gasolina y aumentar su producción para uso industrial.

En la producción de etanol Brasil tuvo el primer lugar en 2004, al destilar 15 mil millones de litros. Estados Unidos apenas produjo 3.5 mil millones de galones; la India 500 millones de galones (producidos a partir de caña de azúcar), actualmente ya cuenta con la tecnología y el equipamiento capaz de mantener una producción anual de 16.000 millones de litros y exporta tecnología, equipamientos y servicios. Francia cerca de 200 millones de galones (de las remolachas y del trigo). La figura 4.3 muestra una comparación de la producción de etanol en diferentes países productores.

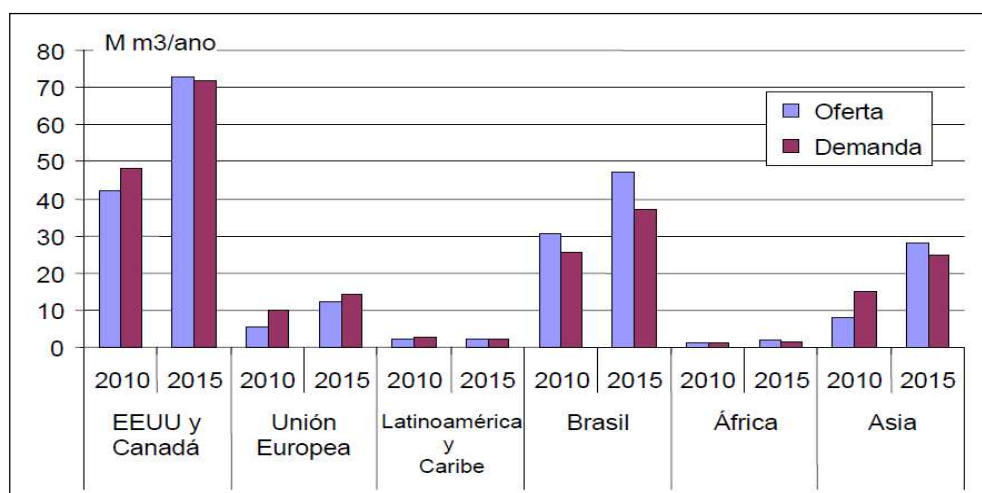


Figura 4.3 Oferta y demanda de bioetanol para el 2015

Brasil es el líder mundial en el uso de etanol; casi la mitad de sus autos operan con alcohol puro. En respuesta a la crisis de 1970 el gobierno brasileño, en cooperación con la industria privada, implantó un programa nacional para producir alcohol de la caña de azúcar y producir etanol que fuera compatible con sus motores. Hoy en día muchos países alrededor del mundo, están realizando pruebas con combustibles a base de alcohol como oxigenantes o mezclas (casi 100%). En los Estados Unidos, el etanol representa cerca del 12% del total del mercado de las gasolinas.⁶³

⁶³<http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/466/1/images/vehiculoetanol.pdf>

4.7 SITUACIÓN DE COMBUSTIBLES CON ETANOL EN EL ECUADOR

En lo que respecta al Ecuador, el uso de biocombustibles ha empezado con el proyecto desarrollado en la ciudad de Guayaquil, denominado “Plan piloto de formulación y uso de gasolina extra con etanol anhidro en la ciudad de Guayaquil”, cuyo objetivo es incentivar la producción y uso de biocarburantes producto de la formulación de naftas de petróleo de producción nacional con Etanol Anhidro de producción también nacional, para alcanzar los beneficios económicos y ambientales derivados del uso de biocombustibles.

El Consejo Consultivo de Biocombustibles de la Presidencia de la República, en respuesta al interés manifiesto de varios sectores sociales, productivos y autoridades de la ciudad de Guayaquil y Provincia del Guayas, resolvió en diciembre del 2005 aprobar la realización del Plan Piloto de Formulación y Uso de Gasolina con Etanol en la ciudad de Guayaquil, y delegó a la Comisión Técnica Permanente Interinstitucional la responsabilidad de definir los aspectos técnicos, económicos y ambientales que permitan la implementación de este proyecto.

El proyecto elaborado por el Comité Técnico Interinstitucional del Consejo Consultivo de Biocombustibles está diseñado para facilitar la preparación de 5000 barriles/día de una mezcla de gasolina Extra con 5% de Etanol Anhidro en el Terminal Pascuales, y ser comercializada en el área urbana de la ciudad de Guayaquil. La duración de la Fase Piloto está considerada entre tres meses y un año. Posteriormente, y en función de los resultados y el incremento de la producción y oferta de Etanol, el programa sería aplicado a nivel más amplio, hasta abarcar el contexto geográfico nacional. El consumo para el año 2008 de gasolina extra en el área urbana de la ciudad de Guayaquil es de 5000 barriles/día, el mismo que se pretende cumplir con la mezcla de gasolina extra con etanol durante la Fase Piloto en la ciudad de Guayaquil. El beneficio de la implementación del Plan Piloto consiste en disminuir un volumen de 995 barriles/día de Nafta de Alto Octanaje importada en la preparación de 5000 barriles/día de gasolina Extra en el Terminal Pascuales, lo que equivale a utilizar en la preparación de la gasolina Extra que se realiza en dicho

Terminal no más allá de 1,950 barriles/día de Nafta de Alto Octano de importación. El beneficio económico neto anual estimado de la aplicación del Plan Piloto es de USD 3'170,484 para el año 2008. Esta estimación no considera los beneficios ambientales y/o sociales.

4.8 COMBUSTIÓN

La reacción de combustión se basa en la reacción química exotérmica de una sustancia o mezcla de (combustible con el oxígeno). Es característica de esta reacción la formación de una llama. La reacción de combustión puede llevarse a cabo directamente con el oxígeno o bien con una mezcla de sustancias que contengan oxígeno (comburente), siendo el aire atmosférico el comburente más habitual, es importante destacar que el combustible solo reacciona con el oxígeno y no con el nitrógeno por lo tanto el nitrógeno del aire pasará íntegramente a los productos de combustión sin reaccionar.

La reacción del combustible con el oxígeno origina sustancias gaseosas, las más comunes de éstas son CO_2 y H_2O . Entre las sustancias más comunes que se pueden encontrar en los productos de la reacción se encuentran: CO_2 , H_2O como vapor de agua, N_2 , O_2 , CO , H_2 , SO_2 .

En la reacción de un combustible con el oxígeno del aire, en condiciones ideales se produciría CO_2 , H_2O y N_2 . En condiciones reales, a parte de los productos obtenidos de la combustión ideal se obtendrán CO , O_2 , Hidrocarburos no combustionados, SO_x y NO_x . Estos tipos de combustión se analizaron en el capítulo 1.

4.9 COMBUSTIÓN MÉTODO SIMPLIFICADO

Para la obtención de los factores de emisión es necesario aplicar un modelo de ecuación de combustión y solucionarlo de forma algebraica, incluyendo en éste al alcohol anhidro. La tabla 4.6 muestra los equivalentes en peso y moleculares para gasolina (C_8H_{18}).

Tabla 4.6 Equivalente molecular para combustible 84.21% de C y 15.79% de H

Componente	g por 100 g combustible	Peso Molecular	gmol por 100 g comb.	gmol por gmol C
Carbono	84.21	12	7.0175	1.00
Hidrógeno	15.79	1	15.79	2.25

Para llevar a cabo esta solución es necesario realizar las siguientes consideraciones:

- El consumo completo del combustible.
- El nitrógeno se considera como masa inerte pero a altas temperaturas puede formar óxido de nitrógeno.
- El carbono liberado desde el combustible es emitido ya sea como CO₂, CO, o como un hidrocarburo no quemado equivalente a propeno (C₃H₆),
- La relación de hidrógeno a carbono en el combustible se especifica en base a composiciones típicas de combustible
- Sólo el oxígeno suficiente se consume para convertir el combustible en CO₂, CO, HC, y vapor de agua. Por simplicidad, estos cálculos se basan en la combustión de cantidades estequiométricas de aire. La hipótesis sobre la relación de aire-combustible no afectan a las proporciones de CO a CO₂ y HC al CO₂.⁶⁴

En forma general, se establece la fórmula equivalente molecular CH_y :

$$y = \left(\frac{\% \text{ peso H}}{\% \text{ peso C}} \right) \left(\frac{MW_C}{MW_H} \right) \quad (4.2)$$

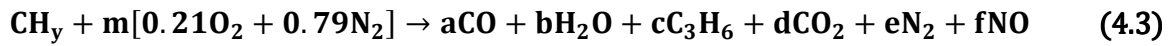
Dónde:

MW_C = peso molecular del carbono

MW_H = peso molecular del hidrógeno

⁶⁴ FREY H., EICHENBERGER D. Remote Sensing of Mobile Source Air Pollutant Emissions, North Carolina State University, June 1997.

Se consideran como productos de combustión: CO, H₂O, C₃H₆, CO₂, N₂ y NO. El balance para la combustión sin considerar el exceso de oxígeno, está dado por:



Donde las variables a, b, c, d, e, f y m son los coeficientes estequiométricos desconocidos.

Las ecuaciones del balance de número de átomos, se pueden escribir para cada elemento como se muestra en la tabla 4.7:

Tabla 4.7 Balance de número de átomos de la ecuación de combustión.

Elemento	Reactantes	=	Productos
Carbono (C)	1	=	a+3c+d
Hidrógeno (H)	y	=	2b+6c
Oxígeno (O)	0.42m	=	a+b+2d+f
Nitrógeno (N)	1.58m	=	2e+f

Mediante el análisis de gases para la prueba estacionaria y en ruta, se determinan las concentraciones volumétricas de los mismos, considerándose éstas como concentraciones molares y los gases ideales.

Se pueden introducir las siguientes ecuaciones:

$$R_{\text{CO}} = \left(\frac{\% \text{CO}}{\% \text{CO}_2} \right) = \frac{a}{d} \quad (4.4)$$

$$R_{\text{HC}} = \left(\frac{\% \text{HC}}{\% \text{CO}_2} \right) = \frac{c}{d} \quad (4.5)$$

$$R_{\text{NO}} = \left(\frac{\% \text{NO}}{\% \text{CO}_2} \right) = \frac{f}{d} \quad (4.6)$$

Donde: R_{CO}, R_{HC} y R_{NO} son las razones de %CO a %CO₂, %HC a %CO₂ y %NO a %CO₂, respectivamente.

De estas ecuaciones se obtiene que:

$$a = R_{CO}d \quad (4.7)$$

$$c = R_{HC}d \quad (4.8)$$

Reemplazando éstas relaciones en la ecuación $1=a+3c+d$, se obtiene:

$$d = \frac{1}{R_{CO}+3R_{HC}+1} \quad (4.9)$$

Los factores de emisión en gramos de contaminante por kilogramo de combustible esta dado por:

$$F_{CO} = \frac{aMW_{CO}}{MW_{comb}} \quad (4.10)$$

$$F_{HC} = \frac{cMW_{HC}}{MW_{comb}} \quad (4.11)$$

$$F_{NO} = \frac{fMW_{NO}}{MW_{comb}} \quad (4.12)$$

Para el C_8H_{18} , el equivalente es $CH_{2.25}$, y se tiene:

$$F_{CO} = \frac{R_{CO}}{R_{CO}+3R_{HC}+1} * \frac{MW_{CO}}{MW_{comb}} \quad (4.13)$$

$$F_{HC} = \frac{R_{HC}}{R_{CO}+3R_{HC}+1} * \frac{MW_{HC}}{MW_{comb}} \quad (4.14)$$

$$F_{NO} = \frac{R_{NO}}{R_{CO}+3R_{HC}+1} * \frac{MW_{NO}}{MW_{comb}} \quad (4.15)$$

El peso molecular del combustible (gasolina extra):

$$\begin{aligned} MW_{comb} &= \frac{12g C}{mol C} * \left(\frac{1mol C}{mol comb} \right) + \frac{1g H}{mol H} * \left(\frac{2.25mol H}{mol comb} \right) = 14.25 \frac{g comb}{mol comb} \\ &= 0.01425 \frac{kg comb}{mol comb} \end{aligned}$$

Si la densidad de combustible es ρ_{comb} (kg/m^3) y el consumo de combustible en una distancia recorrida es CC (m^3/km), entonces se obtienen los factores de emisión en gramos de contaminante por kilómetro recorrido, así:

$$F_{CO} = F_{CO} * \rho_{comb} * CC \quad (4.16)$$

$$\frac{\text{g CO}}{\text{km}} = \frac{28 \frac{\%CO}{\%CO_2}}{\frac{\%CO}{\%CO_2} + \left(3 \frac{\%HC}{\%CO_2}\right) + 1} * \frac{\rho_{comb} * CC}{0.01425} \quad (4.17)$$

De igual forma para los otros contaminantes:

$$\frac{\text{g HC}}{\text{km}} = \frac{42 \frac{\%HC}{\%CO_2}}{\frac{\%CO}{\%CO_2} + \left(3 \frac{\%HC}{\%CO_2}\right) + 1} * \frac{\rho_{comb} * CC}{0.01425} \quad (4.18)$$

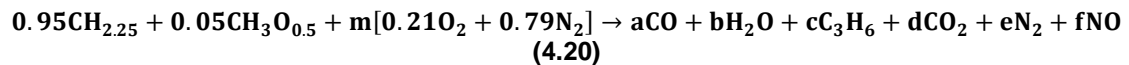
$$\frac{\text{g NO}}{\text{km}} = \frac{30 \frac{\%NO}{\%CO_2}}{\frac{\%CO}{\%CO_2} + \left(3 \frac{\%HC}{\%CO_2}\right) + 1} * \frac{\rho_{comb} * CC}{0.01425} \quad (4.19)$$

En la tabla 4.8, se muestra el equivalente molecular para un combustible que contiene 84,21% en peso de carbono y 15,79% en peso de hidrógeno (C_8H_{18}), así como el alcohol anhidro que contiene 52,13% en peso de carbono, 13,05% en peso de hidrógeno y 34,78% en peso de oxígeno.

Tabla 4.8 Equivalente molecular para combustible 84% de C y 16% de H

Combustible	Componente	g por 100 g combustible	Peso Molecular	gmol por 100 g comb.	gmol por gmol C
Gasolina	Carbono	84.21	12	7.0175	1.00
	Hidrógeno	15.79	1	15.79	2.25
Alcohol Anhidro	Carbono	52.13	12	4.3475	1.00
	Hidrógeno	13.05	1	13.05	3.00
	Oxígeno	34.78	16	2.17375	0.5

Se consideran como productos de combustión: CO, H₂O, C₃H₆, CO₂, N₂ y NO. El balance para la combustión sin considerar el exceso de oxígeno, está dado por:



Donde las variables a, b, c, d, e, f y m son los coeficientes estequiométricos desconocidos.

Las ecuaciones del balance de número de átomos para estos porcentajes y los posteriores son los mismos que los mostrados en la tabla 4.5.

Mediante el análisis de gases para la prueba en ruta, se determinan las concentraciones volumétricas de los mismos, considerándose éstas como concentraciones molares y los gases ideales.

Se pueden introducir las siguientes ecuaciones:

$$R_{\text{CO}} = \left(\frac{\% \text{CO}}{\% \text{CO}_2} \right) = \frac{a}{d} \quad (4.21)$$

$$R_{\text{HC}} = \left(\frac{\% \text{HC}}{\% \text{CO}_2} \right) = \frac{c}{d} \quad (4.22)$$

$$R_{\text{NO}} = \left(\frac{\% \text{NO}}{\% \text{CO}_2} \right) = \frac{f}{d} \quad (4.23)$$

Donde: R_{CO}, R_{HC} y R_{NO} son las razones de %CO a %CO₂, %HC a %CO₂ y %NO a %CO₂, respectivamente.

De estas ecuaciones se obtiene que:

$$a = R_{\text{CO}}d \quad (4.24)$$

$$c = R_{\text{HC}}d \quad (4.25)$$

Remplazando éstas relaciones en la ecuación 1=a+3c+d se obtiene:

$$d = \frac{1}{R_{\text{CO}}+3R_{\text{HC}}+1} \quad (4.26)$$

Los factores de emisión en gramos de contaminante por kilogramo de combustible está dado por:

$$F_{CO} = \frac{aMW_{CO}}{MW_{comb}} \quad (4.27)$$

$$F_{HC} = \frac{cMW_{HC}}{MW_{comb}} \quad (4.28)$$

$$F_{NO} = \frac{fMW_{NO}}{MW_{comb}} \quad (4.29)$$

Para el C_8H_{18} , el equivalente es $CH_{2.25}$, y se tiene:

$$F_{CO} = \frac{R_{CO}}{R_{CO}+3R_{HC}+1} * \frac{MW_{CO}}{MW_{comb}} \quad (4.30)$$

$$F_{HC} = \frac{R_{HC}}{R_{CO}+3R_{HC}+1} * \frac{MW_{HC}}{MW_{comb}} \quad (4.31)$$

$$F_{NO} = \frac{R_{NO}}{R_{CO}+3R_{HC}+1} * \frac{MW_{NO}}{MW_{comb}} \quad (4.32)$$

El peso molecular del combustible:

$$\begin{aligned} MW_{comb} &= 0.95 \left[\frac{12g C}{mol C} * \left(\frac{1mol C}{mol comb} \right) + \frac{1g H}{mol H} * \left(\frac{2.25mol H}{mol comb} \right) \right] \\ &+ 0.05 \left[\frac{12g C}{mol C} * \left(\frac{1mol C}{mol comb} \right) + \frac{1g H}{mol H} * \left(\frac{3mol H}{mol comb} \right) + \frac{16g H}{mol H} \right. \\ &\left. * \left(\frac{0.5mol H}{mol comb} \right) \right] = 14.6875 \frac{g comb}{mol comb} \\ &= 0.0146875 \frac{kg comb}{mol comb} \end{aligned}$$

Si la densidad de combustible es ρ_{comb} (kg/m^3) y el consumo de combustible en una distancia recorrida es CC (m^3/km), entonces se obtienen los factores de emisión en gramos de contaminante por kilómetro recorrido, así:

$$F_{CO}^{\square} = F_{CO} * \rho_{comb} * CC \quad (4.33)$$

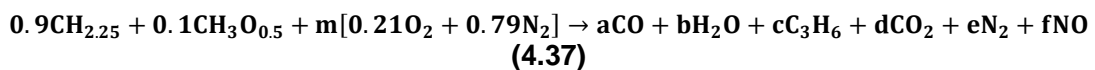
$$\frac{\text{g CO}}{\text{km}} = \frac{28 \frac{\% \text{CO}}{\% \text{CO}_2}}{\frac{\% \text{CO}}{\% \text{CO}_2} + \left(3 \frac{\% \text{HC}}{\% \text{CO}_2}\right) + 1} * \frac{\rho_{\text{comb}} * \text{CC}}{0.0146875} \quad (4.34)$$

De igual forma para los otros contaminantes:

$$\frac{\text{g HC}}{\text{km}} = \frac{42 \frac{\% \text{HC}}{\% \text{CO}_2}}{\frac{\% \text{CO}}{\% \text{CO}_2} + \left(3 \frac{\% \text{HC}}{\% \text{CO}_2}\right) + 1} * \frac{\rho_{\text{comb}} * \text{CC}}{0.0146875} \quad (4.35)$$

$$\frac{\text{g NO}}{\text{km}} = \frac{30 \frac{\% \text{NO}}{\% \text{CO}_2}}{\frac{\% \text{CO}}{\% \text{CO}_2} + \left(3 \frac{\% \text{HC}}{\% \text{CO}_2}\right) + 1} * \frac{\rho_{\text{comb}} * \text{CC}}{0.0146875} \quad (4.36)$$

Este procedimiento se repite para el cálculo de todos los porcentajes de mezcla realizados. Así, para 10% de alcohol y 90% de gasolina



Los reactantes son los mismos por lo que solo varía la masa y la densidad de la mezcla.

$$\begin{aligned} \text{MW}_{\text{comb}} &= 0.9 \left[\frac{12\text{g C}}{\text{mol C}} * \left(\frac{1\text{mol C}}{\text{mol comb}} \right) + \frac{1\text{g H}}{\text{mol H}} * \left(\frac{2.25\text{mol H}}{\text{mol comb}} \right) \right] \\ &+ 0.1 \left[\frac{12\text{g C}}{\text{mol C}} * \left(\frac{1\text{mol C}}{\text{mol comb}} \right) + \frac{1\text{g H}}{\text{mol H}} * \left(\frac{3\text{mol H}}{\text{mol comb}} \right) + \frac{16\text{g H}}{\text{mol H}} * \left(\frac{0.5\text{mol H}}{\text{mol comb}} \right) \right] \\ &= 15.125 \frac{\text{g comb}}{\text{mol comb}} \\ &= 0.015125 \frac{\text{kg comb}}{\text{mol comb}} \end{aligned}$$

Y el resultado de los factores de concentración es:

$$\frac{\text{g CO}}{\text{km}} = \frac{28 \frac{\% \text{CO}}{\% \text{CO}_2}}{\frac{\% \text{CO}}{\% \text{CO}_2} + \left(3 \frac{\% \text{HC}}{\% \text{CO}_2}\right) + 1} * \frac{\rho_{\text{comb}} * \text{CC}}{0.015125} \quad (4.38)$$

De igual forma para los otros contaminantes:

$$\frac{\text{g HC}}{\text{km}} = \frac{42 \frac{\% \text{HC}}{\% \text{CO}_2}}{\frac{\% \text{CO}}{\% \text{CO}_2} + \left(3 \frac{\% \text{HC}}{\% \text{CO}_2}\right) + 1} * \frac{\rho_{\text{comb}} * \text{CC}}{0.015125} \quad (4.39)$$

$$\frac{\text{g NO}}{\text{km}} = \frac{30 \frac{\% \text{NO}}{\% \text{CO}_2}}{\frac{\% \text{CO}}{\% \text{CO}_2} + \left(3 \frac{\% \text{HC}}{\% \text{CO}_2}\right) + 1} * \frac{\rho_{\text{comb}} * \text{CC}}{0.015125} \quad (4.40)$$

De igual manera se realiza la fórmula para 15% de alcohol y 85% de gasolina



Los reactantes son los mismos por lo que solo varía la masa y la densidad de la mezcla.

$$\begin{aligned} \text{MW}_{\text{comb}} &= 0.85 \left[\frac{12\text{g C}}{1\text{mol C}} * \left(\frac{1\text{mol C}}{\text{mol comb}} \right) + \frac{1\text{g H}}{\text{mol H}} * \left(\frac{2.25\text{mol H}}{\text{mol comb}} \right) \right] \\ &+ 0.15 \left[\frac{12\text{g C}}{1\text{mol C}} * \left(\frac{1\text{mol C}}{\text{mol comb}} \right) + \frac{1\text{g H}}{\text{mol H}} * \left(\frac{3\text{mol H}}{\text{mol comb}} \right) + \frac{16\text{g H}}{\text{mol H}} \right. \\ &\left. * \left(\frac{0.5\text{mol H}}{\text{mol comb}} \right) \right] = 15.5625 \frac{\text{g comb}}{\text{mol comb}} \\ &= 0.0155625 \frac{\text{kg comb}}{\text{mol comb}} \end{aligned}$$

Y el resultado de los factores de concentración es:

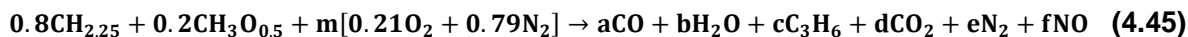
$$\frac{\text{g CO}}{\text{km}} = \frac{28 \frac{\% \text{CO}}{\% \text{CO}_2}}{\frac{\% \text{CO}}{\% \text{CO}_2} + \left(3 \frac{\% \text{HC}}{\% \text{CO}_2}\right) + 1} * \frac{\rho_{\text{comb}} * \text{CC}}{0.0155625} \quad (4.42)$$

De igual forma para los otros contaminantes:

$$\frac{\text{g HC}}{\text{km}} = \frac{42 \frac{\% \text{HC}}{\% \text{CO}_2}}{\frac{\% \text{CO}}{\% \text{CO}_2} + \left(3 \frac{\% \text{HC}}{\% \text{CO}_2}\right) + 1} * \frac{\rho_{\text{comb}} * \text{CC}}{0.0155625} \quad (4.43)$$

$$\frac{\text{g NO}}{\text{km}} = \frac{30 \frac{\% \text{NO}}{\% \text{CO}_2}}{\frac{\% \text{CO}}{\% \text{CO}_2} + \left(3 \frac{\% \text{HC}}{\% \text{CO}_2}\right) + 1} * \frac{\rho_{\text{comb}} * \text{CC}}{0.0155625} \quad (4.44)$$

Y finalmente, para 20% de alcohol y 80% de gasolina



Los reactantes son los mismos por lo que solo varía la masa y la densidad de la mezcla.

$$\begin{aligned} \text{MW}_{\text{comb}} &= 0.8 \left[\frac{12\text{g C}}{\text{mol C}} * \left(\frac{1\text{mol C}}{\text{mol comb}} \right) + \frac{1\text{g H}}{\text{mol H}} * \left(\frac{2.25\text{mol H}}{\text{mol comb}} \right) \right] \\ &+ 0.2 \left[\frac{12\text{g C}}{\text{mol C}} * \left(\frac{1\text{mol C}}{\text{mol comb}} \right) + \frac{1\text{g H}}{\text{mol H}} * \left(\frac{3\text{mol H}}{\text{mol comb}} \right) + \frac{16\text{g H}}{\text{mol H}} * \left(\frac{0.5\text{mol H}}{\text{mol comb}} \right) \right] \\ &= 16 \frac{\text{g comb}}{\text{mol comb}} \\ &= 0.016 \frac{\text{kg comb}}{\text{mol comb}} \end{aligned}$$

Y el resultado de los factores de concentración es:

$$\frac{\text{g CO}}{\text{km}} = \frac{28 \frac{\% \text{CO}}{\% \text{CO}_2}}{\frac{\% \text{CO}}{\% \text{CO}_2} + \left(3 \frac{\% \text{HC}}{\% \text{CO}_2} \right) + 1} * \frac{\rho_{\text{comb}} * \text{cc}}{0.016} \quad (4.46)$$

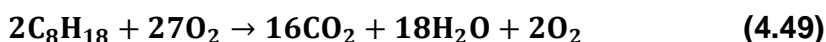
De igual forma para los otros contaminantes:

$$\frac{\text{g HC}}{\text{km}} = \frac{42 \frac{\% \text{HC}}{\% \text{CO}_2}}{\frac{\% \text{CO}}{\% \text{CO}_2} + \left(3 \frac{\% \text{HC}}{\% \text{CO}_2} \right) + 1} * \frac{\rho_{\text{comb}} * \text{cc}}{0.016} \quad (4.47)$$

$$\frac{\text{g NO}}{\text{km}} = \frac{30 \frac{\% \text{NO}}{\% \text{CO}_2}}{\frac{\% \text{CO}}{\% \text{CO}_2} + \left(3 \frac{\% \text{HC}}{\% \text{CO}_2} \right) + 1} * \frac{\rho_{\text{comb}} * \text{cc}}{0.016} \quad (4.48)$$

Para las emisiones de CO₂, uno de los principales gases contaminantes que emite un vehículo luego de la combustión, se tiene las siguientes fórmulas para determinar los factores de emisión:

- Según la relación estequiométrica, asumiendo que la combustión es completa:



Para gasolina Normal los gramos de concentración de CO₂ queda de la siguiente manera:

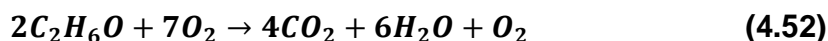
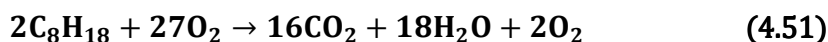
$$\frac{\text{kgCO}_2}{\text{km}} = \text{cc} * \frac{16\text{molCO}_2}{2\text{molC}_8\text{H}_{18}} * \frac{44\text{g/molCO}_2}{114\text{g/molC}_8\text{H}_{18}} * \delta_{\text{C}_8\text{H}_{18}} \quad (4.50)$$

Dónde:

cc = consumo de combustible (m³/km)

δ= densidad (kg/km)

De igual manera para la mezcla de 5, 10, 15 y 20 % de alcohol anhidro con el 95, 90, 85 y 80% de gasolina extra en volumen de la ecuación estequiométrica.



$$\frac{\text{kgCO}_2}{\text{km}} = f * \text{cc} * \frac{16\text{molCO}_2}{2\text{molC}_8\text{H}_{18}} * \frac{44\text{g/molCO}_2}{114\text{g/molC}_8\text{H}_{18}} * \delta_{\text{C}_8\text{H}_{18}} + g * \text{cc} * \frac{4\text{molCO}_2}{2\text{molC}_2\text{H}_6\text{O}} * \frac{44\text{g/molCO}_2}{46\text{g/molC}_2\text{H}_6\text{O}} * \delta_{\text{C}_2\text{H}_6\text{O}}$$

Dónde:

f = factor de concentración de alcohol anhidro

g = factor de concentración del combustible

- Según La Guía Práctica Para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero, se tiene los siguientes valores:

2,38kg de CO₂/litro de combustible

$$\frac{\text{kgCO}_2}{\text{km}} = 2,38\text{kgCO}_2/\text{lt} * \text{cc} * 1000 \quad (4.53)$$

Además para la mezcla de 5, 10, 15 y 20 % de alcohol anhidro con el 95, 90, 85 y 80% de gasolina extra en volumen.

$$\frac{\text{kgCO}_2}{\text{km}} = (2,38 - f * 2,38) * 1000 * \text{cc} \quad (4.54)$$

CAPÍTULO 5

PRUEBAS Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS

El presente estudio plantea la realización de pruebas estáticas, dinámicas y en ruta utilizando combustible comercial (gasolina extra) y aditivando alcohol anhidro en diferentes proporciones (5, 10, 15 y 20%) con el fin de realizar un análisis del desempeño mecánico del motor y la influencia hacia el medio ambiente, en un vehículo de ciclo Otto.

5.1 PRUEBAS

Se realizaron las siguientes pruebas:

- Pruebas en ruta (emisiones contaminantes y consumo de combustible)
- Torque y Potencia
- Prueba estática de emisiones contaminantes.
- Pruebas ASM.

5.1.1 PRUEBA EN RUTA

Las pruebas en ruta permiten obtener, por medio de la utilización de equipos portátiles, mediciones reales de los gases emitidos al ambiente y del consumo del combustible. En la figura 5.1 se muestra la ruta seguida en esta prueba.



Figura 5.1 Mapa de ruta de pruebas

La ruta establecida para la realización de las pruebas comienza en el sector de Guápulo, y avanza por la autopista Simón Bolívar hasta el sector de Carapungo con esto se busca simular una autopista rápida y con afluencia vehicular real.

5.1.1.1 Condiciones y consideraciones previas

Al momento de realizar las pruebas en ruta se deben mantener ciertos aspectos que permiten obtener confiabilidad en los resultados, entre los que se encuentran principalmente los siguientes.

5.1.1.1.1 Condiciones ambientales

Los datos son tomados a través de la ruta en condiciones ambientales promedio correspondientes a la ciudad de Quito.

- Temperatura ambiental entre 17 y 25 °C.
- Humedad relativa entre el 50 y 80%
- Total ausencia de lluvia.

5.1.1.1.2 Condiciones para la realización de las pruebas

Las pruebas se efectúan en horas que puedan garantizar una repetitividad de resultados, que para la ruta seleccionada corresponde a horas posteriores a las 09:30 una vez terminada la ordenanza vehicular del pico y placa. La duración total de los tres recorridos es de aproximadamente dos horas y con una afluencia de tráfico semejante.

Para la recolección de datos se utiliza un formato guiado de forma ordenada y bajo un procedimiento, el cual se detalla en el anexo A5.

5.1.1.1.3 Condiciones de manejo del vehículo⁶⁵

La forma en la que se conduce un vehículo incide en gran medida en la cantidad de combustible que este puede consumir, y en las emisiones que el motor es capaz de emitir. Por ello, las técnicas de manejo apropiadas no sólo son beneficiosas para la

⁶⁵ Evaluación de las emisiones y el comportamiento de un vehículo utilizando biodiesel de palma como combustible. LOACHAMIN Byron, MOSQUERA Carlos.

economía sino también para el medio ambiente. Por lo tanto, se toman en cuenta las siguientes recomendaciones al momento de realizar las pruebas en ruta.

- Acelerar el vehículo suavemente después de arrancar el motor, de igual manera cuando se vaya a avanzar luego de que el automóvil se haya detenido completamente por cualquier motivo.
- Desacelerar el automotor, en lo posible, disminuyendo las marchas, y accionar el embrague al llegar a la velocidad permisible más baja, antes de detener el vehículo completo.
- Detener el vehículo únicamente en casos de emergencia, o cuando el tráfico o las señales de tránsito lo exigen.
- Realizar correctamente los cambios de marcha; es decir, no ejecutar cambios de marcha innecesarios.

5.1.1.2 Pruebas realizadas en ruta

Mientras se sigue la ruta se efectúan las pruebas denominadas:

- Medición de gases contaminantes en ruta
- Consumo de combustible

5.1.1.2.1 Medición de gases contaminantes en ruta

Esta prueba permitirá la recolección de los datos medidos por el analizador de gases y que se registran aproximadamente cada diez segundos en la pantalla del scanner. Al finalizar cada prueba, los datos obtenidos se transfieren a una memoria de computador.

Los equipos utilizados en esta prueba están en las figuras 5.2 hasta la 5.5 y son:

- Analizador de gases Nextech NGA 6000 (Figura 5.2)



Figura 5.2 Analizador de gases

- Scanner automotriz Nextech (modelo carman scan VG+)



Figura 5.3 Scanner

- GPS (GPS 76CSx)



Figura 5.4 Sistema de Posicionamiento Global (GPS)

- Inversor de corriente



Figura 5.5 Inversor de voltaje

*Las especificaciones de estos equipos se muestran en el Anexo A3

5.1.1.2.2 Consumo de combustible

El consumo se determina por medio de flujómetros que envían pulsos a una pantalla digital, que convierte en números las señales digitales y que luego serán multiplicados por la constante correspondiente para obtener la cantidad de combustible consumida. El consumo de combustible es un parámetro necesario para la evaluación del vehículo y de su rendimiento además de permitir la determinación de los factores de emisión. Para la realización de esta prueba se necesitan los siguientes equipos.

- Pantallas digitales (Biotech)



Figura 5.6 Pantallas digitales

- Flujómetros (Biotech)



Figura 5.7 Flujómetro

- GPS Garmin (GPS 76CSx)
- Inversor de corriente

*Las especificaciones de estos equipos se muestran en el Anexo A3

5.1.2 PRUEBA ESTÁTICA DE GASES

La prueba estática de gases permitirá determinar si las emisiones del vehículo se encuentran dentro del límite que se establece en las normas técnicas nacionales vigentes. La medición de gases se realiza en base de las normas INEN 2204:2002 GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE. VEHÍCULOS AUTOMOTORES. LÍMITES PERMITIDOS DE EMISIONES PRODUCIDAS POR FUENTES MÓVILES TERRESTRES DE GASOLINA. La cual detalla los límites máximos permitidos en función del año de fabricación (ver ANEXO A1.1), además de la norma INEN 2203:99 GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE. VEHÍCULOS AUTOMOTORES. DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE EMISIONES DE ESCAPE EN CONDICIONES DE MARCHA MÍNIMA O “RALENTÍ” PRUEBA ESTÁTICA (ver ANEXO A1.2) la cual detalla el procedimiento y el equipamiento mínimo requerido para determinar el nivel de los gases contaminantes de un vehículo a gasolina.

El procedimiento seguido para la realización de esta prueba se indica en el Anexo A5. Para la prueba estática de gases se utilizan los siguientes equipos:

- Analizador de gases Maha MGT5



Figura 5.8 Analizador de gases MAHA

- Pinza Trigger



Figura 5.9 Pinza Trigger

- Computador. (Software Eurosystem V 6.07)



Figura 5.10 Pupitre de comunicaciones

- Sonda



Figura 5.11 Sonda

*Las especificaciones de estos equipos se muestran en el Anexo A3

5.1.3 PRUEBA DE TORQUE Y POTENCIA

Las pruebas de torque y potencia permitirán determinar las variaciones que la adición de etanol anhidro en el combustible produce en lo que respecta a las prestaciones del vehículo. Esta prueba se lleva a cabo en el equipo MAHA LPS 3000, cuyas características se detallan en el anexo A3.2. Este equipo está bajo las normas DIN 70020, CEE 80/1269, ISO 1585, JIS D-1001 Y SAE J-1349. El procedimiento se detalla en el anexo A5. Los equipos utilizados para esta prueba son:

- Dinamómetro de chasis (MAHA LPS 3000)
- Correas de alta resistencia
- Ventilador
- Caja de interfaces



Figura 5.12 Dinamómetro de chasis, correas, ventilador, caja de interfaces.

- Software del equipo dinamómetro (MAHA LPS 3000)
- Pupitre de comunicaciones



Figura 5.13 Pupitre de comunicaciones y computador LPS 3000.

*Las especificaciones de estos equipos se muestran en el Anexo A3

5.1.4 PRUEBA DINÁMICA ASM

Esta prueba permite evaluar las emisiones de gases contaminantes de un vehículo bajo las condiciones de 50 % de carga y 15 millas por hora (ASM 5015) y 25% de carga y 25 millas por hora (2525): El procedimiento se detalla en el anexo A5. Los equipos utilizados en esta prueba son los siguientes:

- Banco de pruebas ASM BF EURO losa radiante



Figura 5.14 Rodillos del banco de pruebas ASM

- Pupitre de comunicación (Software ASM)



Figura 5.15 Software ASM

- Sonda (se utiliza la misma sonda usada en la prueba en ruta)

*Las especificaciones de estos equipos se muestran en el Anexo A3

5.2 EVALUACIÓN Y PREPARACIÓN DEL VEHÍCULO DE PRUEBAS

A pesar de tratarse de un vehículo con bajo recorrido es necesario realizar una revisión de los elementos y sistemas principales, previo a la realización de las pruebas.

- Inspección de sistemas de luces.
- Inspección de los niveles de fluidos y correas.
- Verificación del estado de los aros y los neumáticos.
- Comprobación del estado de los frenos.
- Comprobación del equipo de seguridad del vehículo.
- Verificación de los controles e indicadores del tablero.
- Verificación del estado de los filtros de combustible, filtro de aire, cañerías de suministro y de retorno de combustible.
- Inspección del tubo de escape de gases quemados.
- Verificación y registro del kilometraje recorrido por el vehículo.

- Limpieza del tanque de combustible.
- Limpieza, calibración y comprobación de la bomba de inyección de combustible.
- Verificación del estado de la cámara de combustión.

5.3 CONDICIONES PARA LA MEZCLA DE COMBUSTIBLE

Es importante considerar el tipo y calidad del combustible que se utilizará en el motor por lo que las características del combustible están regido bajo normas ecuatorianas. El combustible utilizado es gasolina convencional extra que presenta un octanaje de 87, un contenido de azufre de 358 ppm y una densidad de $0,740 \text{ g/cm}^3$ (ver ANEXO A4). El combustible adicional que se utiliza es el alcohol anhidro, suministrado por la empresa OVALCOHOL con un grado de 100° Gay Lussac (ver ANEXO A5). La muestra de este combustible se observa en la figura 5.16.



Figura 5.16 Gasolina extra

Se realiza los ensayos con la utilización de gasolina extra y alcohol anhidro, considerando los porcentajes de 5, 10, 15 y 20 por ciento, por lo que cambia las propiedades de la misma como se observa en la tabla 5.1.

Tabla 5.1 Propiedades de la mezcla.

Muestras		Extra	E5	E10	E15	E20
Octanaje	INEN 2699	87	89	92	95	97
Azufre (ppm)	ASTM D-4294	358	320	293	223	195
Gravedad específica (gr/cm ³)	ASTM D-287	0,74	0,742	0,744	0,745	0,748

Es necesario realizar algunas consideraciones al momento de realizar la mezcla.

- Se verifica que los recipientes a utilizarse estén completamente secos y libres de suciedad.
- Colocar la medida exacta (ver figura 5.17), para cada porcentaje de mezcla.



Figura 5.17 Medición de combustible

- La mezcla de combustibles se realiza en un recipiente cerrado (caneca) y a temperatura ambiente para evitar la evaporación del alcohol. Las muestras de combustible utilizado se indican en la figura 5.18

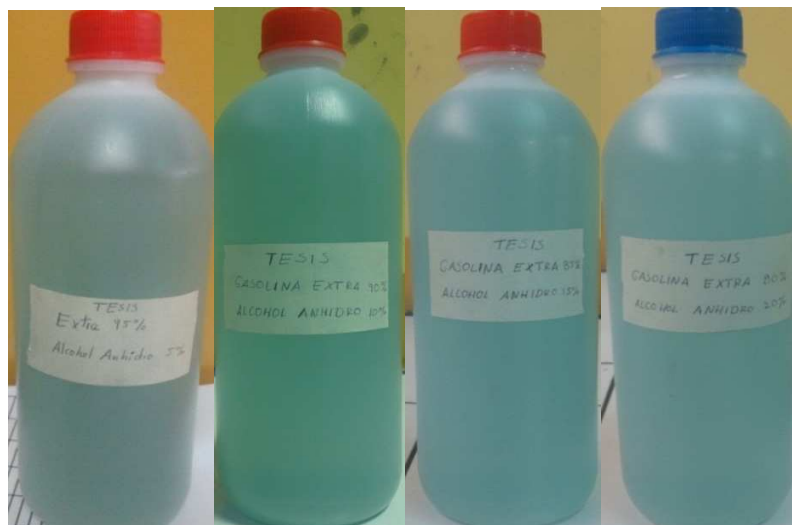


Figura 5.18 Mezclas de combustible con alcohol anhidro

5.4 RESULTADOS OBTENIDOS Y ANÁLISIS

Todos los datos recopilados en el desarrollo del presente proyecto se muestran en el ANEXO A6.

5.4.1 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LA PRUEBAS DE RUTA

El consumo de combustible y las emisiones de ruta en carretera permitirán evaluar los factores de emisión de los contaminantes.

5.4.1.1 Emisiones de gases

Las variaciones de las emisiones obtenidas a lo largo de toda la prueba para cada contaminante tienen la forma que se muestra en las figuras 5.19 a la 5.23.

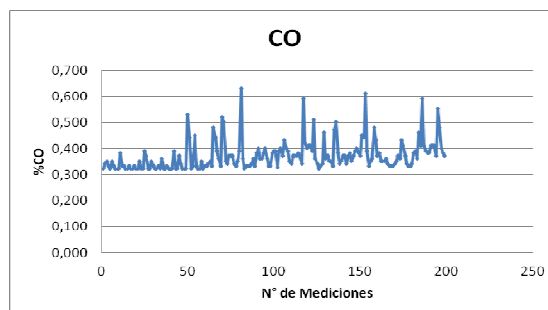


Figura 5.19 % CO vs N° de Mediciones para gasolina convencional

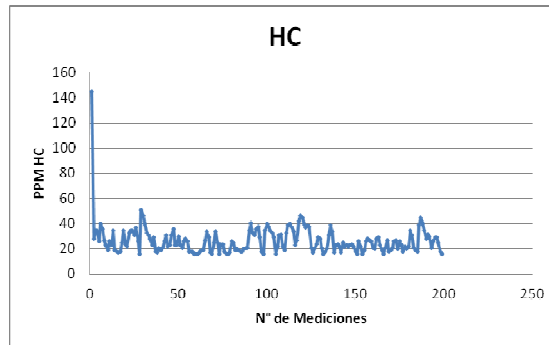


Figura 5.20 ppm de HC vs N° de Mediciones para gasolina convencional

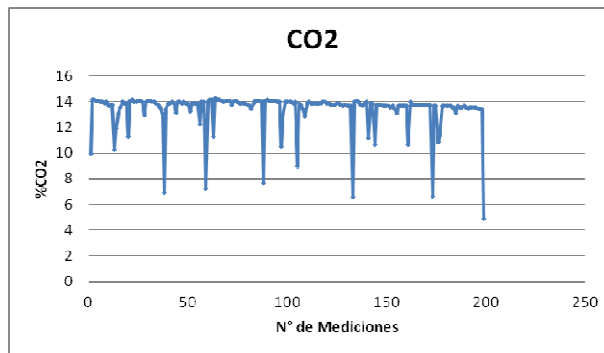


Figura 5.21 % de HC vs N° de Mediciones para gasolina convencional

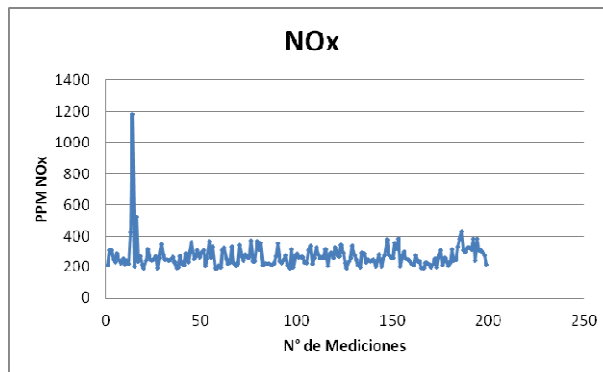


Figura 5.22 ppm de NOx vs N° de Mediciones para gasolina convencional

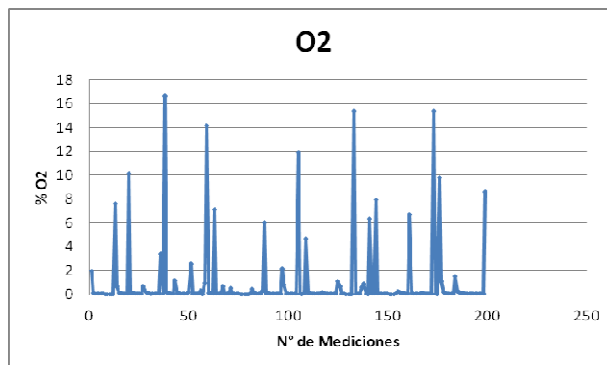


Figura 5.23 % de O2 vs N° de Mediciones para gasolina convencional I.

De todas las pruebas realizadas se obtiene un promedio para la concentración de cada contaminante cuyos resultados se muestran en la tabla 5.2.

Tabla 5.2 Promedio de emisiones contaminantes de la prueba en ruta.

	CO [%]	HC [ppm]	CO ₂ [%]	O ₂ [%]	NO _x [%]
EXTRA	0,372	26,301	13,392	0,923	269,507
E5	0,362	22,195	12,521	2,917	287,353
E10	0,349	22,100	12,643	2,626	323,985
E15	0,348	19,748	12,433	3,254	309,007
E20	0,364	20,796	12,504	3,172	373,621

Las gráficas de barras de las figuras 5.24 a la 5.28 permiten visualizar la variación en porcentaje o ppm que han tenido estas emisiones al añadir el alcohol anhidro.

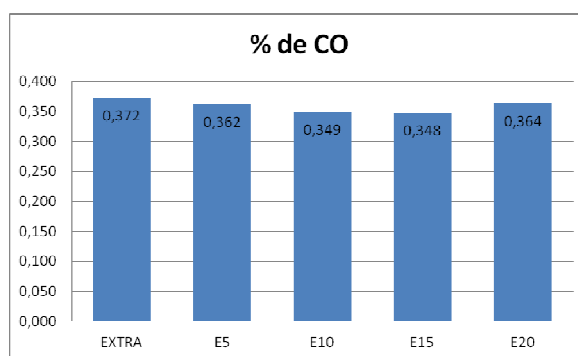


Figura 5.24 % de CO para cada combustible.

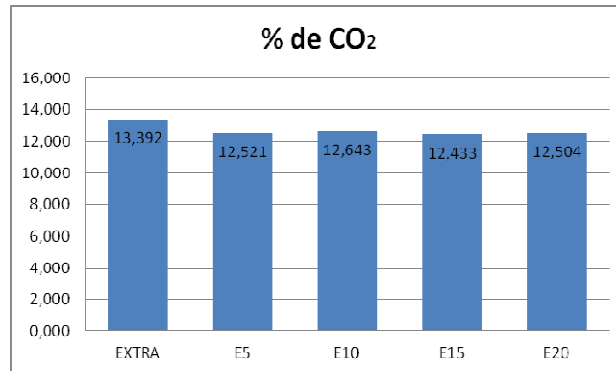


Figura 5.25 % de CO₂ para cada combustible.

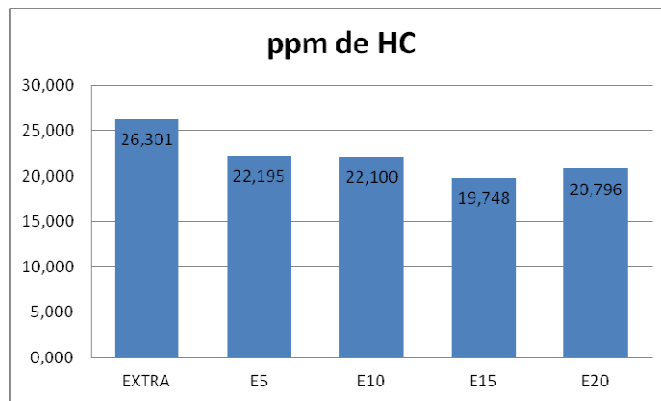


Figura 5.26 ppm de HC para cada combustible.

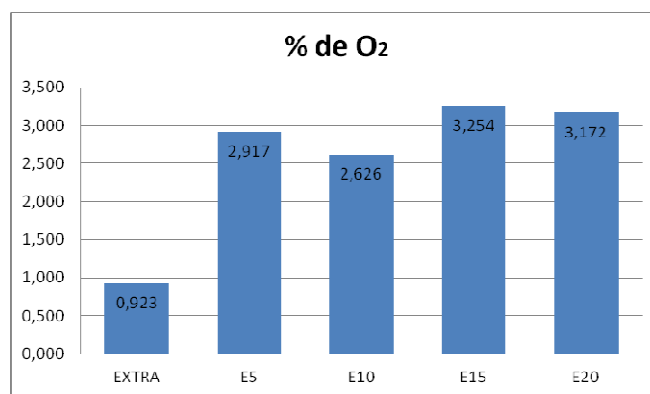


Figura 5.27 % de O₂ para cada combustible.

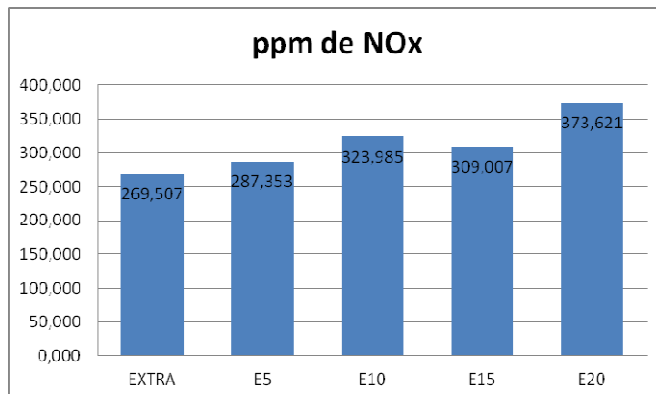


Figura 5.28 ppm de NOx para cada combustible.

Por medio de las figuras 5.24 a la 5.28 se establece que:

Para el CO₂ para todas las composiciones existe una tendencia disminuir desde la línea base hasta E20 y su mínimo valor es para E15.

El porcentaje de CO se mantiene con una estabilidad en las emisiones de las diferentes mezclas.

En promedio, la cantidad de hidrocarburos emitidos se redujo de lo que corresponde a la gasolina convencional hasta una mezcla E20.

En el promedio las concentraciones de NOx aumentan, de acuerdo al aumento del porcentaje de alcohol anhidro añadido.

Con respecto al oxígeno se observa que en la línea base existe mayor estabilidad que en las composiciones de combustible con alcohol anhidro, en las cuales se observa que su concentración aumenta de manera irregular, a medida que incrementa el porcentaje de alcohol, y tiene a un valor máximo para E15.

5.4.1.2 Consumo de combustible

El consumo de combustible del vehículo durante la prueba en ruta se muestra en la tabla 5.3

Tabla 5.3 Consumo y rendimiento de combustible

Combustible	Consumo (m ³ /km)	Rendimiento (km/galón)
Extra	0,000077	48,904
E5	0,000080	47,361
E10	0,000091	42,000
E15	0,000100	39,351
E20	0,000091	41,520

De la figura 5.29 se establece que a medida que se aumenta la cantidad de alcohol anhidro en la mezcla existe una disminución del rendimiento por cada galón consumido por el vehículo.

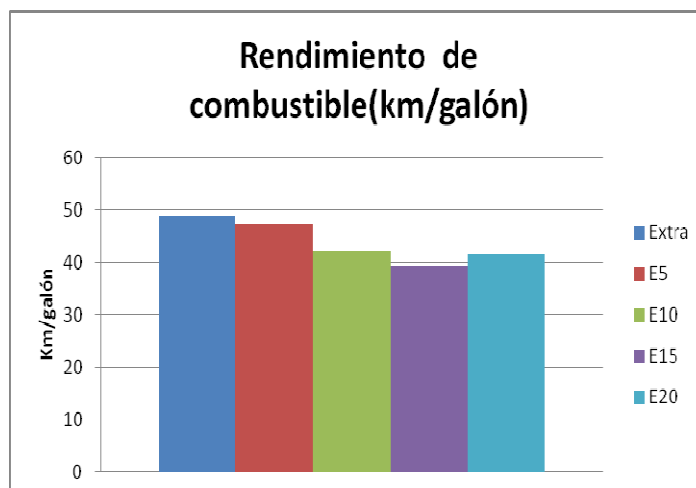


Figura 5.29 Rendimiento de combustible en km/galón para las diferentes composiciones.

De la figura 5.30 se puede establecer que el consumo de combustible se incrementa con respecto a la línea base (gasolina extra) a medida que se adiciona alcohol anhidro en la mezcla y presenta un aumento máximo del 29% correspondiente a la composición de E15.

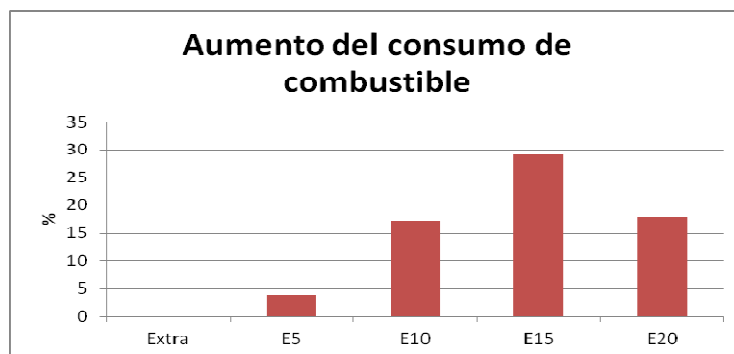


Figura 5.30 Aumento de consumo de combustible con relación a la gasolina convencional

5.4.1.3 Factores de emisión.

La tabla 5.4 Muestra los factores de emisión de las diferentes mezclas de combustible utilizado para las pruebas, calculados con las fórmulas desarrolladas en el capítulo IV. En las figura 5.31 a la 5.35, se muestra en forma de columnas las variaciones de los mismos.

Tabla 5.4 Factores de emisión de las diferentes composiciones.

Combustible	Extra	E5	E10	E15	E20
gCO/km	0,14326457	0,15341724	0,122866878	0,16755687	0,22279511
gHC/km	0,00417068	0,00367232	0,003992717	0,00358863	0,00345582
gNO/km	0,02220942	0,04300911	0,061809966	0,08694827	0,13417003

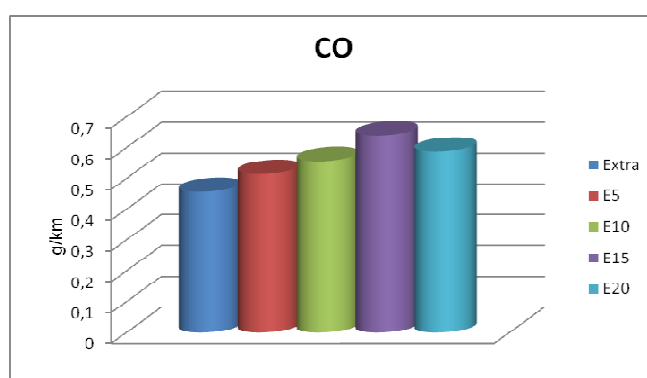


Figura 5.31 Factor de emisión de CO

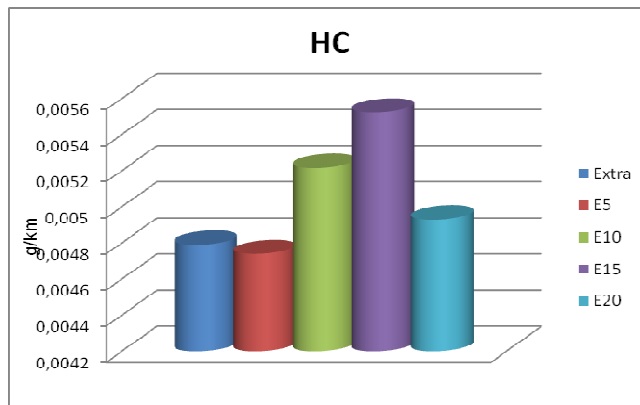


Figura 5.32 Factor de emisión HC

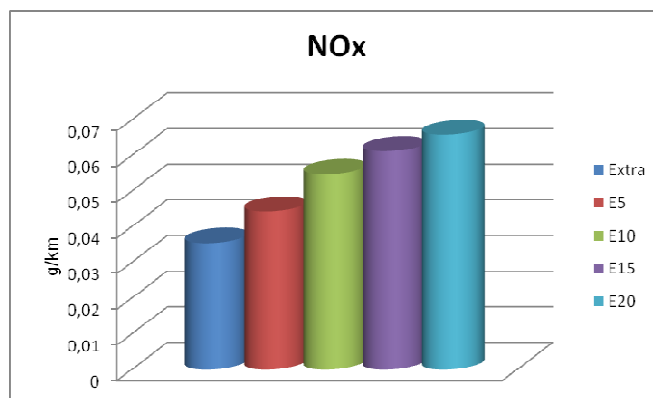


Figura 5.33 Factor de emisión NOx

Para el CO₂ los factores de emisión se resumen en la tabla 5.5:

Tabla 5.5 Factores de emisión del CO₂

	Formula CO ₂ kg/Km	KgCO ₂ /Km(estudio)
Extra	0,177012154	0,1843786
E5	0,180091362	0,18088
E10	0,201259117	0,20527619
E15	0,217912433	0,2261
E20	0,195769615	0,20624842

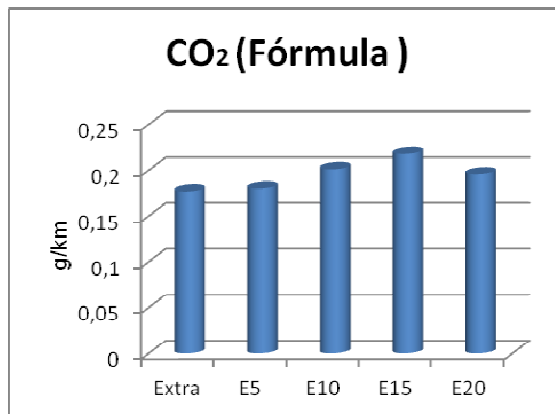


Figura 5.34 Factores de CO₂ calculados con la fórmula estequiométrica

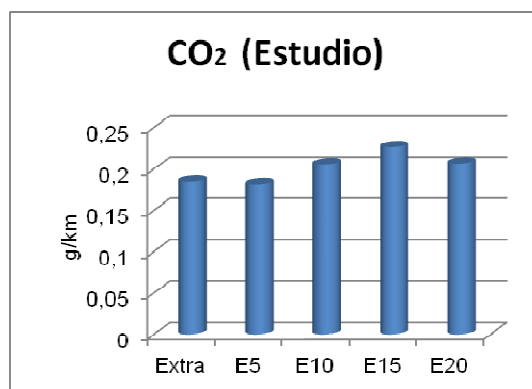


Figura 5.35 Factores de CO₂ calculados con respecto a la Guía Práctica para el Cálculo de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (gei).

Los factores de emisión del monóxido de carbono (CO) aumentan cuando se incrementa el porcentaje de alcohol anhidro y la variación más alta se obtuvo con la mezcla del 15%. A diferencia de las concentraciones que mantuvieron un valor casi constante para todas las mezclas de combustible.

Los factores de emisión de los hidrocarburos (HC) son inestables para cada composición, se encuentra que la cantidad máxima emitida de HC corresponde a la mezcla del 15% al contrario de lo que sucede en las concentraciones, que tienen una tendencia a disminuir con un valor mínimo en E15.

Para los óxidos de nitrógeno (NO_x) se tiene un incremento tanto en factores de emisión como en las concentraciones emitidas.

En cambio para el Dióxido de carbono (CO₂) los factores de emisión tanto con la fórmula estequiométrica como con la Guía Práctica para el Cálculo de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (gei) existe un ligero incremento a medida que aumenta la cantidad de alcohol anhidro añadida a la gasolina, mientras que para las concentraciones existe una estabilidad en los porcentajes emitidos de CO₂ a la atmosfera.

5.4.2 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LAS PRUEBAS DE GASES ESTÁTICAS

Las pruebas estáticas permitirán observar si se han mantenido los niveles de emisión dentro de los límites establecidos en las normas. Los valores obtenidos para todas las muestras de combustible, correspondientes a las pruebas estáticas se muestran en el anexo. La tabla 5.6 indica los promedios de las concentraciones de cada muestra de combustibles.

Tabla 5.6 Promedio de mediciones de gases en prueba estática.

Combustible	CO [%]	CO ₂ [%]	CO _{corregido} [%]	HC [ppm]	O ₂ [%]	NOx [ppm]	Lambda
Extra	0,0275	14,7250	0,0275	12,0000	0,0725	1,5000	1,0016
E5	0,0083	14,6333	0,0083	12,5000	0,0367	7,5000	1,0003
E10	0,0100	14,6333	0,0100	8,8333	0,0183	12,3333	0,9997
E15	0,0033	14,6667	0,0033	13,3333	0,0083	11,3333	0,9993
E20	0,0100	14,6000	0,0100	17,1667	0,0333	7,0000	1,0002

*Los NOx no son representativos ya que se debe someter el motor a carga.

Tanto en la línea base como para las composiciones de E5 hasta E20, las emisiones de CO se encuentran por debajo del límite permitido por la norma (1%). En lo referente a la cantidad de HC, las concentraciones también se encuentran por debajo del límite permitido por la norma (200ppm).

5.4.3 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LAS PRUEBAS DE TORQUE Y POTENCIA

En la figura 5.36 Se presenta un ejemplo de los datos obtenidos en las pruebas de torque y potencia. Todos los datos recopilados se muestran en el anexo A7.

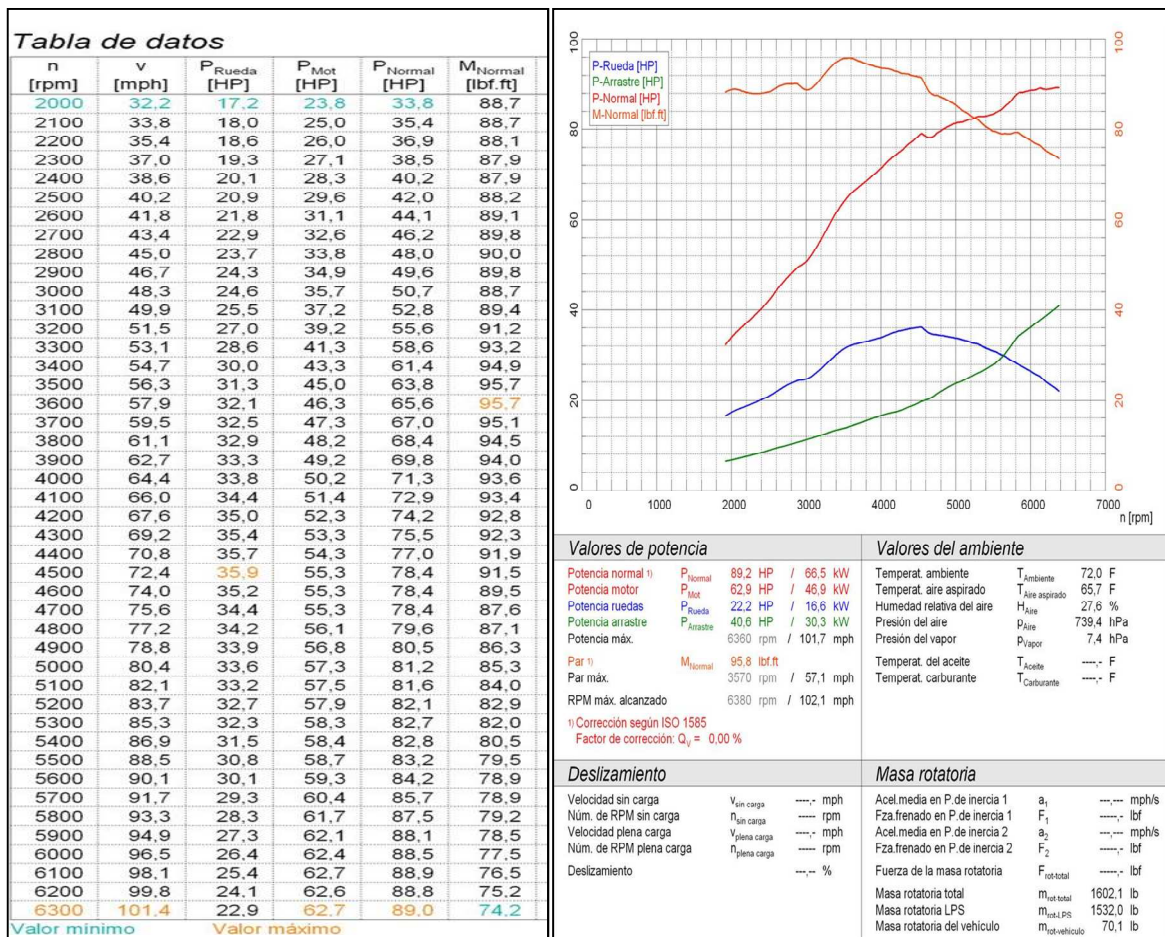


Figura 5.36 Datos obtenidos de la medición de potencia y torque en tabla de datos y gráfica.

En las tablas 5.7 y 5.8 se presenta los valores de la potencia normal y del momento normal obtenidos de las pruebas de torque y potencia, que el software presenta cada 100RPM.

Tabla 5.7 Potencia normal para cada composición de combustible

Potencia Normal (kW)					
RPM	Extra	E5	E10	E15	E20
2000	24,83	25,03	23,63	25,50	23,97
2100	26,17	26,50	25,07	27,00	25,29
2200	27,47	27,97	26,37	28,40	26,55
2300	28,66	29,37	27,53	29,70	27,71
2400	29,85	30,63	28,70	30,90	28,82
2500	31,10	31,90	29,93	32,30	30,01
2600	32,56	33,33	31,33	33,80	31,44
2700	34,03	34,83	32,80	35,40	32,85
2800	35,45	36,30	34,13	36,90	34,28
2900	36,74	37,70	35,43	38,30	35,61
3000	37,86	39,10	36,73	39,50	36,93
3100	39,30	40,53	38,23	40,90	38,46
3200	41,21	42,17	39,73	42,70	40,30
3300	43,33	44,13	41,63	44,80	42,47
3400	45,41	46,37	43,67	47,10	44,63
3500	47,33	48,53	45,53	49,10	46,58
3600	48,79	43,73	47,07	50,80	48,11
3700	49,91	51,87	48,40	52,20	49,26
3800	51,03	53,13	49,60	53,30	50,35
3900	52,15	54,17	50,77	54,40	51,43
4000	53,32	55,23	51,93	55,50	52,42
4100	54,46	56,43	53,20	56,80	53,52
4200	55,55	57,53	54,37	58,00	54,75
4300	56,42	58,57	55,37	59,00	55,93
4400	57,54	59,63	56,27	60,30	56,85
4500	58,51	60,80	57,37	61,60	57,60
4600	58,86	61,20	58,07	62,90	57,94
4700	58,86	61,30	58,17	62,40	58,12
4800	59,33	61,67	58,77	62,00	58,74
4900	60,00	62,37	59,40	63,10	59,48
5000	60,60	63,60	59,93	64,10	60,18
5100	60,97	64,37	60,47	64,60	60,85
5200	61,27	64,63	60,93	64,80	61,10
5300	61,45	65,00	61,03	65,10	60,94
5400	61,89	65,23	61,23	65,80	61,04
5500	62,17	65,53	61,47	66,30	61,43
5600	62,39	65,67	61,73	66,80	61,80
5700	62,61	65,57	62,27	67,40	62,07
5800	63,24	65,33	62,27	68,50	62,46
5900	63,41	65,03	62,00	69,30	62,79
6000	63,36	65,10	61,97	69,40	62,67
6100	63,41	65,27	62,13	69,80	62,84
6200	63,21	65,27	62,10	69,90	62,97

Tabla 5.8 Potencia normal para cada composición de combustible

Momento Normal (Nm)					
RPM	Extra	E5	E10	E15	E20
2000	87,20	79,77	112,87	120,70	105,43
2100	87,70	80,47	114,00	121,80	106,00
2200	87,77	81,07	114,50	122,30	106,17
2300	87,63	81,43	114,40	122,40	105,87
2400	87,40	81,40	114,20	122,30	105,50
2500	87,40	81,33	114,40	122,60	105,57
2600	88,03	81,63	115,13	123,50	106,33
2700	88,50	82,17	116,03	124,40	106,97
2800	89,00	82,50	116,47	125,20	107,53
2900	89,07	82,83	116,63	125,50	108,03
3000	88,73	82,97	116,93	125,00	108,20
3100	89,17	83,13	117,73	125,40	108,87
3200	90,60	83,67	118,53	126,80	110,63
3300	92,37	84,83	120,50	129,10	113,10
3400	93,97	86,43	122,63	131,60	115,43
3500	95,10	88,03	124,27	133,50	117,00
3600	95,37	89,03	124,87	134,30	117,47
3700	94,97	89,27	124,90	134,30	117,00
3800	94,50	89,07	124,67	133,30	116,30
3900	94,13	88,47	124,27	132,70	115,80
4000	93,83	88,03	124,00	132,40	115,00
4100	93,53	87,57	123,80	132,10	114,57
4200	93,10	86,97	123,60	131,80	114,37
4300	92,43	86,40	122,93	130,80	114,13
4400	92,10	86,00	122,07	130,90	113,30
4500	91,57	85,70	121,73	130,60	112,27
4600	90,07	84,77	120,57	130,60	110,33
4700	88,17	83,23	118,20	126,70	108,20
4800	87,03	81,80	116,90	123,40	107,03
4900	86,23	80,83	115,80	123,00	106,23
5000	85,37	80,87	114,50	122,40	105,30
5100	84,20	80,37	113,27	120,90	104,37
5200	83,00	79,23	111,87	119,20	102,73
5300	81,67	78,13	110,03	117,30	100,47
5400	80,73	76,90	108,27	116,50	98,77
5500	79,67	75,80	106,73	115,20	97,53
5600	78,47	74,23	105,23	114,10	96,30
5700	77,40	72,57	104,27	113,10	95,07
5800	76,80	71,30	102,50	113,00	93,93
5900	75,77	70,27	100,37	112,40	92,97
6000	74,43	69,40	98,63	110,80	91,23
6100	73,30	68,40	97,27	109,70	89,93
6200	71,87	67,37	95,63	108,10	88,67

Con los datos recopilados de torque y potencia es posible realizar una comparación de los mismos a medida que varían las rpm. Las figuras 5.37 y 5.38 ilustran estas variaciones.

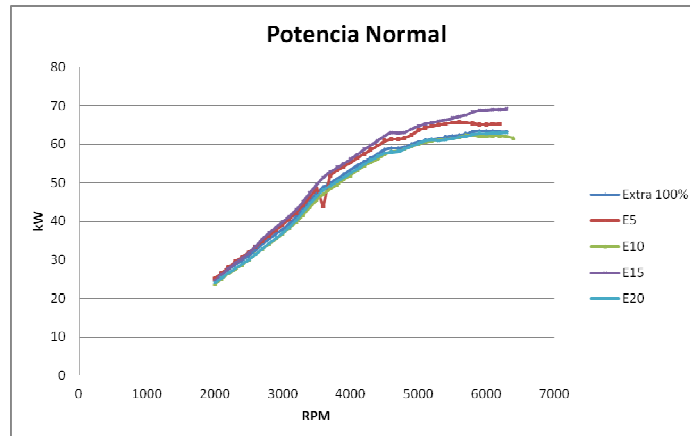


Figura 5.37 Potencia normal en función de las rpm

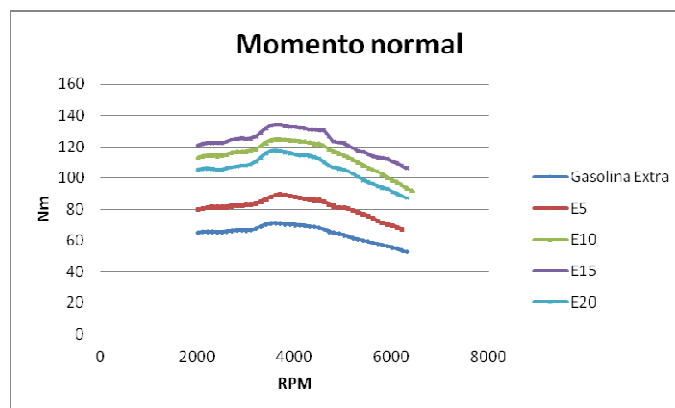


Figura 5.38 Momento normal en función de las rpm

Se observa que la mezcla de 15% de alcohol anhidro, presenta los más altos valores de potencia y momento normal. Entre las composiciones de E10, E20 y para la gasolina extra, los valores son similares en lo que respecta a potencia y a momento.

Con los datos de la potencia normal máximo y de momento normal máximo es posible predecir como variarían estos parámetros a medida que se incrementa el porcentaje de alcohol anhidro. Estas variaciones se presentan en las figuras 5.39 y 5.40.

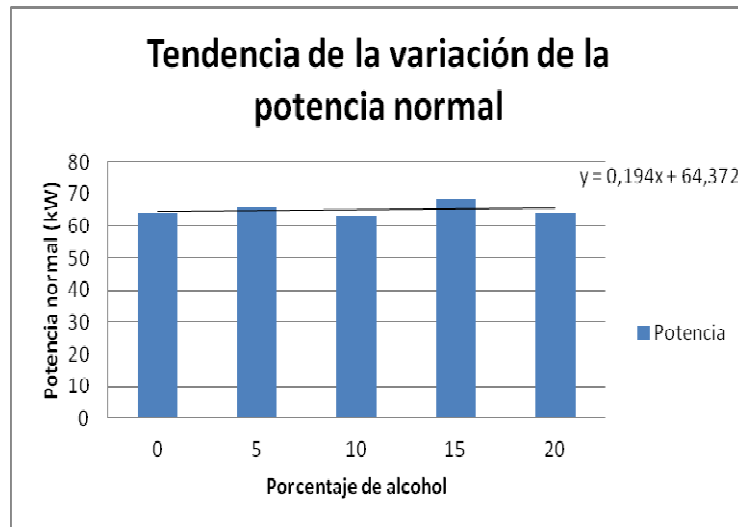


Figura 5.39 Tendencia de la variación de la potencia normal al aumentar la cantidad de alcohol anhidro.

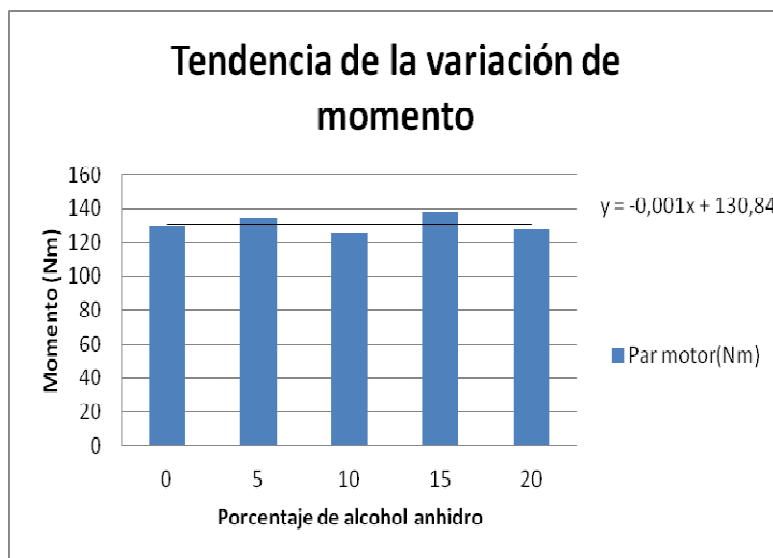


Figura 5.40 Tendencia de la variación del momento a medida que aumenta el porcentaje de alcohol anhidro.

La tabla 5.9 muestra las variaciones que tuvieron la potencia y el momento normal para las diferentes composiciones de combustible con respecto a la línea base.

Tabla 5.9 Variación de la potencia y momento normal, en porcentaje, respecto a la línea base

VARIACIÓN EN PORCENTAJE DE LA POTENCIA Y MOMENTO CON RESPECTO A LA LÍNEA BASE		
Porcentaje de alcohol	Δ Potencia respecto a la línea base (en %)	Δ Momento respecto a la línea base (en %)
5	3,50	3,41
10	-1,30	-3,15
15	6,64	6,14
20	-0,05	-1,37

Según los resultados que se resumen en la tabla 5.9, el único aumento perceptible, tanto para potencia como para momento, con relación a la línea base se da para la mezcla que contiene 15% de alcohol anhidro.

5.4.4 RESULTADO Y ANÁLISIS DE DATOS DE LAS PRUEBAS ASM

En las tablas 5.10 y 5.11 se muestra los resultados obtenidos en los ciclos ASM 5015 y 2525, los cuales muestran una gran variación entre ellos por su diferencia de velocidad y carga en cada prueba.

Tabla 5.10 Resultados del ciclo ASM 5015

ASM5015					
Combustible	CO (%)	HC (ppm)	CO2 (%)	O2 (%)	Nox (ppm)
Extra	0,035	7,467	14,34	0,043	357,4
E5	0,18	21,999	14,60	0,03	718,741
E10	0,051	8,819	14,88	0,055	545,269
E15	0,01	25,742	14,69	0,11	741,098
E20	0,021	13,208	14,66	0,087	814,227

Tabla 5.11 Resultados del ciclo ASM 2525

ASM2525					
Combustible	CO (%)	HC (ppm)	CO2 (%)	O2 (%)	Nox (ppm)
Extra	0,013	7,962	14,312	0,02	35,017
E5	0,183	14,063	14,658	0,112	138,227
E10	0,053	1,046	14,901	0,01	49,071
E15	0,01	18,183	14,677	0,03	586,913
E20	0,021	8,249	14,728	0,03	194,845

Las figuras 5.41 a la 5.48 muestran las variaciones que las concentraciones de cada contaminante tuvieron en estas pruebas.

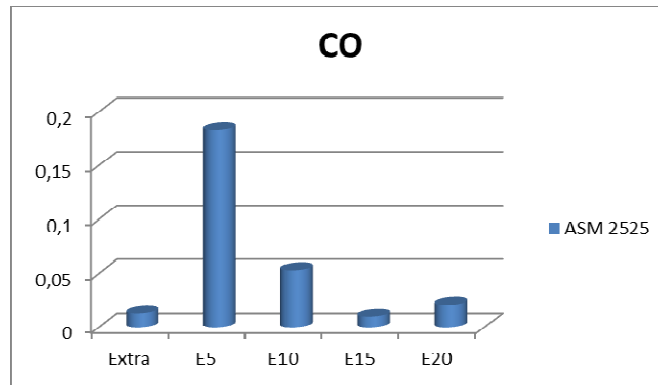


Figura 5.41 Variación de CO con respecto al porcentaje de alcohol. Prueba ASM 2525

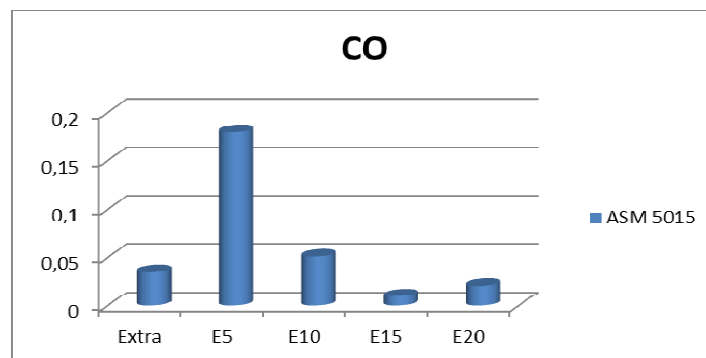


Figura 5.42 Variación de CO con respecto al porcentaje de alcohol. Prueba ASM 5015

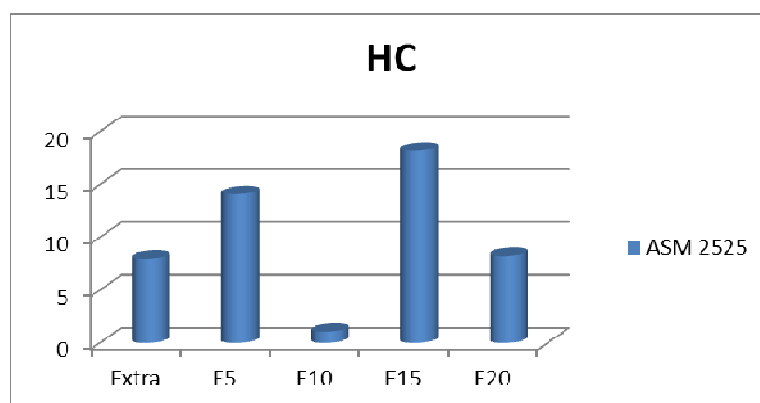


Figura 5.43 Variación de HC con respecto al porcentaje de alcohol. Prueba ASM 2525

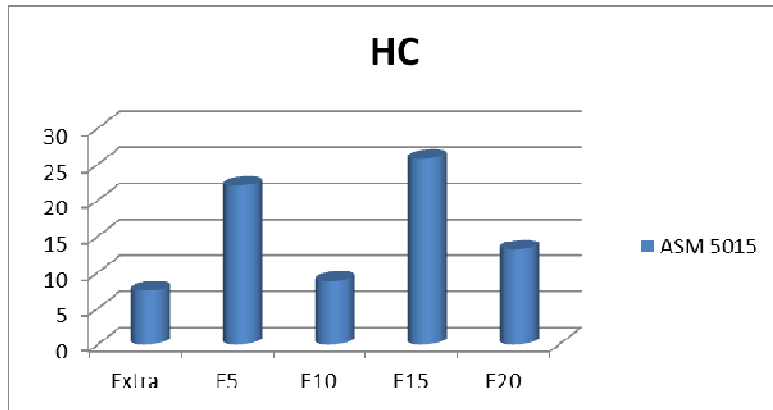


Figura 5.44 Variación de HC con respecto al porcentaje de alcohol. Prueba ASM 5015

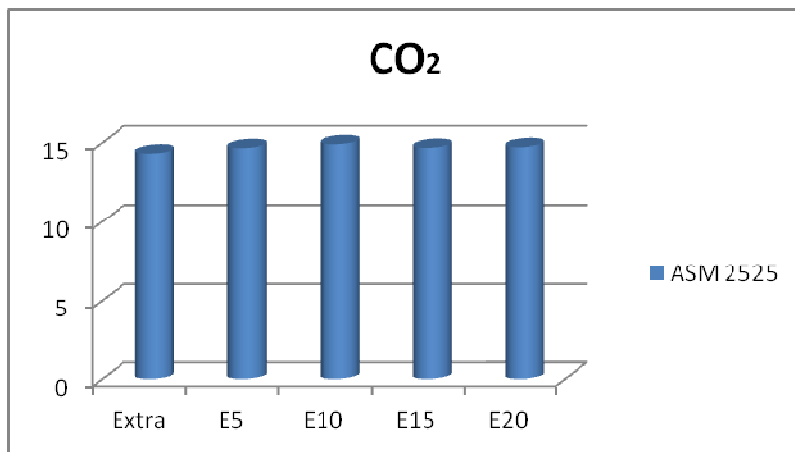


Figura 5.45 Variación de CO₂ con respecto al porcentaje de alcohol. Prueba ASM 2525

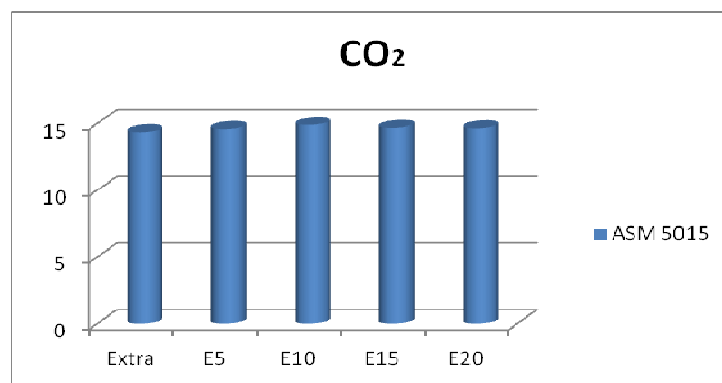


Figura 5.46 Variación de HC con respecto al porcentaje de alcohol. Prueba ASM 5015

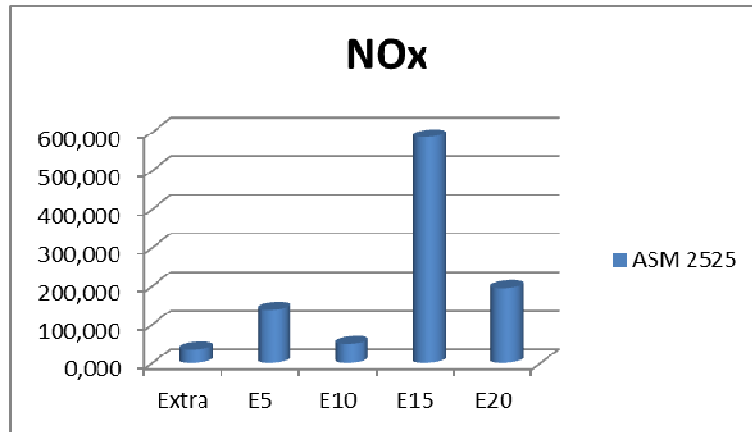


Figura 5.47 Variación de NOx con respecto al porcentaje de alcohol. Prueba ASM 2525

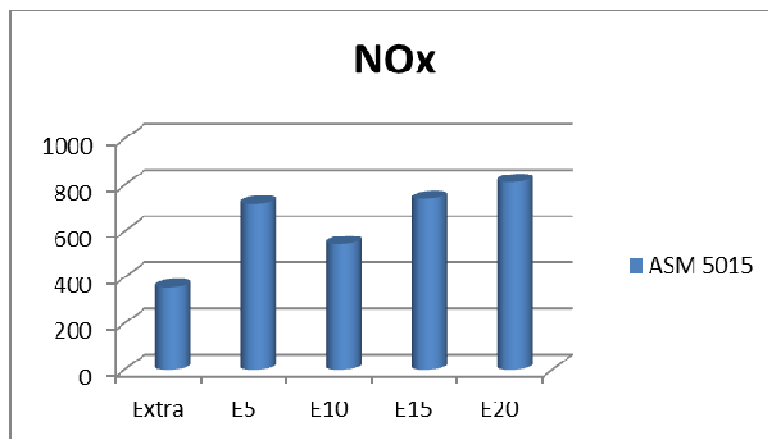


Figura 5.48 Variación de NOx con respecto al porcentaje de alcohol. Prueba ASM 5015

Analizando los porcentajes de los contaminantes emitidos de las pruebas ASM se evidencia que existen variaciones irregulares en los valores medidos para las concentraciones de CO, HC y O₂.

Para los porcentajes de CO₂, en la ASM 5015, se observa que éste se mantiene constante para todas las composiciones, tanto para la prueba ASM 2525 y 5015.

Los valores de NOx para la prueba ASM 5015 mantienen una tendencia a aumentar a medida que aumenta el porcentaje de alcohol.

5.4.5 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES DEL COMBUSTIBLE

Las propiedades del combustible también presentan variaciones cuando se adiciona alcohol anhidro. La tabla 5.1 presentada en la sección 5.3 de este capítulo permite obtener las variaciones de estas propiedades, las mismas que se ilustran en las figuras 5.49 a la 5.51.

Existe un aumento del octanaje a partir de la línea base conformada por gasolina extra con un octanaje de 87 octanos hasta alcanzar 95 octanos para la composición de 20% de alcohol anhidro y 80% gasolina extra. Las variaciones del octanaje se ilustran en la figura 5.49.

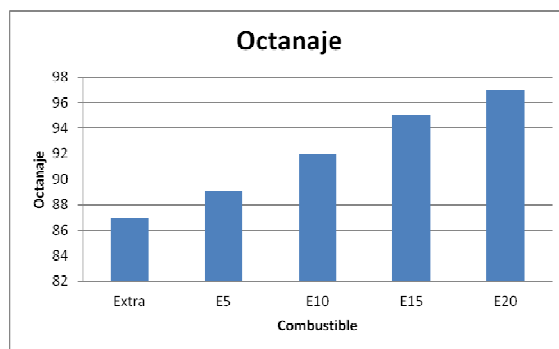


Figura 5.49 Variación del octanaje para cada mezcla de combustible.

También la concentración de contenido de azufre de la gasolina disminuye de 358ppm en gasolina extra a 195 ppm para E20, contrario a lo que sucede con la densidad, ya que empezó con 0,740 g/cm³ y terminó con un valor de 0,748 g/cm³. Las variaciones de estas propiedades se ilustran en las figuras 5.50 y 5.51.

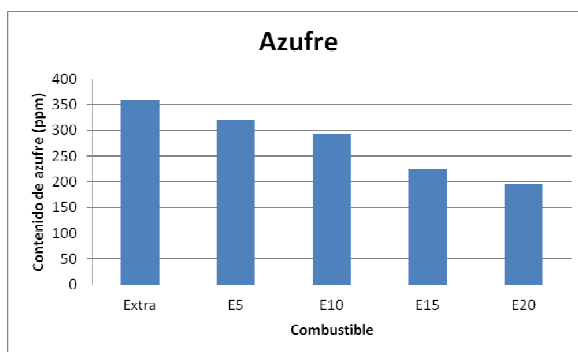


Figura 5.50 Variación del contenido de azufre para cada mezcla de combustible.

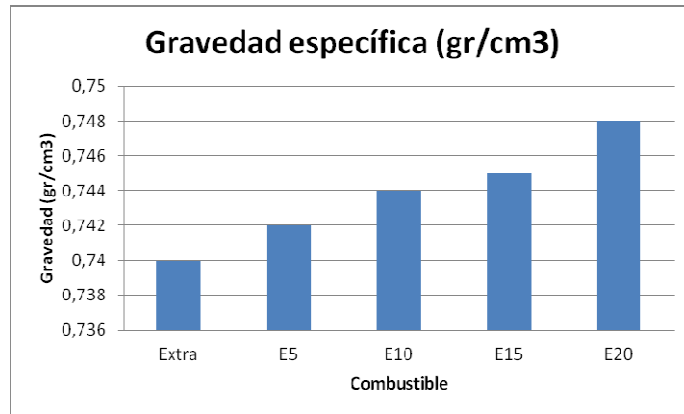


Figura 5.51 Variación del contenido de azufre para cada mezcla de combustible.

5.4.6 COMPARACIÓN DEL COSTO DE COMBUSTIBLE PARA LAS DIFERENTES MEZCLAS.

Es posible establecer una comparación de los costos mensuales para cada mezcla de combustible como se muestra en la tabla 5.12, para lo cual se hacen las siguientes consideraciones:

- Costo de la gasolina (1,45 USD/Galón)
- Costo del alcohol (2,84USD/Galón).
- Un vehículo recorre aproximadamente 20000km al año, esto es alrededor de 1700 km por mes en el Distrito Metropolitano de Quito.

Tabla 5.12 Costos mensuales de combustible para las diferentes mezclas.

Mezcla	Costo del galón de cada mezcla (USD/galón)	Consumo de combustible (gal/km)	Gasto mensual en combustible (USD)
Extra	1,45	0,0204	50,40
E5	1,51	0,0211	54,54
E10	1,59	0,0238	64,32
E15	1,66	0,0254	71,65
E20	1,73	0,0240	70,75

El costo de combustible se incrementa a medida que aumenta el porcentaje de alcohol anhidro, tal como se representa en la figura 5.52.

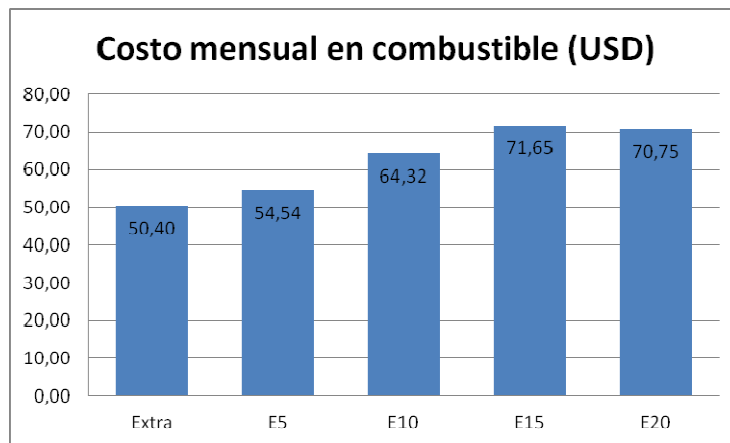


Figura 5.52 Costo mensual de combustible para las diferentes mezclas de combustible.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Con el desarrollo del presente estudio se cumplió con los objetivos planteados, mediante la realización de pruebas guiadas bajo un protocolo establecido, lo que permitió determinar el comportamiento en general del vehículo al utilizar el alcohol anhidro como combustible de aporte y estableciendo las diferencias, en cada tipo de prueba, con respecto a la gasolina convencional, realizándose las pruebas en ruta (emisión de gases y consumo de combustible), de torque y potencia, medición de gases estática, pruebas de aceleración simulada (ASM).
- El consumo de combustible se incrementa cuando aumenta el contenido de alcohol anhidro, debido a que su rendimiento energético es más bajo por lo que el vehículo recorrerá distancias menores con la misma cantidad de combustible.
- Las pruebas realizadas para la determinación de las propiedades en el combustible utilizado mostraron que aumenta el octanaje (de 87 a 95 octanos) y disminuye la concentración de azufre (de 358 a 195 ppm) con respecto a la gasolina extra convencional expendida en las gasolineras del DMQ.
- Del análisis de las variaciones en las concentraciones de gases contaminantes emitidos a la atmósfera se evidencia que existe una disminución en lo que respecta a los hidrocarburos no combustionados (HC) y monóxido de carbono (CO). El dióxido de carbono (CO₂) se mantuvo prácticamente constante, y se incrementaron las concentraciones tanto para el oxígeno O₂ y los óxidos de nitrógeno NO_x en relación a las cantidades obtenidas con la gasolina extra.
- En ciudades de altura como Quito se tiene una mezcla rica ingresando a la cámara de combustión, la cual al añadir alcohol anhidro al combustible aumenta la cantidad de oxígeno, transformándola en una mezcla pobre, lo que

genera: mayor temperatura en los cilindros del motor y mayor concentración de NOx.

- Los factores de emisión se incrementaron para los HC, CO, NOx y se mantuvo constante para el CO₂. Estos factores dependen del consumo, densidad y peso molecular del combustible.
- Las diferencias en las tendencias de las variaciones entre las concentraciones y los factores de emisión radican en que las primeras constituyen una medida de relación volumétrica, mientras que los segundos muestran la cantidad de contaminante en gramos por kilómetro recorrido.
- En el motor se observa un comportamiento regular en lo que respecta a la potencia y torque normal manteniendo mínimas diferencias entre las diferentes composiciones, donde la más significativa fue para el 15% de alcohol anhidro donde la potencia llego a aumentar en 6.5% y el torque en 6,1% en relación a la gasolina extra.
- Para la prueba estática, “ralentí” o en condiciones de marcha mínima se tiene que las emisiones de los gases de CO disminuyeron y las de HC aumentaron. Sin embargo a pesar de sus variaciones se encuentran por debajo de los límites establecidos en la norma ecuatoriana.
- Las pruebas dinámicas en ruta presentan valores más reales que en el ciclo simulado debido a que se realizan bajo situaciones normales de conducción, existe mayor repetitividad, fluencia de tráfico y condiciones ambientales, mientras que en las pruebas ASM no se consideran estos parámetros.
- El costo del combustible al aumentar el porcentaje de alcohol anhidro en la mezcla es mayor al que se tiene para la gasolina común, y depende del consumo de combustible por distancia recorrida por el vehículo.
- Desde el punto de vista del comportamiento y desempeño mecánico del motor, tanto en las pruebas en ruta como en el laboratorio, no se evidenciaron problemas al utilizar el alcohol anhidro hasta un 20% en volumen, por lo que podría utilizarse sin que exista cambios en el mismo.

RECOMENDACIONES

- Desde el punto de vista ambiental, considerando la reducción de las concentraciones contaminantes como CO, HC y CO₂ y el aumento del NO_x se recomienda realizar un análisis más detallado del impacto de estos contaminantes en la salud de las personas y en el medio ambiente, con diferentes composiciones de alcohol anhidro y determinar cuál sería la adecuada para ciudades de altura como Quito.
- Para analizar el impacto ambiental del uso del alcohol anhidro como combustible de aporte se recomienda hacer un análisis con respecto a los factores de emisión ya que estos consideran el consumo de combustible y no en base a las concentraciones de gas.
- En este proyecto se utilizó un solo vehículo para la realización de las pruebas, por lo que se recomienda que para investigaciones posteriores se considere llevar a cabo el estudio con varios vehículos de diferente modelo y cilindraje.
- Se recomienda ampliar el estudio seleccionando una ruta urbana o mixta para analizar el comportamiento del motor en estas condiciones de manejo.
- Se recomienda probar el vehículo con el combustible aditivado con alcohol anhidro durante un mayor período de tiempo, para establecer daños en el sistema de combustible, admisión, alimentación, inyección y escape.
- Si el impacto ambiental es beneficioso a pesar del costo del combustible es necesario que para su implementación se establezcan nuevas políticas como subsidios, incentivos para la producción de alcohol, capacitación para los productores.

BIBLIOGRAFÍA

1. STUTTGART G, Tecnología del automóvil, TOMO 2, 1980.
2. CENGEL Y, Termodinámica, 6ta edición, México 2006.
3. ÇENGEL Y, Termodinámica, 2da edición, México 1996.
4. CORPAIRE, Índice Quiteño de Calidad del Aire
5. SECRETARIA DEL AMBIENTE, Informe Anual 2011 Calidad del Aire, Quito 2012.
6. HARO L, Determinación mensual del factor de emisiones de CO₂ producido por el Parque Generador en el Sistema Nacional Interconectado del Ecuador, mediante la aplicación de la metodología de la convención Marco Sobre el Cambio Climático UNFCCC, para el período 2005-2009, Quito 2010.
7. CHALÁ F, ÑACATO J, Estudio comparativo del uso de biocombustible y gasolina en motores de ciclo Otto, Quito 2008.
8. SECRETARIA DEL AMBIENTE, Plan Maestro de Movilidad para el Distrito Metropolitano de Quito, 2007.
9. LOACHAMIN B, MOSQUERA C. Evaluación de las emisiones y el comportamiento de un vehículo utilizando biodiesel de palma como combustible.
10. ÁLVAREZ A. Estudio de la influencia de la adición de etanol en las gasolinas ecuatorianas y su cuantificación por espectrofotometría de infrarrojo de transformadas de Fourier. Quito. EPN 2006.
11. GUEVARA M, Metodología de pruebas para la evaluación de convertidores catalíticos en motores a gasolina, Quito 2010.
12. Código Municipal para el Distrito Metropolitano de Quito, Ordenanza 213 del Distrito Metropolitano de Quito.
13. NTE INEN 2204:2002-1R
14. NTE INEN 2203:99
15. Norma Técnica Ecuatoriana. NTE INEN 935 2012 Octava Edición.
16. Motores Combustión Interna. Teoría%2C funcionamiento pdf.
17. VALLE G, Hidrógeno y otras fuentes alternativas de Energía, Costa Rica. 2006

18. Revista Scientia et Technica de la Universidad Tecnológica de Pereira.
19. Zumárraga A. Conferencia Autos Híbridos, 2011
20. Reglamento Técnico Centroamericano, Guatemala, Diciembre 2005
21. http://www.demotor.net/ciclos_reales/diferencia_entre_los_ciclos_otto_real_y_teorico.html
22. FREY H., EICHENBERGER D. Remote Sensing of Mobile Source Air Pollutant Emissions, North Carolina State University, June 1997.
23. Evaluación de las emisiones y el comportamiento de un vehículo utilizando biodiesel de palma como combustible. LOACHAMIN Byron, MOSQUERA Carlos.
24. LEFEVRE A, Presentación Fuel LifeCycleAnalysis of Fuel Ethanol Production and Use, Quebec ministry of Natural Resources, Canada en el Congreso Internacional de Biocombustible Guadalajara, Jal. México.
25. <http://www.demecanicos.com/>
26. <http://www.todomotores.cl/>
27. <http://www.electriauto.com/mecanica/sistema-de-lubricacion/componentes-del-sistema-de-lubricacion/>
28. ua.es/dspace/bitstream/10045/.../1/motorcombustioninterna.pdf
29. http://www.aficionadosalamecanica.com/inyeccion_directa1.htm
30. <http://www.irvinsystems.com/?p=3442>
31. <http://www.rotarypit.com/admision.htm>
32. <http://mecanicageneral.webcindario.com>
33. <http://www.bibliosepi.esimez.ipn.mx/mecanica/2012/Software%20para%20el%20calculo%20de%20la%20potencia%20torque.pdf>
34. <http://diccionario.motorgiga.com/>
35. http://www.unizar.es/actividades_fq/cont_ambl_vehic_cot/actividad.pdf
36. <http://automovilescolombia.com/foros/threads/prueba-de-gases-no-pasa.670/>
37. <http://remmaq.corpaire.org/paginas/articulos/iqca.pdf>
38. <http://www.aeade.net/web/images/stories/images/anuario2010.pdf>
39. <http://www.revisionquito.gob.ec/index.php/meninformacionrevision/77-artantecedentes>

40. <http://www.ecojoven.com/seis/10/co2.html>
41. <http://www.ngk.de/es/tecnologia-en-detalle/sondas-lambda/aspectos-basicos-de-los-gases-de-escape/normas-euro/>
42. http://ecuador.acambiode.com/producto/fotos_instalacion-de-gas-vehicular_44664
43. <http://www.blogicars.com/2010/10/glp-gas-licuado-de-petroleo-para-autos/>
44. <http://artrus.wordpress.com/2008/04/20/hidrogeno-como-sustituto-de-los-combustibles-fosiles/>
45. <http://ens-ciencia.blogspot.com/2009/12/la-energia-solar.html>
46. <http://oldcivilizations.wordpress.com/2012/02/03/la-energia-libre-de-nikola-tesla-es-real-o-ficcion/>
47. <http://www.autolibreelectrico.com/archives/715>
48. <http://merkarros.blogspot.com/2012/08/un-auto-que-funcionacon-aire.html>
49. <http://www.quimica.unam.mx/IMG/pdf/12etanol.pdf>
50. http://www.t3quimica.com/pdfs/49i_etanol.pdf
51. grupoelectropositivos.blogspot.com/2009/09/el-bioetanol.html
52. <http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/466/1/imagenes/vehiculoetanol.pdf>

ANEXOS

ANEXO A1 NORMAS DE GESTIÓN AMBIENTAL ACTUALES

ANEXO A1.1 NTE INEN 2204:2002 GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE. VEHÍCULOS AUTOMOTORES. LÍMITES PERMITIDOS DE EMISIONES PRODUCIDAS POR FUENTES MÓVILES TERRESTRES DE GASOLINA.

ANEXO A1.2 NTE INEN 2203:99 GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE. VEHÍCULOS AUTOMOTORES. DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE EMISIONES DE ESCAPE EN CONDICIONES DE MARCHA MÍNIMA O “RALENTÍ” PRUEBA ESTÁTICA.

ANEXO 1.3 NTE INEN 935: 2012 8R GASOLINA REQUISITOS

ANEXO A1.4 NORMA OFICIAL MEXICANA DE EMERGENCIA NOM-EM-132-ECOL-1998.

ANEXO A1.5 RTE INEN 017:2008 CONTROL DE EMISIONES CONTAMINANTES DE FUENTES MÓVILES TERRESTRES

ANEXO A2 EJEMPLO DE FORMATOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

ANEXO A2.1 HOJA DE INSPECCIÓN VEHICULAR.

ANEXO A2.2 HOJA DE DATOS DE PRUEBA DINÁMICA (RUTA)

ANEXO A2.3 HOJA DE DATOS DE PRUEBA ESTÁTICA

ANEXO A3 EQUIPOS UTILIZADOS

ANEXO A3.1 VEHICULO DE PRUEBAS

ANEXO A3.2 DINAMÓMETRO DE CHASIS

ANEXO A3.3 JUEGO DE RODILLOS DE LA SERIE R102

ANEXO A3.4 ASM BF EURO LOSA RADIANTE (PRUEBA DINÁMICA)

ANEXO A3.5 PUPITRE DE COMUNICACIONES

ANEXO A3.6 CAJA DE INTERFACES

ANEXO A3.7 VENTILADOR REFRIGERANTE

ANEXO A3.8 PANTALLAS DIGITALES

ANEXO A3.9 MEDIDORES DE FLUJO

ANEXO A3.10 ANALIZADOR DE GASES

ANEXO A3.11 ANALIZADOR DE GASES NEXTECH

ANEXO A3.12 SCANNER DE DIAGNÓSTICO

ANEXO A3.13 SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS)

ANEXO A3.14 ELEVADOR DE CUATRO COLUMNAS

ANEXO A3.15 INVERSOR DE CORRIENTE

ANEXO A3.16 ELEMENTOS SUPLEMENTARIOS

ANEXO A4 PROPIEDADES DE LOS COMBUSTIBLES PARA LA MEZCLA

ANEXO A4.1 CARACTERISTICAS DE LA GASOLINA (EXTRA)

ANEXO A4.2 CARACTERISTICAS DEL ALCOHOL ANHÍDRO

ANEXO A5 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS

ANEXO A5.1 EMISIONES CONTAMINANTES

ANEXO A5.2 TORQUE Y POTENCIA

ANEXO A5.3 PRUEBA ESTÁTICA

ANEXO A6 PROCEDIMIENTOS

ANEXO A6.1 PROCEDIMIENTO PRUEBA DINÁMICA (RUTA)

ANEXO A6.2 PROCEDIMIENTO PRUEBA DE TORQUE Y POTENCIA

ANEXO A6.3 PROCEDIMIENTO PRUEBA ESTÁTICA (RALENTI)

ANEXO A6.4 PROCEDIMIENTO PRUEBA DINÁMICA (CICLO ASM)