

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

ESTUDIO DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE CICLO DIESEL, USANDO COMBUSTIBLE MICROEMULSIONADO CON AGUA

**TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE MÁSTER (MSc) EN
SISTEMAS AUTOMOTRICES**

ALEX RODOLFO GUZMÁN ANTAMBA

alexrgao2@hotmail.com

MARIO ALEXANDER PERALVO CLAVÓN

ingperalvo@gmail.com

DIRECTOR: Ing. IVÁN ZAMBRANO MSc.

ivan.zambrano@epn.edu.ec

Quito, Octubre 2011

DECLARACIÓN

Nosotros, Alex Rodolfo Guzmán Antamba, y Mario Alexander Peralvo Clavón, declaramos que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Alex Rodolfo Guzmán Antamba

Mario Alexander Peralvo Clavón

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Alex Rodolfo Guzmán Antamba y Mario Alexander Peralvo Clavón, bajo mi supervisión.

Ing. Iván Zambrano

DIRECTOR DE TESIS

AGRADECIMIENTO

A Dios, por guiar nuestros pasos y darnos la sabiduría y la paciencia necesaria para vencer todas las dificultades que la vida nos presenta.

A nuestros padres, hermanos y demás familiares por su apoyo incondicional.

Al Ing. Iván Zambrano por su acertada dirección en la elaboración de este proyecto.

Al Ing. Ángel Portilla y al CCICEV por habernos permitido utilizar sus equipos e instalaciones que facilitaron llevar a cabo este proyecto.

Al Ing. Jorge Kaslin (Secretaría de Ambiente del DMQ) por contribuir con sus conocimientos y experiencias técnicas en el desarrollo de este proyecto.

A todas aquellas personas que de alguna manera contribuyeron en la realización de este proyecto.

Gracias por lo que hemos logrado.

Alex Guzmán

Alexander Peralvo

DEDICATORIA

A papito Dios, a Jesús y a la Virgen del Quinche; por la vida, salud y sabiduría que me dan para cumplir los objetivos personales planteados a corto y largo plazo.

A mis padres, Manuel y Anita, a mis hermanos Manuel Fernando y Anita Cristina, por el apoyo que siempre me han brindado, y con el cual he logrado terminar esta formación Profesional. Ya que ustedes son la fortaleza de mi vida, y por inculcarme las virtudes más grandes que el ser humano debe adoptar “constancia, honradez y humildad”. Los amo mucho.

Alex Guzmán

A mis dos amores a mi hijo Matías Alexander que ha llegado a mi vida para hacerla completamente feliz; quien va a ser mi motivo y fortaleza para salir siempre adelante y a mi esposa Carla Gabriela por brindarme siempre todo su amor y cariño, y enseñarme el verdadero valor de la vida. A ustedes gracias por hacer de mi una mejor persona.

A mis padres Mario y Marcia por su apoyo, cariño, comprensión y estar siempre cuando más los necesito.

A Dios por darme el privilegio de la vida y tener junto a mí a los seres a quien más amo.

Alexander Peralvo

CONTENIDO

CONTENIDO	V
ÍNDICE DE TABLAS	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
ÍNDICE DE GRÁFICOS	XVI
RESUMEN	1
PRESENTACIÓN	2
OBJETIVOS	3
OBJETIVO GENERAL.....	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
ALCANCES	4
CAPÍTULO I: FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DIESEL	5
1.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DIESEL	5
1.1.1 MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA	5
1.1.2 MOTOR DIESEL.....	5
1.1.3 FUNCIONAMIENTO	6
1.1.4 CICLOS DE OPERACIÓN DEL MOTOR DIESEL	7
1.2 SISTEMAS DEL MOTOR DIESEL	9
1.2.1 ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE EN LOS MOTORES DIESEL	11
1.3 DESEMPEÑO MECÁNICO DEL MOTOR DIESEL	17
1.3.1 ELASTICIDAD, TORQUE Y POTENCIA.....	18
1.3.2 CONSUMO DE COMBUSTIBLE	20
1.4 COMBUSTIBLE DIESEL	22
1.4.1 GENERALIDADES	22
1.4.2 PROPIEDADES.....	22
1.5 COMBUSTIBLE DIESEL DE USO AUTOMOTRIZ EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO	24
1.5.1 ORDENANZA 213 DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO – CAPÍTULO VI.....	25
CAPÍTULO II: ESTADO ACTUAL DE LA CONTAMINACIÓN POR MOTORES DIESEL EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO	27
2.1 COMPOSICIÓN DE LAS EMISIONES DEL MOTOR DIESEL	27
2.1.1 ÓXIDOS DE NITRÓGENO (NO _x)	27
2.1.2 HIDROCARBUROS NO COMBUSTIONADOS (HC).....	27
2.1.3 HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS (PAH)	28
2.1.4 MONÓXIDO DE CARBONO (CO).....	28
2.1.5 DIÓXIDO DE AZUFRE (SO ₂).....	28
2.1.6 DIÓXIDO DE CARBONO (CO ₂).....	29

2.1.7 MATERIAL PARTICULADO (PM)	29
2.2 IMPACTOS DE LAS EMISIONES DE LOS MOTORES DIESEL	33
2.2.1 IMPACTO EN LA SALUD	33
2.2.2 IMPACTO AMBIENTAL	36
2.3 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE DE QUITO	37
2.3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA CIUDAD DE QUITO	37
2.3.2 RADIACIÓN SOLAR.....	38
2.3.3 CLIMA	38
2.4 ESTADO REAL DE LA CONTAMINACIÓN EN EL DMQ POR FUENTES	
MÓVILES	38
2.4.1 CONSUMO DE DIESEL PREMIUM EN EL DMQ	39
2.4.2 PORCENTAJE DE OPACIDAD EN EL DMQ.....	39
2.4.3 CONCENTRACIÓN DE GASES CONTAMINANTES EN EL DMQ	40
2.5 CARACTERÍSTICAS DEL PARQUE AUTOMOTOR DEL DISTRITO	
METROPOLITANO DE QUITO	41
2.5.1 INCREMENTO DEL PARQUE AUTOMOTOR.....	41
2.5.2 VEHÍCULOS DIESEL UTILIZADOS PARA TRANSPORTE PÚBLICO EN EL DMQ.....	42
2.6 NORMALIZACIÓN Y REGLAMENTACIÓN DE EMISIONES	
CONTAMINANTES.....	43
2.6.1 NORMAS	43
2.6.2 ORDENANZAS PARA EL DMQ	46
CAPÍTULO III: COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS.....	47
3.1 COMBUSTIBLE DIESEL DE ULTRA BAJO CONTENIDO DE AZUFRE	47
3.1.1 COMBUSTIBLE DIESEL ULTRA BAJO AZUFRE (< 15 PPM).....	47
3.2 BIODIESEL.....	48
3.2.1 VENTAJAS DEL BIODIESEL	49
3.2.2 DESVENTAJAS DEL BIODIESEL.....	49
3.3 GAS NATURAL COMPRIMIDO (GNC).....	50
3.3.1 REDUCCIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES UTILIZANDO GNC.....	50
3.4 GAS LICUADO DE PETRÓLEO (GLP).....	51
3.4.1 REDUCCIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES UTILIZANDO GLP.....	51
3.5 DIESEL MICROEMULSIONADO CON AGUA (DMA) O HIDRODIESEL	52
3.5.1 EMULSIÓN	52
3.5.2 SURFACTANTE Y ESTABILIDAD DE LAS EMULSIONES.....	53
3.5.3 TIPOS DE EMULSIONES	57
3.5.4 UTILIZACIÓN DE DIESEL MICROEMULSIONADO CON AGUA EN MOTORES DE COMBUSTION INTERNA	63
3.5.5 COMPOSICIÓN DEL DIESEL MICROEMULSIONADO CON AGUA.....	64

3.5.6	REDUCCIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES UTILIZANDO DMA.....	66
3.5.7	TRABAJO E INFLUENCIA DEL DMA EN EL MOTOR CICLO DIESEL	67
3.5.8	ALMACENAMIENTO DEL DIESEL MICROEMULSIONADO CON AGUA	72
3.5.9	APLICACIÓN Y EXPERIENCIAS DE LA UTILIZACIÓN DEL DMA.....	72
3.5.10	COSTOS DEL DMA.....	74
3.5.11	VENTAJAS DEL DIESEL MICROEMULSIONADO CON AGUA	74
3.5.12	DESVENTAJAS DEL DIESEL MICROEMULSIONADO CON AGUA.....	75
CAPÍTULO IV: PROTOCOLO DE PRUEBAS		76
4.1	MEDICIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES DE UN VEHÍCULO	76
4.1.1	PRUEBAS EN LABORATORIO Y CICLOS DE PRUEBAS	77
4.1.2	PRUEBAS EN CAMPO	81
4.1.3	MEDICIÓN DE EMISIONES VEHICULARES EN CONDICIONES CONTROLADAS Y REALES.....	86
4.2	MÉTODOS PARA RECOPILAR Y EVALUAR LA INFORMACIÓN DE EMISIONES VEHICULARES	86
4.2.1	MÉTODOS DE MONITOREO DIRECTO DE CONTAMINANTES.....	87
4.2.2	MÉTODOS DE MODELOS DE SIMULACIÓN DE FUENTES DE CONTAMINACIÓN	88
4.2.3	MÉTODOS DE EVALUACIÓN RÁPIDA DE CONTAMINANTES	90
4.3	SELECCIÓN Y VALORIZACIÓN DE LA METODOLOGÍA ADECUADA PARA LA EJECUCIÓN DE PRUEBAS	91
4.3.1	PARÁMETROS PARA LA VALORIZACIÓN DE ALTERNATIVAS	91
4.3.2	SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA	93
4.3.3	TÉCNICAS DE MEDICIÓN DEL MÉTODO DE MONITOREO DIRECTO DE CONTAMINANTES DE FUENTES MÓVILES.....	94
4.3.4	DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO DE MEDICIÓN A BORDO Y DINAMÓMETRO DE RODILLOS A EMPLEARSE EN LAS PRUEBAS	95
4.3.5	TÉCNICAS DE MEDICIÓN DEL MÉTODO DE EVALUACIÓN RÁPIDA DE CONTAMINANTES DE FUENTES MÓVILES.....	104
4.4	SECUENCIA NECESARIA PARA DETERMINAR LAS EMISIONES CONTAMINANTES.....	106
4.4.1	AFLUENCIA VEHICULAR	107
4.4.2	PATRONES DE MANEJO	108
4.4.3	CICLO DE PRUEBA (TRABAJO).....	109
4.4.4	MEDICIÓN DE EMISIONES CON EQUIPO A BORDO	110
4.5	ELABORACIÓN DE UN CICLO DE PRUEBA PARA LA CIUDAD DE QUITO	112
4.5.1	ELABORACIÓN DE LA RUTA DE CIRCULACIÓN DEL VEHÍCULO PARA EL CICLO DE PRUEBA.....	112
4.6	COSTOS DE OPERACIÓN Y RECURSOS HUMANOS	118

4.6.1	PATRONES DE MANEJO PARA LA RUTA SELECCIONADA	120
4.7	GRÁFICO VELOCIDAD vs. TIEMPO A LO LARGO DE LA RUTA SELECCIONADA	120
4.8	PARÁMETROS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS	122
4.8.1	CONDICIONES GENERALES DEL ESTADO MECÁNICO DE LOS VEHÍCULOS DE PRUEBA	122
4.8.2	CONDICIONES AMBIENTALES	123
4.8.3	CONDICIONES DE MANEJO DE LOS VEHÍCULOS	123
4.8.4	HORA DE REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS	124
4.8.5	TIPO DE COMBUSTIBLE.....	124
4.9	PROCEDIMIENTO GENERAL DE PRUEBAS.....	125
4.9.1	PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN DE OPACIDAD PRUEBA ESTACIONARIA DE ACELERACIÓN LIBRE.....	125
4.9.2	PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN DE POTENCIA Y TORQUE EN DINAMÓMETRO DE RODILLOS LPS 3000	126
4.9.3	PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN DE OPACIDAD PRUEBA DINÁMICA.....	128
4.9.4	PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN CON EQUIPO A BORDO	129
4.10	SELECCIÓN DE ELEMENTOS DEL MOTOR PARA ANÁLISIS DE DESGASTE	131
4.10.1	CRITERIOS DE SELECCIÓN	132
4.10.2	PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DEL DESGASTE	132
4.10.3	DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE DURACIÓN DE LA PRUEBA	133
4.11	ANÁLISIS DE CONTAMINACIÓN DEL LUBRICANTE DEL MOTOR DEL VEHÍCULO DE PRUEBA.....	134
4.11.1	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL VEHÍCULO DE PRUEBA.....	135
4.12	DETERMINACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE CONTROL ESTADÍSTICO.....	136
4.12.1	GRÁFICOS DE CONTROL DE CALIDAD	136
4.13	INSTALACIÓN DE LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN	142
4.13.1	VERIFICACIÓN DEL ESTADO MECÁNICO DEL VEHÍCULO DE PRUEBAS.....	142
4.13.2	INSTALACIÓN DEL EQUIPO Y ACCESORIOS DE MEDICIÓN DE GASES A BORDO.....	144
4.13.3	ARMADO DE EQUIPO Y ACCESORIOS DE MEDICIÓN DE OPACIDAD ESTÁTICA (ACELERACIÓN LIBRE).....	149
4.13.4	ARMADO DE EQUIPO Y ACCESORIOS DE MEDICIÓN DE OPACIDAD DINÁMICA	149
4.13.5	ENCENDIDO Y VERIFICACIÓN DE FUNCIONAMIENTO DEL DINAMÓMETRO DE RODILLOS	150
4.14	PREPARACIÓN DEL DIESEL MICROEMULSIONADO CON AGUA	151
4.15	EJECUCIÓN DE PRUEBAS.....	155
4.15.1	PROCESAMIENTO DE DATOS.....	157

CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS	159
5.1 RESULTADOS DE POTENCIA Y TORQUE DEL MOTOR	159
5.1.1 RESULTADOS DE POTENCIA Y TORQUE DEL MOTOR FUNCIONANDO CON DIESEL PREMIUM	159
5.1.2 RESULTADOS DE POTENCIA Y TORQUE DEL MOTOR FUNCIONANDO CON DIESEL PREMIUM MICROEMULSIONADO CON 3%V DE AGUA	161
5.1.3 RESULTADOS DE POTENCIA Y TORQUE DEL MOTOR FUNCIONANDO CON DIESEL PREMIUM MICROEMULSIONADO CON 5%V DE AGUA	162
5.1.4 RESULTADOS DE POTENCIA Y TORQUE DEL MOTOR FUNCIONANDO CON DIESEL PREMIUM MICROEMULSIONADO CON 8%V DE AGUA	164
5.1.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE POTENCIA Y TORQUE	166
5.2 RESULTADOS DE OPACIDAD DINÁMICA	168
5.3 RESULTADOS DE OPACIDAD MÉTODO DE ACELERACIÓN LIBRE	170
5.4 PRUEBAS EN RUTA CON EQUIPO DE MEDICIÓN A BORDO	172
5.4.1 ÓXIDOS DE NITRÓGENO (NO _x)	172
5.4.2 HIDROCARBUROS NO COMBUSTIONADOS (HC)	174
5.4.3 MONÓXIDO DE CARBONO (CO).....	176
5.4.4 DIÓXIDO DE CARBONO (CO ₂)	178
5.4.5 MATERIAL PARTICULADO (PM)	180
5.5 GRÁFICOS DE CONTROL DE MEDIAS Y RANGOS DE LA EMISIÓN DE GASES CONTAMINANTES MEDIDOS EN LAS PRUEBAS EN RUTA	184
5.5.1 PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LOS GRÁFICOS DE CONTROL.....	184
5.5.2 ELABORACIÓN DE GRÁFICOS DE CONTROL	185
5.6 EVALUACIÓN EN EL RENDIMIENTO DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE	189
5.7 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS DE ACEITE DEL MOTOR	191
5.7.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE VISCOSIDAD CINEMÁTICA	192
5.7.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE NÚMERO TOTAL BASE (TBN)	193
5.7.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE METALES DE DESGASTE	193
5.7.4 ANÁLISIS DE DILUCIÓN DE AGUA EN EL ACEITE.....	195
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	196
6.1 CONCLUSIONES	196
6.2 RECOMENDACIONES	200
BIBLIOGRAFÍA	201
ANEXOS	204

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO I

Tabla 1-1: Requisitos del Diesel 2 de bajo contenido de azufre.	25
---	----

CAPÍTULO II

Tabla 2-1: Compuestos gaseosos de las emisiones diesel, transformación atmosférica y efectos biológicos.	35
--	----

Tabla 2-2: Inventario de emisiones a diesel del DMQ - 2007.....	40
--	----

Tabla 2-3: Venta anual de vehículos por tipo en Quito.	42
--	----

Tabla 2-4: Número de vehículos que prestan el servicio de transporte público en el DMQ.	43
---	----

Tabla 2-5: Límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor de gasolina- Marcha mínima o ralentí (prueba estática).....	44
--	----

Tabla 2-6: Límites máximos de opacidad de emisiones para fuentes móviles con motor diesel (prueba método de aceleración libre).	45
---	----

CAPÍTULO III

Tabla 3-1: Características del proceso de combustión del diesel y microemulsiones con agua.	71
---	----

CAPÍTULO IV

Tabla 4-1: Parámetros y factores de incidencia para la calificación de los métodos.....	91
--	----

Tabla 4-2: Calificación y selección de la alternativa del método de pruebas para medición de emisiones en fuentes móviles.	93
--	----

Tabla 4-3: Vías de mayor afluencia vehicular en la ciudad de Quito.....	107
--	-----

Tabla 4-4: Vías de mayor afluencia vehicular en la ciudad de Quito (continuación).	108
--	-----

Tabla 4-5: Muestra de vehículos a diesel para determinar la actividad media.	113
--	-----

Tabla 4-6: Muestra de vehículos a diesel para determinar la actividad media (continuación).	114
---	-----

Tabla 4-7: Vías seleccionadas para la ruta de prueba en la ciudad de Quito.	115
---	-----

Tabla 4-8: Clasificación del porcentaje y grado de pendientes de las vías de la ciudad de Quito.....	116
---	-----

Tabla 4-9: Grado de pendientes de las vías que forman la ruta de prueba de la ciudad de Quito.....	117
---	-----

Tabla 4-10: Resumen de distribución de pendientes a lo largo de la ruta seleccionada para las pruebas.	118
--	-----

Tabla 4-11: Inversión económica por servicios y alquiler de equipos.	119
--	-----

Tabla 4-12: Patrones de manejo medidos a utilizando un GPS.....	120
--	-----

Tabla 4-13: Distribución de gráficas de los tramos recorridos en la ruta de prueba.	121
Tabla 4-14: Propiedades del diesel microemulsionado con agua.	124
Tabla 4-15: Especificaciones técnicas del vehículo de prueba.	135
Tabla 4-16: Proporción de componentes para obtener un galón de diesel microemulsionado con agua.	154

CAPÍTULO V

Tabla 5-1: Valores de potencia del motor funcionando con diesel Premium.	159
Tabla 5-2: Valores de potencia del motor funcionando con diesel Premium microemulsionado con 3%V de agua.	161
Tabla 5-3: Valores de potencia del motor funcionando con diesel Premium microemulsionado con 5%V de agua.	163
Tabla 5-4: Valores de potencia del motor funcionando con diesel Premium microemulsionado con 8%V de agua.	164
Tabla 5-5: Porcentaje de disminución de emisiones de NOx del motor Toyota Hilux funcionando con diesel Premium microemulsionado con agua.	174
Tabla 5-6: Porcentaje de disminución de emisiones de HC del motor Toyota Hilux funcionando con diesel Premium microemulsionado con agua.	176
Tabla 5-7: Porcentaje de disminución de emisiones de CO del motor Toyota Hilux funcionando con diesel Premium microemulsionado con agua.	178
Tabla 5-8: Porcentaje de disminución de emisiones de CO ₂ del motor Toyota Hilux funcionando con diesel Premium microemulsionado con agua.	180
Tabla 5-9: Porcentaje de disminución de emisiones de PM (mg/m ³) del motor Toyota Hilux funcionando con diesel Premium microemulsionado con agua.	182
Tabla 5-10: Porcentaje de disminución de emisiones de PM (mg) del motor Toyota Hilux funcionando con diesel Premium microemulsionado con agua.	183
Tabla 5-11: Ecuaciones y constantes para cálculo de límites superior e inferior de gráficos de control.	185
Tabla 5-12: Promedios de medias y rangos para los gráficos de control del NOx.	187
Tabla 5-13: Límites superior e inferior de medias y rangos para los gráficos de control del NOx.	188
Tabla 5-14: Consumo de combustible utilizando diesel Premium y diesel microemulsionado con agua.	190
Tabla 5-15: Viscosidad del aceite requerido por el diseño del motor.	191
Tabla 5-16: Resultados de viscosidad y TBN del análisis de aceite SAE 15W40.	192
Tabla 5-17: Posible origen de las partículas metálicas del aceite SAE 15W40.	195
Tabla 5-18: Resultados de presencia de agua del análisis de aceite SAE 15W40.	195

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1-1: a) Ciclo de admisión y b) ciclo de compresión.	7
Figura 1-2: c) Ciclo de combustión y d) ciclo de expansión.....	8
Figura 1-3: a) Evoluciones termodinámicas en el diagrama P – v Ciclo Dese, b) Diagrama ciclo mixto.	9
Figura 1-4: Partes principales de un motor Diesel.....	10
Figura 1-5: Esquema general del sistema de combustible de un motor Diesel.....	11
Figura 1-6: Esquema general de una bomba de inyección rotativa diesel.....	13
Figura 1-7: Esquema general de una bomba de inyección en línea diesel.....	13
Figura 1-8: Partes de un inyector de combustible diesel.	14
Figura 1-9: Tipos de toberas de inyectores diesel – Principio de atomización.....	15
Figura 1-10: Sistema de inyección diesel Common Rail.	17
Figura 1-11: Curvas de desempeño de un motor diesel.	20
Figura 1-12: Resistencias externas de un vehículo en una pendiente.....	21
Figura 1-13: Contenido de azufre en el diesel del DMQ, febrero 2010 – junio 2011.	26

CAPÍTULO II

Figura 2-1: Proceso de formación del PM.....	30
Figura 2-2: Muestras de material particulado producto de la combustión de combustible diesel.	30
Figura 2-3: Comparación del tamaño de partículas emitidas por motores diesel con un cabello humano.....	31
Figura 2-4: Caracterización de las partículas de PM por tamaño según la penetración en el cuerpo humano.....	32
Figura 2-5: Concentración de material particulado de las emisiones de motores diesel.	33
Figura 2-6: Fotografía de la ciudad de Quito, visibilidad de partículas en suspensión.	36
Figura 2-7: Modelo tridimensional de la ubicación de la ciudad de Quito.	37
Figura 2-8: Reducción de opacidad por año modelo de los vehículos con motores diesel en Quito.	39
Figura 2-9: Emisiones por contaminante, por sector y por tipo de fuente del DMQ.	40
Figura 2-10: Conformación del parque vehicular en Quito al año 2009 por año modelo.	42
Figura 2-11: Evolución de las normas de emisiones EURO.....	46

CAPÍTULO III

Figura 3-1: Tendencia global de la cantidad de azufre en el diesel.....	48
Figura 3-2: Ejemplos de algunos estabilizadores de emulsiones.	54

Figura 3-3: Proceso de destabilización (descomposición) de la emulsión.	55
Figura 3-4: Diferentes tipos de emulsiones.	57
Figura 3-5: Tipos de emulsiones simples y múltiples.	58
Figura 3-6: Distribución general de tamaños de gotas de una emulsión.	58
Figura 3-7: Distribución de tamaños de gotas en función de la velocidad de agitación y de la tensión interfacial.	59
Figura 3-8: Diámetro promedio de la gota de emulsión de agua en aceite.	59
Figura 3-9: Aspecto de una macroemulsión líquido - líquido.	60
Figura 3-10: Microestructura de una microemulsión líquido - líquido.	61
Figura 3-11: Aspecto de una microemulsión líquido - líquido.	61
Figura 3-12: Proceso de obtención de la emulsión de dos líquidos.	62
Figura 3-13: Moléculas anfipáticas del surfactante.	62
Figura 3-14: Composición aproximada de los gases de escape de un motor ciclo diesel.	63
Figura 3-15: Composición de una gota de diesel microemulsionado con agua.	65
Figura 3-16: Aspecto de combustibles microemulsionados con agua.	65
Figura 3-17: Reducción de gases contaminantes y PM utilizando diesel microemulsionado con agua.	66
Figura 3-18: Proceso general de microexplosión de la gota diesel microemulsionado con agua.	67
Figura 3-19: Secuencia y tiempo de la combustión de una gota de diesel.	68
Figura 3-20: Secuencia y tiempo de la combustión de una gota de diesel microemulsionado con agua.	69
Figura 3-21: Partícula de carbón producto de la combustión de una gota de diesel.	70
Figura 3-22: Partícula de carbón producto de la combustión de una gota de DMA con 25%V de agua.	71
Figura 3-23: Mediciones de torque vs. velocidad del motor, utilizando diesel puro y microemulsión con 10%V y 15%V de agua.	73
Figura 3-24: Consumo específico de combustible vs. velocidad del motor, utilizando diesel puro y microemulsión con agua.	73
CAPÍTULO IV	
Figura 4-1: Ciclo de prueba IM 240.	78
Figura 4-2: Ciclo de prueba FTP -75.	79
Figura 4-3: Ciclo de prueba japonés de 10 y 15 modos J 10-15M.	79
Figura 4-4: Esquema de un sistema general de medición de emisiones en laboratorio.	80
Figura 4-5: Laboratorio de emisiones con un vehículo ubicado sobre el dinamómetro de chasis.	81

Figura 4-6: Esquema de instalación de un quipo de medición de emisiones a bordo HORIBA OBS 2000.....	82
Figura 4-7: Equipo de medición a bordo de emisiones vehiculares.....	83
Figura 4-8: Esquema de un sistema general de un detector remoto de medición de emisiones.	84
Figura 4-9: Medición de emisiones con equipo detector remoto en la ciudad de Juárez México.....	86
Figura 4-10: Esquema de instalación del equipo de medición a bordo Montana System OEM 2100.....	97
Figura 4-11: Ejemplo de localización de la instalación del equipo Montana System OEM 2100.....	97
Figura 4-12: Pantalla de operación del OEM 2100.....	99
Figura 4-13: Vehículos sobre el dinamómetro de rodillos LPS 3000.	100
Figura 4-14: Disposición del sistema de ventilación del banco dinamómetro LPS 3000.	102
Figura 4-15: Pinza trigger.....	102
Figura 4-16: Pantalla de sincronización de las revoluciones del motor con el software LPS 3000.	103
Figura 4-17: Principio de medición del opacímetro.	104
Figura 4-18: Interpretación del porcentaje de opacidad.	105
Figura 4-19: Equipo de medición de opacidad - opacímetro MAHA MDO2.	106
Figura 4-20: Elementos mecánicos de la bomba de inyección e inyectores para el análisis de desgaste.....	131
Figura 4-21: Gráfica de las medidas de tendencia central y dispersión (μ, σ).	138
Figura 4-22: Control del proceso de medición.....	138
Figura 4-23: Control de mediciones que presentan influencia externa.	139
Figura 4-24: Ejemplo de gráfico de control para Medias.	141
Figura 4-25: Ejemplo de gráfico de control para Rangos.	142
Figura 4-26: Inspección visual y de funcionamiento del vehículo de pruebas Toyota Hilux 1998.....	144
Figura 4-27: Ubicación de equipo de medición a bordo y baterías dentro del vehículo de pruebas.....	145
Figura 4-28: Instalación del sensor de revoluciones y cinta reflectiva sobre el cigüeñal del motor.	145
Figura 4-29: Conexión del sensor de revoluciones al módulo array del equipo de medición a bordo.	145
Figura 4-30: Instalación y conexión del sensor de temperatura del aire de admisión.	146
Figura 4-31: Instalación y conexión del sensor de presión del equipo de medición a bordo.	146

Figura 4-32: Conexión del GPS al equipo de medición a bordo Montana System OEM 2100.....	147
Figura 4-33: Sondas de escape y mangueras de muestreo del equipo a bordo.....	147
Figura 4-34: Instalación de trampas de agua y de PM en el equipo de medición a bordo.	147
Figura 4-35: Instalación de sondas a la salida del tubo de escape del vehículo de pruebas.....	148
Figura 4-36: Orden de encendido del equipo de medición a bordo Montana System OEM 2100.....	148
Figura 4-37: Encendido del equipo de medición a bordo Montana System OEM 2100.	149
Figura 4-38: Instalación del opacímetro para la medición de opacidad estática (aceleración libre).	149
Figura 4-39: Instalación del opacímetro para la medición de opacidad dinámica.	150
Figura 4-40: Ventanas de diálogo del dinamómetro de rodillos LPS 3000 y opacímetro LON.....	150
Figura 4-41: Verificación de funcionamiento del dinamómetro de rodillos LPS 3000 y opacímetro LON.	151
Figura 4-42: Componentes para obtener el diesel microemulsionado con agua.	151
Figura 4-43: Volumen de diesel Premium.	152
Figura 4-44: Volumen de componente emulsificador.	152
Figura 4-45: Vertido de componente emulsificador en diesel Premium.....	152
Figura 4-46: Volumen de agua destilada.....	153
Figura 4-47: Vertido de agua destilada en diesel Premium.	153
Figura 4-48: Diesel Premium microemulsionado con agua (8%V de agua).....	153
Figura 4-49: Color del diesel microemulsionado con diferentes porcentajes (%V) de agua.....	154
Figura 4-50: Resultados de una prueba de potencia y torque del motor Toyota Hilux 1998 usando diesel microemulsionado con 5%V de agua.	157
Figura 4-51: Resultados de varias pruebas de opacidad método de aceleración libre: (a) con diesel Premium, diesel microemulsionado con 3%V de agua (b), 5%V de agua (c) y 8%V de agua (d).....	158
Figura 4-52: Descarga de combustible para determinar el consumo de combustible.	158

ÍNDICE DE GRÁFICOS

CAPÍTULO IV

Gráfico 4-1: Velocidad vs. Tiempo para un recorrido a través de la ruta de pruebas (Primer tramo CRCV Guamaní – La Villaflora \approx 10 km).....	121
Gráfico 4-2: Velocidad vs. Tiempo para un recorrido a través de la ruta de pruebas (Segundo tramo La Villaflora - Hospital Metropolitano \approx 8,7 km).	121
Gráfico 4-3: Velocidad vs. Tiempo para un recorrido a través de la ruta de pruebas (Tercer tramo Hospital Metropolitano – El Labrador, Aeropuerto \approx 6,7 km).....	122
Gráfico 4-4: Velocidad vs. Tiempo para un recorrido a través de la ruta de pruebas. (Cuarto tramo El Labrador, Aeropuerto – C.C. El Condado \approx 4,7 km).	122

CAPÍTULO V

Gráfico 5-1: Curvas de potencia del motor funcionando con diesel Premium (5 pruebas).	160
Gráfico 5-2: Curvas de torque del motor funcionando con diesel Premium.....	160
Gráfico 5-3: Curvas de potencia del motor funcionando con diesel Premium microemulsionado con 3%V de agua.....	161
Gráfico 5-4: Curvas de torque del motor funcionando con diesel Premium microemulsionado con 3%V de agua.....	162
Gráfico 5-5: Curvas de potencia del motor funcionando con diesel Premium microemulsionado con 5%V de agua.....	163
Gráfico 5-6: Curvas de torque del motor funcionando con diesel Premium microemulsionado con 5%V de agua.....	164
Gráfico 5-7: Curvas de potencia del motor funcionando con diesel Premium microemulsionado con 8%V de agua.....	165
Gráfico 5-8: Curvas de torque del motor funcionando con diesel Premium microemulsionado con 8%V de agua.....	165
Gráfico 5-9: Curvas de potencia del motor Toyota Hilux.	166
Gráfico 5-10: Potencia del motor ciclo diesel del vehículo Toyota Hilux.....	167
Gráfico 5-11: Curvas de torque del motor Toyota Hilux.	167
Gráfico 5-12: Torque del motor ciclo diesel del vehículo Toyota Hilux.	168
Gráfico 5-13: Opacidad dinámica del motor ciclo diesel del vehículo Toyota Hilux (prueba Lug Down).	170
Gráfico 5-14: Opacidad del motor ciclo diesel del vehículo Toyota Hilux (método de aceleración libre).....	171
Gráfico 5-15: Valores promedio por prueba de emisiones de NOx del motor Toyota Hilux.....	172
Gráfico 5-16: Valores promedio total de emisiones de NOx.....	173

Gráfico 5-17: Valores promedio por prueba de emisiones de HC del motor Toyota Hilux.....	174
Gráfico 5-18: Valores promedio total de emisiones de HC.....	175
Gráfico 5-19: Valores promedio por prueba de emisiones de CO del motor Toyota Hilux.....	176
Gráfico 5-20: Valores promedio total de emisiones de CO.....	177
Gráfico 5-21: Valores promedio por prueba de emisiones de CO ₂ del motor Toyota Hilux.....	178
Gráfico 5-22: Valores promedio total de emisiones de CO ₂	179
Gráfico 5-23: Valores promedio por prueba de emisiones de PM del motor Toyota Hilux.....	181
Gráfico 5-24: Valores promedio total de emisiones de PM.....	181
Gráfico 5-25: Cantidad total de emisiones de PM (mg) del motor Toyota Hilux.....	183
Gráfico 5-26: Valores de NO _x utilizados en las gráficas de control: prueba 1- medición 1 – Diesel Premium.	186
Gráfico 5-27: Valores de NO _x utilizados en las gráficas de control: prueba 2- medición 1 – Diesel Premium.	186
Gráfico 5-28: Valores de NO _x utilizados en las gráficas de control: prueba 3- medición 1 – Diesel Premium.	186
Gráfico 5-29: Gráfico de control para rangos del NO _x – Diesel Premium.....	188
Gráfico 5-30: Gráfico de control para medias del NO _x – Diesel Premium.	189
Gráfico 5-31: Distancia recorrida por el vehículo de pruebas Toyota Hilux utilizando un galón de combustible (rendimiento de consumo de combustible).....	190
Gráfico 5-32: Tendencia del valor de viscosidad del aceite hasta llegar al valor límite inferior aceptable.....	193
Gráfico 5-33: Cantidad de metales de desgaste en el aceite del motor usando diesel Premium y diesel microemulsionado con agua.....	194

RESUMEN

En el presente proyecto se investiga sobre la eficiencia y la disminución de gases contaminantes y material particulado emitido por el motor ciclo diesel, que utiliza para su funcionamiento combustible diesel microemulsionado con agua.

El proyecto involucra la recopilación de información básica necesaria para comprender el funcionamiento del motor, así como de los componentes que lo conforman, se indica los tipos de combustibles alternativos que se puede utilizar con el motor diesel como: biodiesel, diesel emulsionado con agua, etc. Se recopila información de los ciclos de pruebas y equipos que se utilizan para medir las emisiones de gases contaminantes originadas por los motores de combustión interna.

Se plantean posibles alternativas de metodologías para la medición de emisiones contaminantes, considerando que todas cumplan con los requisitos especificados en normas internacionales. La selección de la alternativa más adecuada se la hace principalmente en función de la disponibilidad de equipos, confiabilidad, adaptabilidad, tiempo de ejecución y facilidad de ejecución de cada una de ellas.

Una vez seleccionada la alternativa de la metodología, se establece los procedimientos y equipos para la ejecución de las pruebas de medición de: emisiones de gases en ruta, potencia, torque, opacidad y consumo de combustible del motor. Se indica el procedimiento de preparación del diesel microemulsionado con 3%V, 5%V y 8%V de agua. Seguidamente, se elabora el ciclo de pruebas que involucra la seleccionar la ruta de circulación, patrones de manejo y condiciones generales del estado del vehículo de prueba. Posterior a la ejecución de las pruebas, se analiza los resultados de las mediciones de emisiones de CO, CO₂, HC, NO_x y material particulado PM, opacidad, potencia y torque. Se verifica la repetibilidad y reproducibilidad de la metodología aplicada en las mediciones, utilizando gráficos de control de Medias y Rangos. Además, se determina el rendimiento de combustible por kilómetro recorrido y estado físico-químico del aceite usado por el motor durante el periodo de duración de las pruebas.

PRESENTACIÓN

Actualmente en las diferentes ciudades del país el servicio de transporte de carga y servicio público se lo realiza con camiones y buses que tienen motores ciclo diesel. Las características propias de estos vehículos es su envejecimiento acelerado debido al servicio que prestan, lo que provoca un incremento en su costo operacional por un aumento en el consumo de combustible, además se convierte en una fuente de contaminación ambiental ya que emiten gases tóxicos como CO, CO₂, NO_x, SO₂ e hidrocarburos no combustionados (HC), incluidos los hidrocarburos policíclicos aromáticos (HPA) y Material Particulado PM. El contenido de azufre en el combustible diesel origina que el motor emita gran cantidad de PM, el PM fino (partículas finas de diámetro <2.5 µm (PM2.5) y ultrafinas de diámetro <1 µm (PM1.0). Varios estudios han comprobado que la exposición continua a estos gases origina muertes prematuras de los seres vivos, decadencia de las personas que sufren de asma, otras enfermedades respiratorias y cáncer.

Para disminuir las emisiones de gases contaminantes del motor diesel, se han planteado varias alternativas tecnológicas para el sector del transporte como: implementar normas de emisiones más exigentes para vehículos nuevos, actualizar normas de combustibles, instalar dispositivos postcombustión, utilizar combustibles alternativos como biodiesel, combustibles microemulsionados, y generar incentivos para la adquisición de vehículos con normas de baja emisión.

El presente estudio permitirá conocer sobre los beneficios ambientales de la aplicación de combustible diesel microemulsionado con agua, los resultados obtenidos de este estudio permitirán plantear la factibilidad de su aplicación en el país.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Estudiar las emisiones de gases contaminantes de un motor de ciclo diesel, usando combustible microemulsionado con agua.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las concentraciones de las emisiones contaminantes del motor utilizando combustible diesel Premium y combustible microemulsionado con agua, mediante pruebas estacionarias y pruebas en ruta.
- Determinar el consumo de combustible diesel Premium y combustible microemulsionado con agua aplicando pruebas dinámicas en las rutas establecidas previamente.
- Comparar las potencias reales del motor utilizando combustible diesel Premium y combustible microemulsionado con agua.
- Analizar la contaminación producida en el lubricante del motor al usar combustible diesel Premium y combustible microemulsionado con agua.

ALCANCES

- Se diseñará el protocolo de pruebas y rutas de pruebas, en donde se tomará en cuenta las distancias de recorrido, número de paradas, grados de inclinación de las vías, etc.
- Se determinará la composición de la cantidad de azufre en el combustible diesel Premium que se expende en las gasolineras de la ciudad de Quito, antes de proceder a obtener el combustible microemulsionado con agua que se utilizará en las pruebas estacionarias, pruebas dinámicas en dinamómetro y pruebas en ruta.
- Se realizará pruebas estáticas y dinámicas con un vehículo de motor ciclo diesel, utilizando para el funcionamiento del motor diesel Premium y diesel Premium microemulsionado con agua.
- Se determinará las concentraciones de las emisiones contaminantes producidas por el motor diesel, aplicando las pruebas estacionarias, dinámicas y pruebas en ruta cuando el motor utilice diesel Premium y combustible microemulsionado con agua. Se utilizará equipos de medición como: analizador de gases (opacímetro), medidor de flujo, analizador de concentración de gases para pruebas en ruta, dinamómetro, GPS y cronómetro.
- Se determinará la potencia real del motor utilizando un dinamómetro de chasis, cuando el motor utilice combustible microemulsionado y cuando utilice diesel Premium.
- Se realizará un análisis del estado de contaminación del lubricante del motor, cuando utilice diesel Premium y utilice combustible microemulsionado con agua.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DIESEL

1.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DIESEL

1.1.1 MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA

Un motor de combustión interna es una máquina en donde se transforma la energía química del combustible en energía calórica y finalmente en energía mecánica, esta transformación se obtiene en el momento que se quema el combustible dentro de la cámara de combustión del motor.

1.1.2 MOTOR DIESEL

El motor diesel inventado y patentado por Rudolf Diesel en 1892, es un motor de combustión interna, donde las principales diferencias con un motor ciclo Otto es la forma de ingreso del aire al motor, el sistema de alimentación de combustible y la forma en la que se realiza la combustión. Su desarrollo ha apuntado a obtener mayor potencia con menos combustible. “En la actualidad un motor Diesel ha disminuido la emisión de gases contaminantes en un 95% y el consumo de combustible en 20% a 30%”¹ en comparación al consumo de combustible de un motor a gasolina de características similares para una misma potencia.

La relación de compresión está comprendida generalmente entre 15:1 y 25:1, aunque puede llegar a una relación de 30:1. En consecuencia, el motor diesel tiene un valor de rendimiento más alto que un motor ciclo Otto.

1.1.2.1 Características constructivas

El motor ciclo diesel genera altas presiones, esfuerzos mecánicos importantes y altas temperaturas (promedio 700°C dentro de los cilindros), por tal motivo la construcción de sus elementos fijos y móviles es más robusta, siendo aptos para

¹ HISPANIC PR WIRE; EL SISTEMA DE RIEL COMÚN HACE QUE LOS MOTORES DIESEL SEAN LIMPIOS;
www.hispanicprwire.com/generanews.php?!=es&id=10141&cha=2

trabajos duros, necesitan una refrigeración muy eficaz y mayor calidad en los aceites de lubricación.

1.1.2.2 Tipos de motores diesel

Los motores diesel se pueden clasificar de la forma siguiente:

- Por el sistema de enfriamiento.
- Por el número de cilindros y su disposición.
- Por la distancia de recorrido del pistón y diámetro del cilindro.
- Por la cilindrada y potencia entregada.
- Por el campo de aplicación del motor.

1.1.3 FUNCIONAMIENTO

A los cilindros del motor ingresa aire que es comprimido por los pistones alcanzando una presión interna muy alta, esto origina que se eleve la temperatura del aire. Se inyecta combustible a altas presiones, el combustible atomizado entra en contacto con el aire caliente quemando el combustible (combustiona). La combustión genera fuerzas de expansión que actúan sobre la cabeza del pistón y hacen que los pistones se muevan desde el punto muerto superior hasta el punto muerto inferior, es decir que se genera un movimiento lineal. La biela transmite este movimiento al eje del cigüeñal, generando un movimiento circular, se obtiene además un torque al extremo final del cigüeñal. El funcionamiento del motor diesel depende del sistema de inyección de combustible, ya que éste entrega el combustible a los cilindros; debido a ésta característica, éste sistema se encuentra en constante estudio y desarrollo, además una mejora en su diseño da como resultado un mejor funcionamiento del motor para disminuir las emisiones de gases contaminantes, así como del ruido producido.

Las revoluciones de giro del cigüeñal del motor diesel son reguladas por la cantidad de combustible que se inyecta en el interior de los cilindros.

1.1.4 CICLOS DE OPERACIÓN DEL MOTOR DIESEL

Se denomina ciclo operativo a la sucesión de operaciones que se realizan en el interior del cilindro y se repiten periódicamente. El ciclo se mide por el número de carreras del pistón necesarias para realizarlo. Los motores alternativos son de cuatro tiempos, cuando el ciclo completo se realiza en cuatro carreras del pistón (dos vueltas del cigüeñal), y son de dos tiempos, cuando son suficientes dos carreras para completar el ciclo. Los tiempos del motor diesel son los siguientes:

- Admisión de la carga en el cilindro.
- Compresión de la carga.
- Combustión y expansión.
- Expulsión o escape de los productos de la combustión.

1.1.4.1 Admisión (proceso isobárico 1 - 2)

El proceso se origina a presión constante. El pistón se encuentra en el punto muerto superior (PMS), se abre la válvula de admisión, se inicia el descenso del pistón hacia el punto muerto inferior (PMI), entrando aire al cilindro.

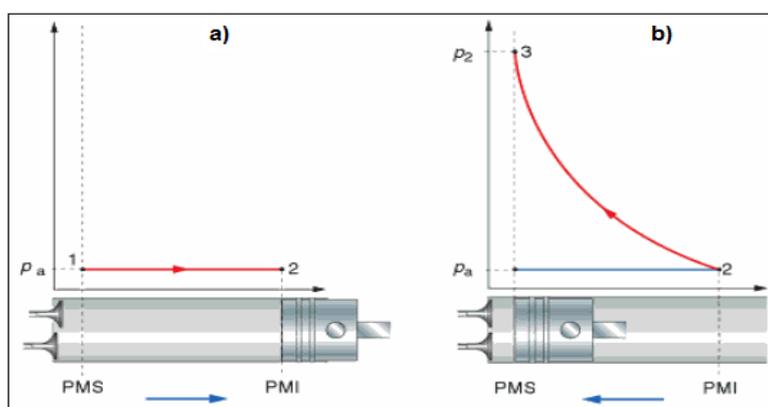


Figura 1-1: a) Ciclo de admisión y b) ciclo de compresión.²

1.1.4.2 Compresión (proceso adiabático 3 - 4)

Este proceso se genera sin transferencia de energía calorífica, es decir no se consideran pérdidas de calor. Cuando el pistón llega al PMI se cierra la válvula de admisión y el pistón inicia su ascenso hasta el PMS comprimiendo el aire. La compresión eleva la temperatura del aire.

² SANZ SANTIAGO, Motores – mantenimiento de vehículos autopropulsados; Editex, 2007; Pág. 48.

1.1.4.3 Inyección y combustión (proceso isobárico 3 – 4)

Al inyectar el combustible dentro del cilindro, entra en contacto con el aire caliente y se origina la combustión, generando energía calorífica Q_1 (adición de calor a presión constante). De un análisis más complejo se debería tomar en cuenta el ciclo dual, el cual considera al proceso de combustión como una combinación de dos procesos de transferencia de calor: uno a volumen constante y otro a presión constante.

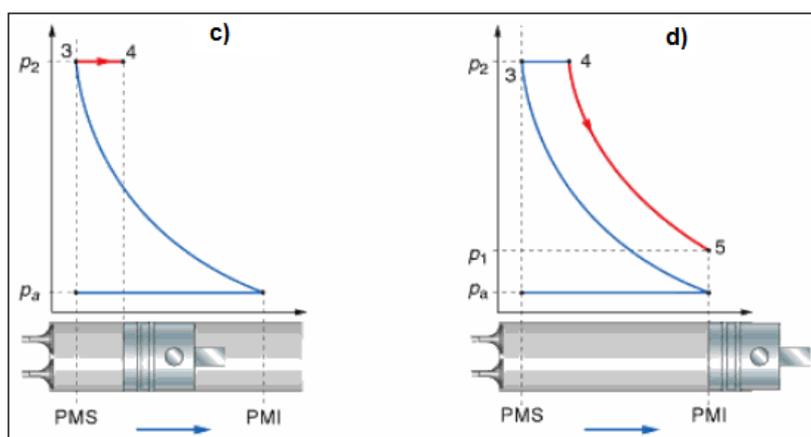


Figura 1-2: c) Ciclo de combustión y d) ciclo de expansión.³

1.1.4.4 Expansión (proceso adiabático 4 - 5)

La expansión es un proceso sin generación de energía calorífica (sin intercambio de calor con el medio externo), el pistón baja del PMS al PMI. La presión interna disminuye a medida que aumenta el volumen del cilindro.

1.1.4.5 Rechazo de calor y escape (proceso isométrico 5 - 2 e isobárico 2 - 1)

El rechazo de calor Q_2 es a volumen constante. Cuando el pistón llega al PMI se abre la válvula de escape provocando la evacuación de los gases quemados a la atmósfera, la presión en el cilindro baja hasta la presión atmosférica y una cantidad de calor no transformado en trabajo es cedido al medio externo. El resto de gases son expulsados mientras el pistón sube hasta el PMS (proceso de escape a presión constante). Cuando llega al PMS se cierra la válvula de escape y se abre la de admisión iniciándose un nuevo ciclo con el descenso del pistón.

³ SANZ SANTIAGO, Motores – mantenimiento de vehículos autopropulsados; Editex, 2007; Pág. 49.

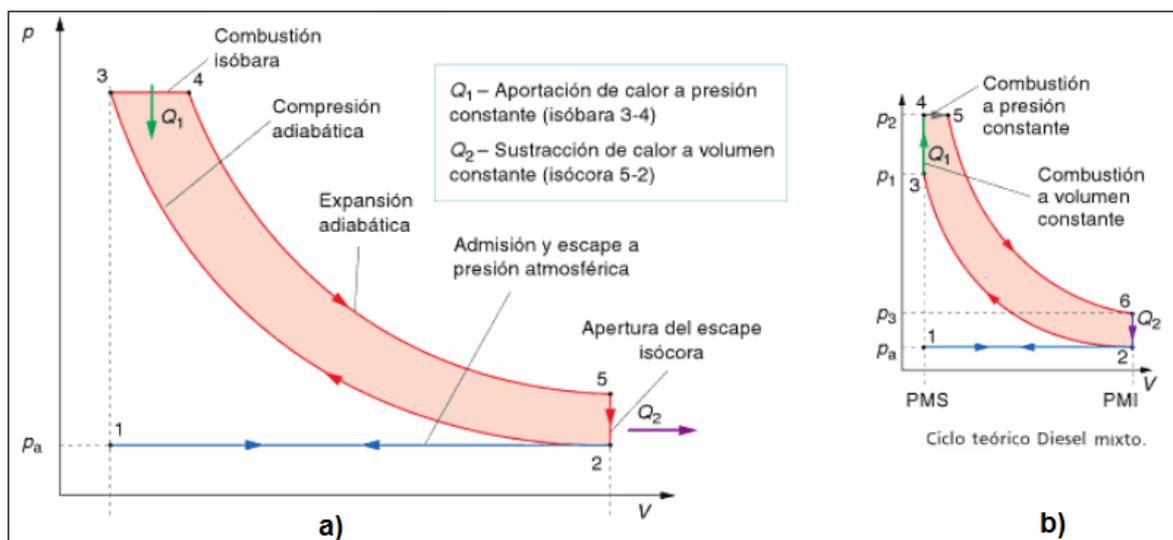


Figura 1-3: a) Evoluciones termodinámicas en el diagrama P – v Ciclo Dise, b) Diagrama ciclo mixto.⁴

En la práctica el ciclo de combustión es más complejo para su análisis (ciclo mixto), la característica principal del ciclo mixto es que el aporte de calor Q_1 se realiza en dos fases (ver la Figura 1-3 b).

Combustión a volumen constante (isométrico 3 - 4). La inyección en el punto 3 inflama el combustible y la presión aumenta instantáneamente.

Combustión a presión constante (isobárico 4 - 5). El pistón comienza a descender, aumenta el volumen y la presión se mantiene constante hasta el punto 4. El pistón solo realiza un pequeño recorrido durante la combustión (4 - 5). Esto permite que los motores Diesel de ciclo mixto puedan funcionar con regímenes elevado.

1.2 SISTEMAS DEL MOTOR DIESEL

El motor diesel para su funcionamiento consta de los siguientes sistemas:

- Bloque del motor.
- Sistema de arranque.
- Sistema de alimentación de combustible.
- Sistema de refrigeración.
- Sistema de lubricación.

⁴ SANZ SANTIAGO, Motores – mantenimiento de vehículos autopropulsados; Editex, 2007; Pág. 50.

- Sistema de admisión de aire.
- Sistema de escape de gases de combustión.
- Sistema de precalentamiento, etc.

El funcionamiento combinado de estos sistemas, permiten poner en marcha el motor diesel. El sistema de arranque pone en marcha el motor; el sistema de combustible provee al motor de la cantidad idónea y en el tiempo correspondiente el diesel; el sistema de enfriamiento controla la temperatura de trabajo del motor, el sistema de lubricación se encarga de disminuir la fricción entre los elementos mecánicos acoplados, prevenir el desgaste y enfriar; el aire ingresa al motor a través del sistema de admisión y los gases producto de la combustión salen del motor a través del sistema de escape.

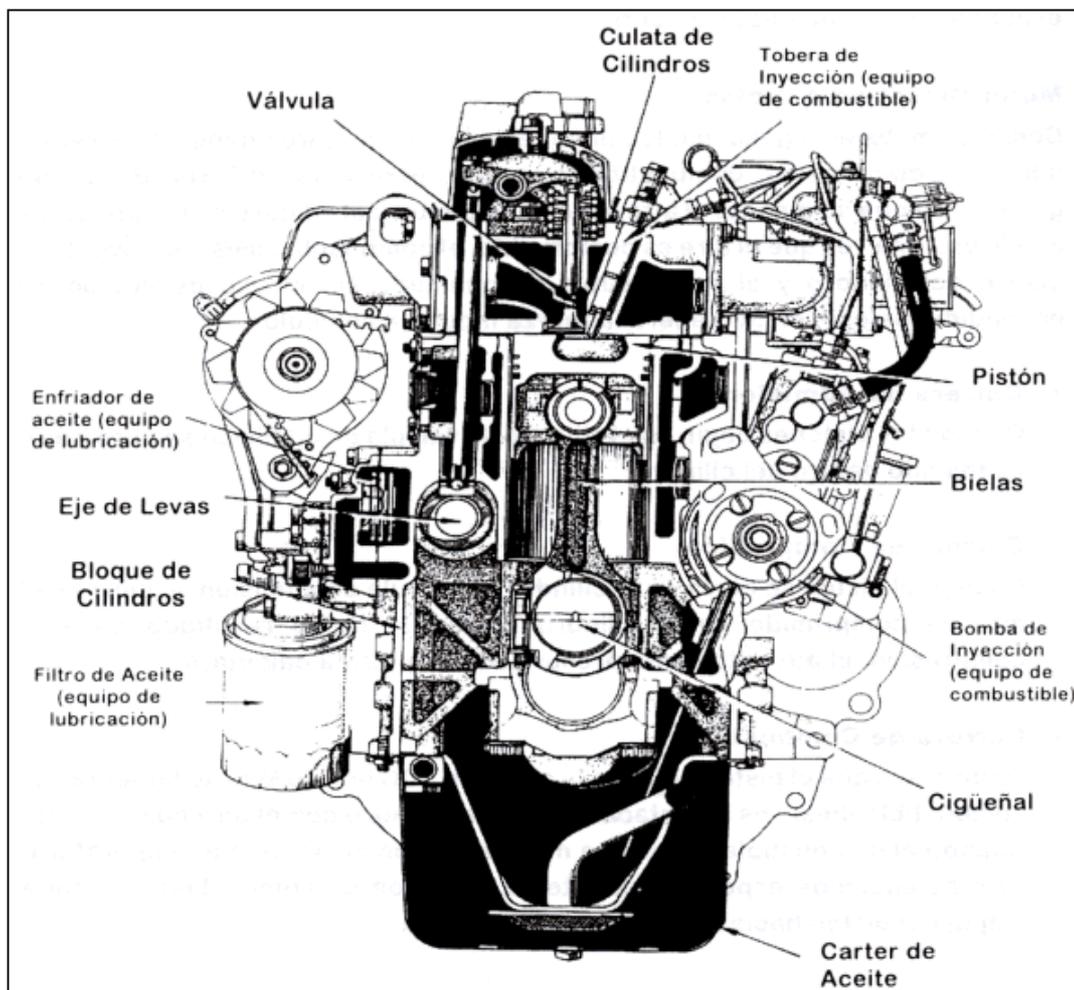


Figura 1-4: Partes principales de un motor Diesel.⁵

⁵ EL MOTOR DIESEL; <http://locomotor73.blogspot.com/2011/04/el-motor-diesel.html>

1.2.1 ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE EN LOS MOTORES DIESEL

El sistema de inyección se divide en dos partes fundamentales:

- Circuito de baja presión.
- Circuito de alta presión.

En la Figura 1-5 se indica un esquema general de los dos circuitos de alimentación de combustible:

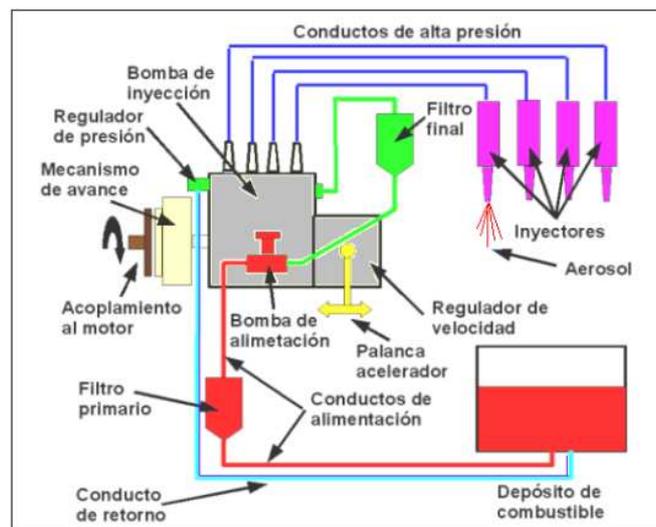


Figura 1-5: Esquema general del sistema de combustible de un motor Diesel.⁶

1.2.1.1 Circuito de baja presión

El circuito que se utiliza en los motores ciclo diesel, para llevar el combustible desde el depósito hasta el interior de la bomba de inyección se denomina circuito de baja presión.

1.2.1.2 Circuito de alta presión

Este circuito recibe el combustible proveniente del circuito de baja presión, está formado por una bomba de inyección que comprime el combustible elevando la presión del combustible dentro del sistema, en algunos vehículos la presión llega a superar 2000 bares, las tuberías de acero conducen el combustible que sale de la bomba de inyección a cada uno de los inyectores que están instalados sobre la culata del motor, uno por cilindro, debido a la alta presión y forma de las toberas

⁶ SISTEMA DE INYECCIÓN DIESEL; <http://www.sabelotodo.org/automovil/inyecciondiesel.html>

de los inyectores pulverizan el combustible en sus respectivas cámaras de combustión.

Los elementos principales que forman el sistema de alimentación de un motor diesel son los siguientes:

1.2.1.3 Tanque de combustible

El combustible diesel necesario para operar el motor se almacena en el tanque de combustible, es fabricado normalmente de acero o de aluminio. El tamaño del tanque depende del tipo de operación en que el vehículo va a ser utilizado. Normalmente, un tanque de combustible consta de una cubierta, un tubo de recolección de combustible y un respiradero del tanque.

1.2.1.4 Bombas de inyección

La bomba de inyección transforma la energía mecánica del motor en presión del combustible y lo envía a los inyectores situados en la culata y estos a su vez inyectan el combustible a alta presión, en la cantidad justa y en el instante adecuado, en cada cilindro del motor.

Las bombas de inyección son fabricadas con gran precisión para ser capaces de aportar la cantidad exacta de combustible según las necesidades de funcionamiento del motor, enviando la misma cantidad a cada cilindro, permitiendo que la inyección sea instantánea.

Dependiendo del modelo y diseño del motor se puede tener una bomba de inyección en línea o una bomba de inyección rotativa (tipo distribuidor).

1.2.1.4.1 Bomba de inyección rotativa

Bomba de inyección rotativa se usa principalmente en motores pequeños, y tiene un émbolo único para bombear el combustible a los cilindros.

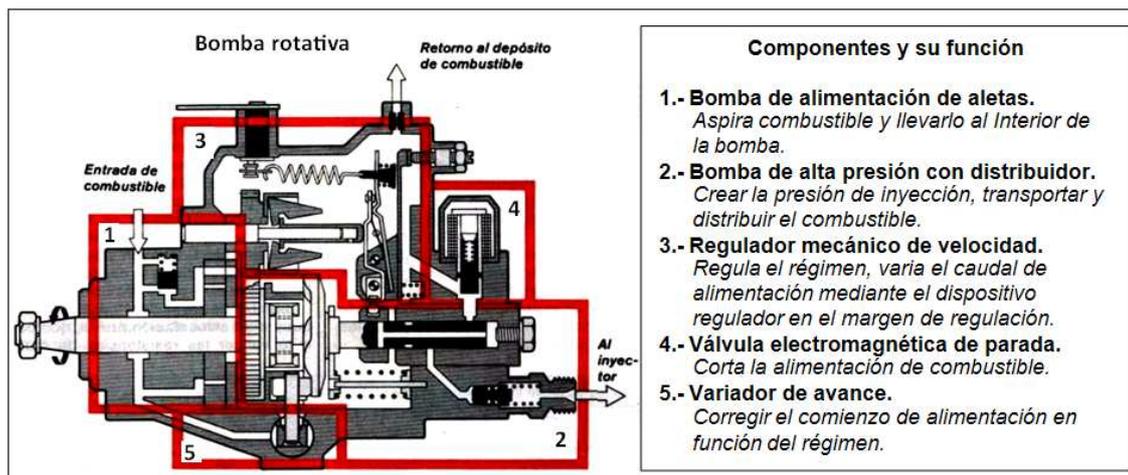


Figura 1-6: Esquema general de una bomba de inyección rotativa diesel.⁷

1.2.1.4.2 Bomba de inyección en línea

Bomba de inyección en línea se usa para motores más grandes. Opera con un émbolo para cada cilindro del motor, y en consecuencia tiene una capacidad mucho mayor.

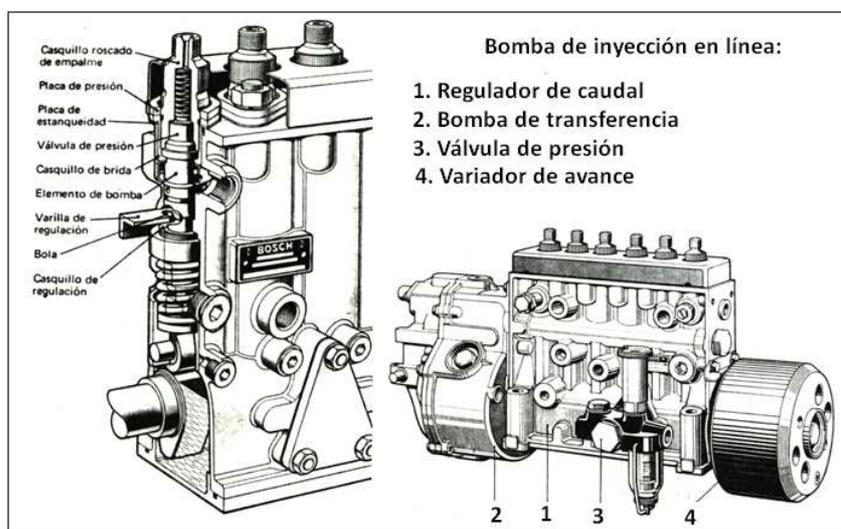


Figura 1-7: Esquema general de una bomba de inyección en línea diesel.⁸

1.2.1.5 Filtros de combustible

El combustible debe estar absolutamente limpio antes de entrar a la bomba de inyección, el combustible pasa a través de filtros que contienen cartuchos de papel plegado. El cuerpo del filtro y el cartucho de filtro son integrales.

⁷ EL SISTEMA DE INYECCIÓN DIESEL; <http://davidfloresdiesel.blogspot.com/>

⁸ EL SISTEMA DE INYECCIÓN DIESEL; <http://davidfloresdiesel.blogspot.com/>

1.2.1.6 Cañerías de combustible

Las cañerías de entrega de combustible desde la bomba de inyección a los inyectores se fabrican de tubo de acero de alta resistencia y espesor suficiente para soportar la alta presión de trabajo. El diámetro interno de las cañerías se adapta para cada tipo de motor.

1.2.1.7 Inyectores de combustible diesel

El inyector es el elemento que introduce en la cámara de combustión del cilindro la cantidad de combustible precisa para que se produzca la combustión y funcione el motor.

El tamaño de la tobera, medido por su diámetro, y la presión del combustible enviado por la bomba, definen el tamaño de las gotas que entran en el cilindro, de forma que a mayor presión y a menor diámetro del orificio más pequeñas son las gotas pulverizadas, cuanto menor sea el tamaño de la población de gotas menor es el tiempo necesario para la combustión, menor la relación de combustión a presión constante, ofrece mayor facilidad de combustión debido al mejor contacto del combustible con el aire caliente y eleva el rendimiento térmico del motor.

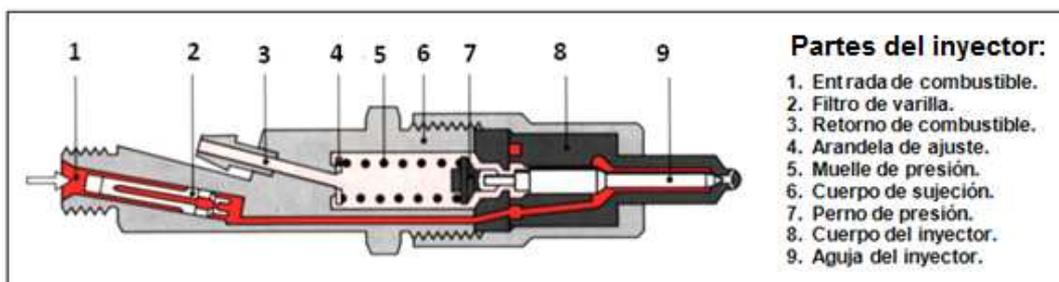


Figura 1-8: Partes de un inyector de combustible diesel.⁹

1.2.1.7.1 Patrón de atomización

La forma de la descarga en los orificios de la tobera del inyector se llama patrón de atomización. El diseño de la cámara de combustión determina el patrón de atomización requerido. Por ejemplo se puede tener el patrón de atomización de una tobera de cuatro orificios, en la cual se descarga el combustible por cuatro

⁹ <http://www.talldemecanica.com/tiendarecambios/inyectores-de-coomon-rail/26-r.html>

orificios pequeños, del mismo tamaño para producir cuatro atomizaciones de tamaño uniforme.

El patrón de atomización de la tobera se determina por características como el número, tamaño, longitud y ángulo de los orificios y también por la presión del combustible dentro del inyector. Todos estos factores influyen en la forma y longitud de la atomización.

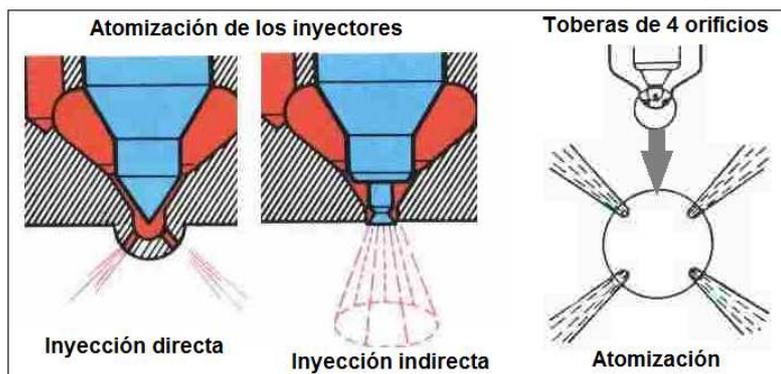


Figura 1-9: Tipos de toberas de inyectores diesel – Principio de atomización.¹⁰

1.2.1.7.2 Tobera de inyector

La función de la tobera es inyectar una cantidad de combustible en la cámara de combustión en una forma en que pueda combustionarse por completo. Para ello, existen diversos tipos de toberas, con variaciones en la longitud, número de orificios y ángulo de atomización. El tipo de tobera que se utilice en un motor depende de los requisitos particulares de sus cámaras de combustión para mejorar la combustión y bajar las emisiones de gases y de material particulado.¹¹

Los tipos de toberas son las siguientes:

- Toberas de un solo orificio.
- Toberas de orificios múltiples.
- Toberas de vástago largo.
- Toberas de aguja.
- Toberas de demora.
- Tobera Pintaux – pre ignición.

¹⁰ <http://wwwmecanicadieselequipo4.blogspot.com/2010/04/bomba-lineal-e-inyectores.html>

¹¹ LOS INYECTORES; www.uamerica.edu.co/motores/d1/pages/dies_iny_1.htm

1.2.1.8 Forma de las cámaras de combustión para los motores diesel

Para que la combustión se realice en condiciones óptimas es necesario que el aire esté a elevadas temperaturas y que ésta sea homogénea en todos sus puntos. Lo primero se consigue con una adecuada relación de compresión y lo segundo, creando una turbulencia de aire dentro de la cámara, para que este se mantenga en constante movimiento y el calor se transmita por igual a todos los puntos de la misma.

La turbulencia de aire dentro del cilindro se consigue dando a la cámara de combustión la forma más adecuada, existen los siguientes tipos de cámaras:

- Cámara de inyección directa.
- Cámara de precombustión.
- Cámara de turbulencia.
- Cámara de reserva de aire.

1.2.1.9 Alimentación Common Rail (CRS)

Desde un punto de vista tecnológico, lo último en alimentación de los motores ciclo diesel es la inyección directa con sistema "Common Rail", también conocido como sistema de riel común que alimenta a todos los cilindros con combustible por medio de electroinyectores.

A diferencia con otros sistemas de inyección, la creación de la presión y la inyección están separadas en la técnica Common Rail. Una bomba específica de alta presión suministra continuamente el combustible al riel común. La presión en el Common Rail está siempre disponible para cualquier estado del motor, incluso a revoluciones bajas.

La duración de la corriente de excitación que envía el microprocesador a la bobina del electroinyector, la presión del sistema para la pulverización del combustible y la sección de salida del combustible por la tobera son los parámetros que permiten controlar el volumen y el patrón de atomización de combustible inyectado.

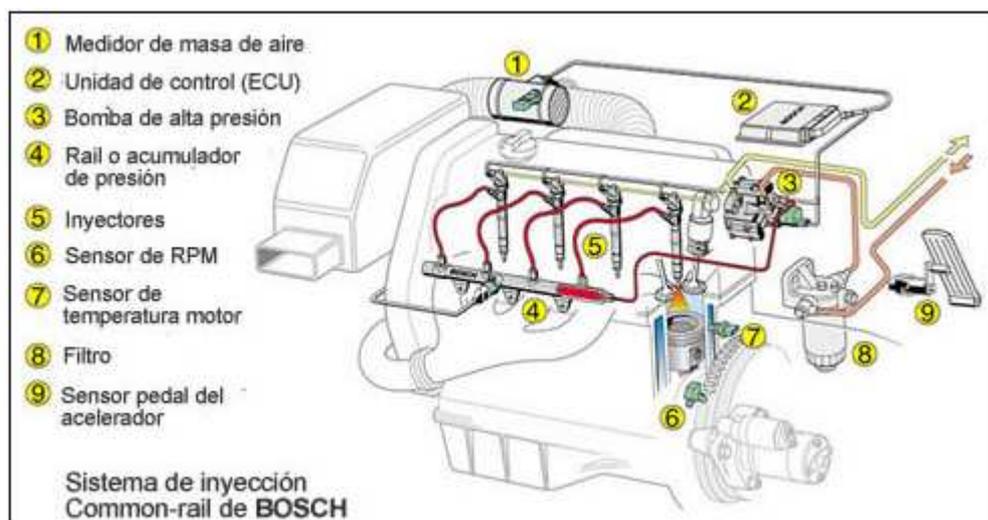


Figura 1-10: Sistema de inyección diesel Common Rail.¹²

1.2.1.10 Filtro de aire

El aire para el motor debe estar libre de partículas, por lo que el aire entra a la cámara de filtrado pasando por el filtro y luego el flujo de aire se dirige a los cilindros del motor.

1.3 DESEMPEÑO MECÁNICO DEL MOTOR DIESEL

El desempeño del vehículo se ve afectado por dos parámetros cuantitativos: el peso de la carga máxima que puede transportar y la pendiente crítica por la que transitará, que a su vez depende de la ruta de operación. Es posible conocer su comportamiento en cuanto a su capacidad de aceleración, pérdidas de potencia, ciclo de trabajo del sistema de refrigeración y temperatura de operación del motor.

El motor constituye parte importante en el funcionamiento del vehículo, debido a esto es indispensable determinar el estado mecánico y físico en el que se encuentra, mediante un análisis de:

- Potencia y torque.
- Consumo de combustible.
- Combustión y emisiones contaminantes.

¹² DELPHI; Common Rail; PDF pág.4; www.merlindiesel.com/media/productdoc365.pdf

1.3.1 ELASTICIDAD, TORQUE Y POTENCIA

1.3.1.1 Elasticidad

La elasticidad de un motor de combustión interna, se puede definir como la capacidad de respuesta ante los cambios de carga.¹³

En las pendientes aumenta la resistencia a la traslación que el vehículo tiene que vencer, originando que la velocidad, el número de revoluciones y el rendimiento del motor disminuyan. Contar con mucha potencia no es suficiente para llegar a la cima.

Si el torque máximo se alcanza a bajas revoluciones, el auto se considera elástico “dinámico”, y se puede conducir con pocos cambios de velocidad. Esto redundaría en un ahorro de combustible, ya que el motor a este régimen funciona con óptima combustión. Un motor elástico se recuperará con facilidad de una caída de revoluciones, ya que al disminuir las revoluciones aumenta el torque y más empuje desarrolla durante la aceleración.

La regla es: cuanto más alto sea el torque máximo y más bajo el número de revoluciones del motor al que se alcanza, tanta más fuerza de empuje tendrá el auto. El motor se comporta más “elástico”, pudiéndose concluir que el torque es más importante para el desplazamiento del vehículo que la potencia.¹⁴

1.3.1.2 Torque

Cuando se aplica una fuerza en algún punto de un cuerpo rígido, el cuerpo tiende a realizar un movimiento de rotación en torno a algún eje. La propiedad de la fuerza para hacer girar al cuerpo se mide con una magnitud física llamada torque o momento de la fuerza.¹⁵

Cuando el pistón se mueve hacia abajo en la carrera de combustión aplica torsión al cigüeñal por medio de la biela.

¹³ SANZ SANTIAGO; Motores – mantenimiento de vehículos autopropulsados; Editex, 2007; Pág. 82.

¹⁴ TORQUE; <http://www.automotriz.net/tecnica/torque2.html>

¹⁵ TORQUE Y EQUILIBRIO DE UN CUERPO RÍGIDO; <http://www2.udec.cl/~jinzunza/fisica/cap6.pdf>

$$T = F \times r [Nm] \quad (\text{Ec. 1-1})$$

Donde:

T: Torque. (Nm)

F: Fuerza del brazo del pistón (N)

r: Longitud de la biela. (m)

1.3.1.3 Potencia

La potencia es la cantidad de trabajo realizado en una unidad de tiempo. La potencia es el producto del torque por la velocidad de giro del motor, es necesaria para determinar la velocidad máxima a la que puede trabajar el motor. La potencia aporta información sobre el funcionamiento y estado mecánico del motor, debido a que cualquier falla le afecta sensiblemente.

$$P = T \times W [W] \quad (\text{Ec. 1-2})$$

Donde:

P: Potencia. [W]

W: velocidad de giro del motor. [Rad/s]

T: torque del motor. [Nm]

En los motores diesel el trabajo que realizan es representada por la potencia, esta se obtiene por el trabajo realizado por los gases en el interior del cilindro durante un ciclo, el mismo que depende del funcionamiento correcto de todos los sistemas, de manera que cualquier falla que se presente afecta el funcionamiento del motor.

Todo motor tiene sus respectivas curvas de desempeño del motor, como las de potencia, torque y consumo específico de combustible en función de las revoluciones de giro del motor (rpm). Las curvas se determinan mediante la ejecución de pruebas dinámicas en un banco dinamómetro.

En la Figura 1-11 se indican las curvas de desempeño de un motor ciclo diesel, determinadas mediante pruebas dinámicas en un dinamómetro.

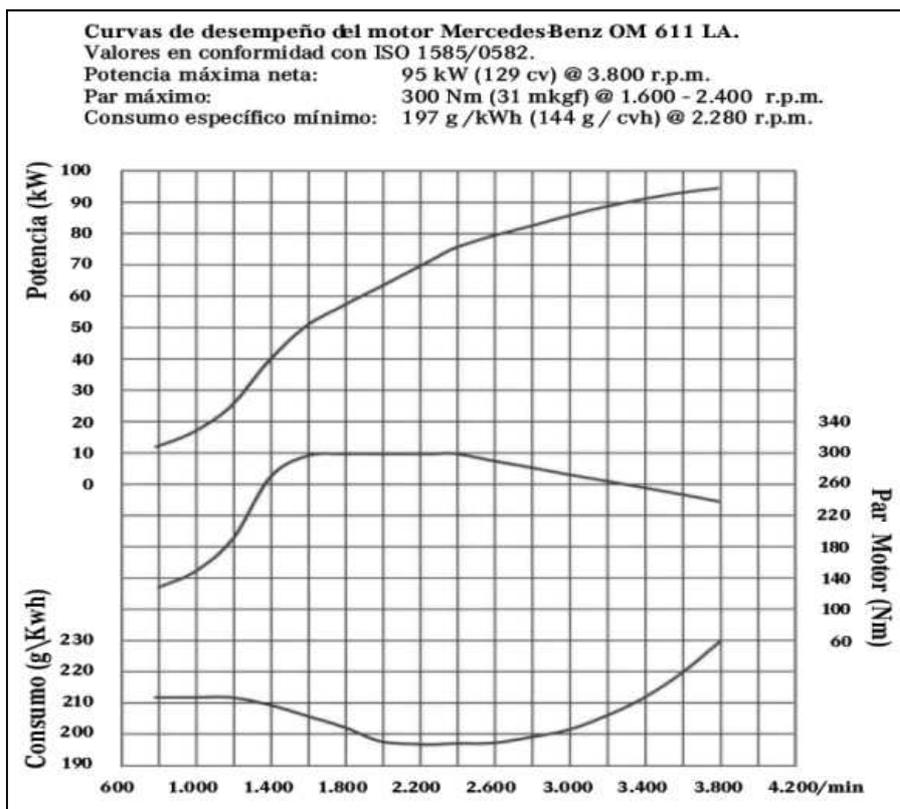


Figura 1-11: Curvas de desempeño de un motor diesel.¹⁶

1.3.2 CONSUMO DE COMBUSTIBLE

El consumo de combustible se define como la cantidad de combustible necesario para desplazarse en una longitud de vía determinada.¹⁷

En los motores diesel el consumo de combustible está ligado con la emisión de gases contaminantes, así como con las características geométricas del inyector y el tipo del sistema de inyección de combustible.

El consumo de combustible depende de:

- Estado del motor.
- Acoplamiento motor - transmisión.
- Resistencias externas del vehículo.
- Condiciones de conducción.

¹⁶ MERCEDES BENZ; Sprinter Combi 413 CDI; PDF pág. 2; www.condor.com.py/pdfs/combi_413CDI_16.pdf

¹⁷ Simón Figueroa S.; Mantenimiento de Motores Diesel, Mérida, 1997.

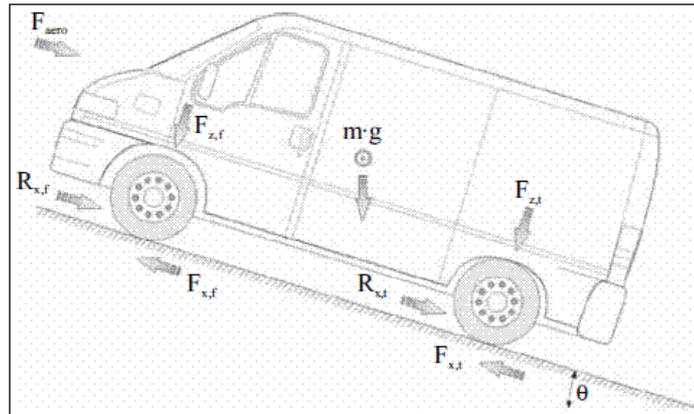


Figura 1-12: Resistencias externas de un vehículo en una pendiente.¹⁸

El consumo de combustible en los motores de combustión interna está relacionado con la respuesta dinámica de los vehículos influenciada principalmente por la fuerza longitudinal de las ruedas, fuerzas de arrastre aerodinámico, fuerzas de resistencia a la rodadura y fuerzas gravitacionales. Las pendientes de carretera, velocidades de circulación, coeficiente de adherencia rueda-carretera, aceleraciones y el número de pasajeros máximos a transportar están directamente relacionados con las fuerzas involucradas en el análisis de consumo de combustible, y se convierten en los principales requerimientos para obtener la potencia teórica del motor.

El consumo de combustible está determinado también por diferentes factores en los cuales se puede señalar los siguientes:

- Diseño y construcción.
- Mantenimiento y reparación.

El consumo de combustible se puede determinar mediante pruebas dinámicas en dinamómetro y mediante el recorrido en ruta, al valor obtenido en dinamómetro se lo denomina consumo específico de combustible, el mismo que es determinado en función de las revoluciones de giro del motor (rpm). Otra forma de determinar el consumo de combustible es en función de la distancia de la ruta (vía) experimental recorrida.

¹⁸ AGUDELO JOHN; Desempeño dinámico y energético de un autobús operando con gas natural vehicular; Medellín; 2010. www.scielo.unal.edu.co/scielo.php?pid=S0120-62302010000100008&script=sci_arttext

El consumo de combustible CC utilizado para recorrer una distancia determinada de una vía experimental se determina de la siguiente manera¹⁹:

$$CC = \frac{Q}{S} \text{ [litros/km]} \quad (\text{Ec. 1-3})$$

Donde:

Q: Consumo de combustible [litros].

S: Distancia recorrida [km].

1.4 COMBUSTIBLE DIESEL

1.4.1 GENERALIDADES

El petróleo es una mezcla de un gran número de hidrocarburos, es decir, compuestos de hidrógeno y carbono, aunque suele contener azufre, nitrógeno en pequeña proporción. Generalmente está compuesta entre 84% a 87% de carbono, de 11% a 14% de hidrógeno, 0% - 2% de azufre y 0% - 2% de nitrógeno, aunque esta composición puede variar.

El combustible diesel proviene de una fracción de petróleo crudo llamada destilado. Las moléculas de hidrocarburos en el combustible diesel son más grandes que las de la gasolina.

1.4.2 PROPIEDADES

Las propiedades del combustible diesel son las siguientes:

1.4.2.1 Viscosidad y densidad

La viscosidad de un fluido indica el movimiento relativo entre sus moléculas, debido a la fricción o rozamiento entre las mismas y se puede definir como la propiedad que determina la cantidad de resistencia opuesta a las fuerzas cortantes. Esta propiedad es la responsable por la resistencia a la deformación de los fluidos. La viscosidad disminuye al incrementar la temperatura.

¹⁹ FUENTES VEGA JOSÉ; Eficiencia Energética y Reducción del Impacto Ambiental en el Transporte automotor; Centros de Estudios y Medio Ambiente; Universidad de Cienfuegos Cuba.

La viscosidad del diesel en el Ecuador está comprendida entre 2.5 a 6.0 cSt.²⁰

La inyección de diesel en el motor, está controlada por volumen o por tiempo de una válvula de solenoide en el inyector. Las variaciones en la densidad y viscosidad del combustible resultan en variaciones en la potencia del motor y consecuentemente, en las emisiones de gases y el consumo. Se ha encontrado, además.

1.4.2.2 Punto de inflamación

El punto de inflamación o de encendido, es la mínima temperatura a la cual se desprende suficiente cantidad de vapores como para inflamarse momentáneamente, al aplicarle una llama. El punto de inflamación del diesel es mínimo 51°C²¹, lo cual los hace mucho más seguros para el manejo y el almacenamiento que la gasolina, que se vaporiza a todas las temperaturas atmosféricas normales. Está relacionado directamente con la viscosidad, de manera que cuando esta disminuye, el punto de inflamación también lo hace y viceversa.

1.4.2.3 Contenido de azufre

El combustible diesel contiene cierta cantidad de azufre. Un contenido de azufre demasiado alto produce desgaste excesivo de los cilindros por la formación de ácidos en el aceite lubricante. Además éste contribuye significativamente a las emisiones de material particulado (PM). No debe contener más de 0.05% en peso de contenido de azufre.²²

1.4.2.4 Índice de cetano

El índice de cetano ($C_{16}H_{34}$) es una medida para determinar la calidad de la ignición del diesel y es equivalente al porcentaje por volumen del cetano en la mezcla con heptametilnonano, la cual se compara con la calidad de ignición del

²⁰ NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 810:1987 - Productos de petróleo. Determinación de la viscosidad cinemática en líquidos.

²¹ NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1047:1984 - Productos de petróleo. Punto de inflamación en copa cerrada. Método Tag.

²² NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1490:1987 - Productos de petróleo. Determinación de azufre. Método de la bomba.

combustible prueba (ASTM D-613). Típicamente los motores se diseñan para utilizar índices de cetano de entre 40 y 55, un valor debajo de los 38 incrementa el retardo de la ignición. La adición de aditivos formulados con base a alquilnitratos, amilnitratos primarios, nitritos o peróxidos, que permiten mejorar el tiempo de encendido, puede provocar un aumento en las emisiones de NOx.²³

1.4.2.5 Aromáticos

El contenido de aromáticos en el combustible, afecta a la combustión, precursores de la formación de PM y emisiones de hidrocarburos poliaromáticos, además influyen en la temperatura de la llama y, por lo tanto, en las emisiones de NOx durante la combustión.

1.4.2.6 Poder calórico

El poder calórico o calor de reacción, es el calor generado por la combustión completa de una unidad másica de combustible, la calidad del combustible se determina por su poder calórico.

1.5 COMBUSTIBLE DIESEL DE USO AUTOMOTRIZ EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO

En la ciudad de Quito se expende combustible Diesel 2 de bajo contenido de azufre (diesel Premium), es utilizado para uso industrial y para motores de combustión interna de auto ignición que requieren de bajo contenido de azufre. Este combustible responde a la Ordenanza Metropolitana 213 - Capítulo VI, en donde indica que el combustible que se expenda en Quito debe tener máximo 500 ppm de azufre.

En la Tabla 1-1, se indican los requisitos que debe cumplir el diesel No. 2 de bajo contenido de azufre.

²³ NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1495:1987 - Productos de petróleo. Determinación del índice de cetano calculado.

Tabla 1-1: Requisitos del Diesel 2 de bajo contenido de azufre.²⁴

REQUISITOS	UNIDAD	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉTODO DE ENSAYO
Punto de inflamación	°C	51	-	NTE INEN 1 047
Agua y sedimento	% en volumen	-	0,05	NTE INEN 1 494
Residuo carbonoso sobre el 10% del residuo de la destilación	% en peso	-	0,15	NTE INEN 1 491
Cenizas	% en peso	-	0,01	NTE INEN 1 492
Temperatura de destilación del 90%	°C	-	360	NTE INEN 926
Viscosidad cinemática a 37,8°C	cSt	2,5	6	NTE INEN 810
Azufre	% en peso	-	0,05	NTE INEN 1 490
Corrosión a la lámina de cobre			No.3	NTE INEN 927
Índice de cetano calculado	-	45	-	NTE INEN 1 495

La búsqueda de la reducción de las emisiones contaminantes producidas por los motores diesel, ha dado como resultado diversas alternativas entre las cuales se encuentra un combustible con bajo contenido de azufre, biocombustibles, dispositivos post combustión y tecnologías nuevas de control. El contenido de azufre en el diesel no sólo destruye los sistemas de control de emisiones, sino que las emisiones de SOx al unirse con el agua forman ácidos, lo que provoca la lluvia ácida, la misma que daña las plantas y los bienes materiales.

1.5.1 ORDENANZA 213 DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO – CAPÍTULO VI

CAPÍTULO VI - Control de la calidad de los combustibles de uso vehicular en el Distrito Metropolitano.²⁵

SECCIÓN I

ÁMBITO DE APLICACIÓN

Art. II.382. - Para ejecutar el control en la calidad y la comercialización de los combustibles expendidos en el área de jurisdicción del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) se verificará que las terminales de productos limpios de petróleo (TPL), públicas o privadas, expendan a las Comercializadoras y Estaciones de Servicio ubicadas dentro del Distrito Metropolitano, y éstas a su vez al usuario

²⁴ NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1489:89 - Productos derivados del Petróleo – Diesel.

²⁵ ORDENANZA 213 DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO – Capítulo VI; 2007.

final, combustibles de uso automotor que cumplan con las Normas y Reglamentos Técnicos Ecuatorianos vigentes y con la normas que emita el Municipio del DMQ:

NTE INEN 935. Derivados del petróleo. Gasolina requisitos, y NTE INEN 1489. Derivados del petróleo. Diesel requisitos. Tabla correspondiente al Diesel de Bajo Contenido de Azufre. Lo pertinente de las normas técnicas señaladas se incluye en la Normas Técnicas para la Aplicación de la presente Ordenanza.

Art. II.382.1.- Se prohíbe por tanto, en el DMQ, el expendio de combustibles de uso automotor que no cumplan con los requisitos contemplados en las Normas Técnicas y Reglamentos Ecuatorianos mencionados en el Art. II.382.

El valor promedio de contenido de azufre en el diesel Premium es: entre febrero 2010 - enero 2011 de 241,2 ppm, y en junio 2011 de 43,8 ppm. Los valores están dentro de los límites señalados por la Norma INEN 1489, donde el valor máximo admitido es 500ppm (0.05% en peso de azufre).

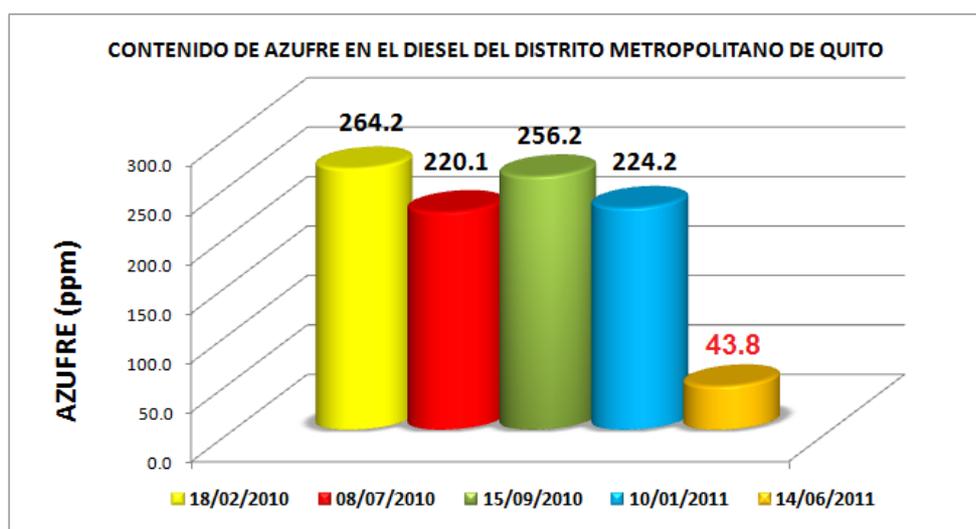


Figura 1-13: Contenido de azufre en el diesel del DMQ, febrero 2010 – junio 2011.²⁶

²⁶ SECRETARÍA DE AMBIENTE DEL DMQ; Informe técnico de muestreo y análisis de combustibles; junio 2011.

CAPÍTULO II

ESTADO ACTUAL DE LA CONTAMINACIÓN POR MOTORES DIESEL EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO

2.1 COMPOSICIÓN DE LAS EMISIONES DEL MOTOR DIESEL

Las emisiones de los motores diesel están constituidas por compuestos químicos en fase gaseosa y de material particulado. Los contaminantes gaseosos incluyen compuestos de azufre como el dióxido de azufre (SO_2) y trióxido de azufre (SO_3), monóxido de carbono (CO), compuestos de nitrógeno como el óxido nítrico (NO), dióxido de nitrógeno (NO_2), amoníaco (NH_3), compuestos orgánicos como hidrocarburos no combustionados (HC), compuestos orgánicos volátiles (COV), hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH), derivados halogénicos, aldehídos, etc., compuestos halogénicos (HF y HCl) y sustancias olorosas. El material particulado (PM), también conocido como hollín, está compuesto principalmente de carbono elemental y orgánico, sustancias orgánicas y pequeños cúmulos de sulfatos, nitratos, PAH, metales, agua y compuestos no identificados.

2.1.1 ÓXIDOS DE NITRÓGENO (NO_x)

En los vehículos, los NO_x se forman principalmente en un proceso térmico que se incrementa de acuerdo a la temperatura de combustión. A temperaturas más elevadas y en la presencia de oxígeno, el nitrógeno (N_2) del aire reacciona con radicales de oxígeno, formando NO.²⁷

2.1.2 HIDROCARBUROS NO COMBUSTIONADOS (HC)

Los hidrocarburos no combustionados son productos de la combustión incompleta, ocurre en las regiones de mezcla rica en la llama, o bien cuando la llama está limitada por bajas temperaturas en las paredes de los pistones. Las

²⁷ BLUMBERG KATHERINE; Gasolina y diesel de bajo azufre la clave para disminuir las emisiones vehiculares; Pág. 56.

emisiones de HC pueden ser reducidas en condiciones de operación de mezcla pobre.

2.1.3 HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS (PAH)

Los hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH) son hidrocarburos con dos o más anillos de benceno. Muchos compuestos de esta clase son conocidos como cancerígenos humanos. Los PAH en el escape diesel están divididos entre fases gaseosa y particulado. Los compuestos más nocivos de cuatro y cinco anillos están presentes en la porción orgánica del material particulado diesel.

2.1.4 MONÓXIDO DE CARBONO (CO)

El monóxido de carbono es un producto de la combustión incompleta que ocurre cuando no existe suficiente oxígeno para completar la oxidación del carbono de los combustibles y formar dióxido de carbono (CO_2). Incluso si existe suficiente oxígeno, el CO se forma en las regiones ricas en combustible de la llama (regiones donde no existe suficiente oxígeno para permitir una combustión completa). A las temperaturas de combustión, el CO normalmente se oxida hasta CO_2 en presencia de oxígeno, sin embargo el CO puede mantenerse en concentraciones muy elevadas si los gases de escape se enfrían rápidamente, como ocurre en los vehículos, a pesar de la disponibilidad de oxígeno. A temperatura ambiente, el mecanismo de pérdida principal es la oxidación por radicales hidroxilo (OH), a CO_2 . El ciclo de vida del CO es de varias semanas, lo suficientemente largo para permitir que el gas de escape se mezcle en la atmósfera.²⁸

2.1.5 DIÓXIDO DE AZUFRE (SO_2)

Los óxidos de azufre, emitidos principalmente como dióxido de azufre (SO_2), se forman por la oxidación de azufre del combustible durante la combustión. Normalmente cerca del 100% del contenido de azufre en el combustible se emite como SO_2 .

²⁸ BLUMBERG KATHERINE; Gasolina y diesel de bajo azufre la clave para disminuir las emisiones vehiculares; Pág. 55.

Una fracción del SO_2 en la corriente de escape del diesel puede ser oxidada para formar trióxido de azufre (SO_3). El SO_3 reacciona fácilmente con el agua para formar ácido sulfúrico (H_2SO_4) y sulfatos en forma de partículas. En la corriente de escape del diesel, los aerosoles de sulfato son iniciadores de la formación de partículas, proporcionando un núcleo para que otros gases se condensen.²⁹

2.1.6 DIÓXIDO DE CARBONO (CO_2)

El CO_2 se forma por la combustión completa en presencia de oxígeno suficiente para oxidar completamente el carbono de los combustibles.

En términos estrictos, el CO_2 no debería ser considerado un contaminante, pero su producción excesiva a partir de procesos artificiales sin eliminación compensatoria puede aumentar su concentración más allá de sus límites naturales, produciendo un efecto de invernadero global responsable del cambio climático.

2.1.7 MATERIAL PARTICULADO (PM)

El término partículas es generalmente aplicado a partículas sólidas o líquidas suspendidas en el aire. Las partículas incluyen cualquier cosa, desde una mezcla compleja de ácidos e hidrocarburos pesados hasta granos de polvo.

2.1.7.1 Caracterización física de formación del material particulado

Como se observa en la Figura 2-1, el material particulado (PM) nace de las moléculas de combustible que se unen con las moléculas de aire producto de una combustión incompleta, siendo precursores de moléculas de PM (hollín). Las partículas finas ($< 2 \text{ nm}$) son formadas por moléculas de combustible producto de procesos tales como la fragmentación, condensación y polimeración. La unión de varias partículas pequeñas forma partículas de mayor tamaño.

²⁹ BLUMBERG KATHERINE; Gasolina y diesel de bajo azufre la clave para disminuir las emisiones vehiculares; Pág. 58.

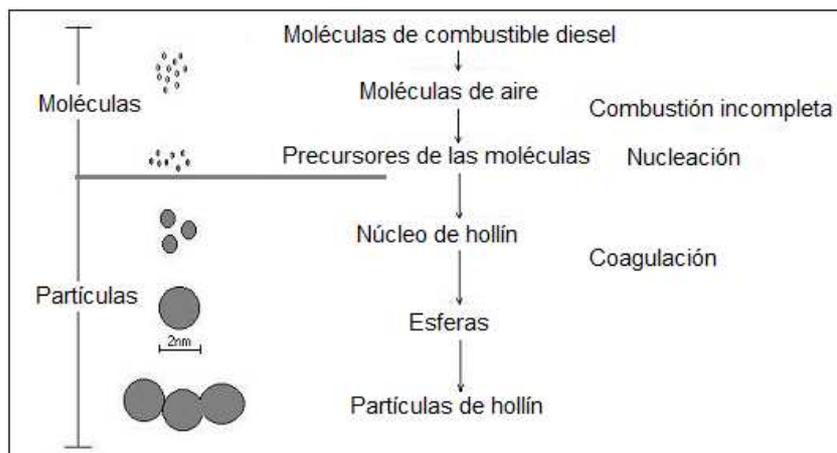


Figura 2-1: Proceso de formación del PM.³⁰

La Figura 2-2 muestra una fotografía de material particulado.

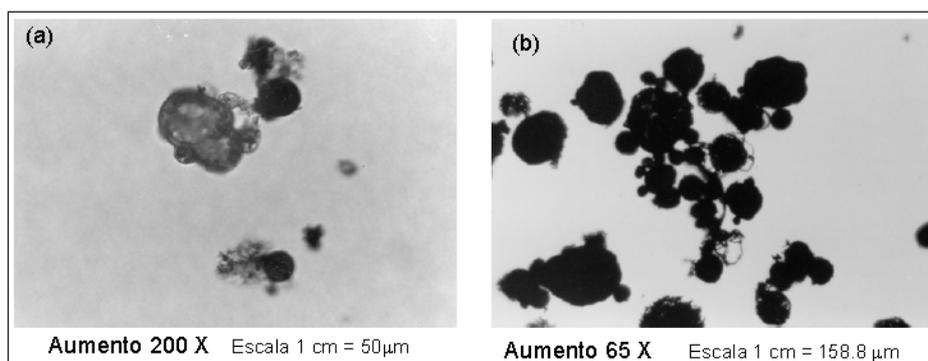


Figura 2-2: Muestras de material particulado producto de la combustión de combustible diesel.³¹

La caracterización física de la formación del PM se puede clasificar por tamaño y conteo. A continuación se describe cada una de ellas.

2.1.7.2 Tamaño de las partículas

Propiedades tales como la difusión, coagulación, depositación e impactación dependen básicamente del tamaño de las partículas. Al clasificar las partículas por el tamaño se puede destacar la división entre el PM₁₀ y PM_{2.5} cuyos diámetros equivalentes son iguales o inferiores a 10 μm ó 2.5 μm respectivamente. (1 μm equivale a 0.001 mm).³²

³⁰ LOPEZ VIDAL GABRIEL; Morfología y composición química de las partículas emitidas por los automotores a diesel en los grandes centros de población del país; Instituto Mexicano del Petróleo.

³¹ LOPEZ VIDAL GABRIEL; Morfología y composición química de las partículas emitidas por los automotores a diesel en los grandes centros de población del país; Instituto Mexicano del Petróleo.

³² MOTORES DIESEL; www.solociencia.com/ecologia/05042108.htm

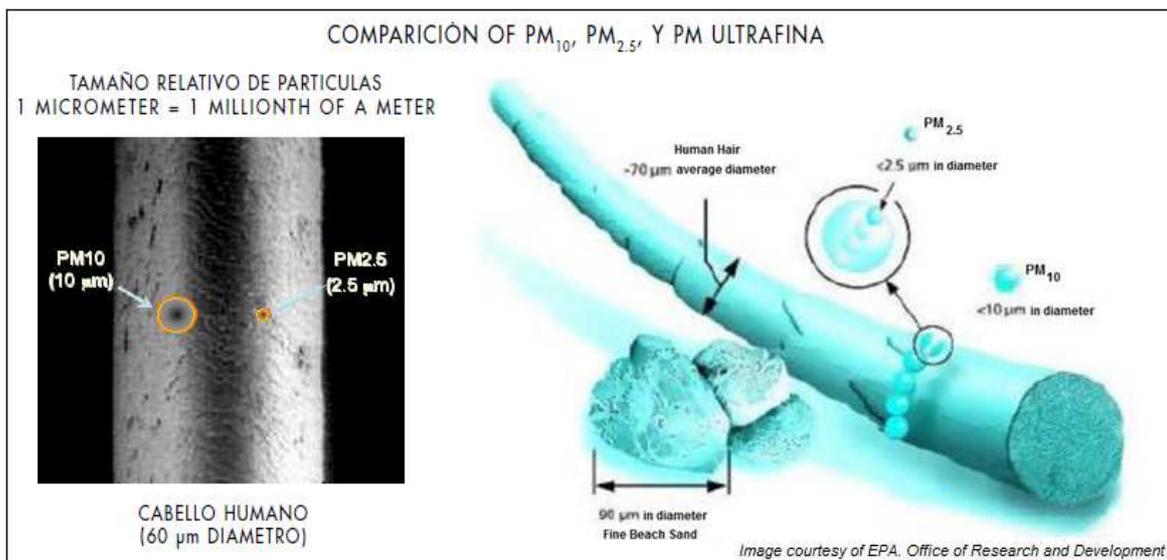


Figura 2-3: Comparación del tamaño de partículas emitidas por motores diesel con un cabello humano.³³

Otra de las características de las emisiones contaminantes de los motores diesel son denominadas partículas suspendidas, que por su tamaño pueden causar efectos importantes en la salud por la capacidad de alcanzar las estructuras internas de los pulmones y alterar la homeostasis local, las partículas suspendidas se clasifican de acuerdo a su tamaño:

- Partículas finas: aproximadamente, el 80 a 98 % de la masa de partículas son de tamaño fino (0,05 - 1,0 μm) con un diámetro medio de 0,2 μm .
- Partículas Ultrafinas: Entre el 1 a 20% de la masa total de partículas son de tamaño ultrafino (0,005 - 0,05 μm), con un diámetro medio de 0,02 μm , correspondiendo al 50 a 90% del número de partículas.

La Figura 2-4 muestra la caracterización de las partículas de PM por tamaño y penetración que éstas tiene en el pulmón. Las células del sistema se demoran meses o años para eliminar estas partículas del cuerpo.³⁴

³³ MOTORES DIESEL; www.solociencia.com/ecologia/05042108.htm

³⁴ ALVARADO MACARENA; Emisiones de material particulado en motores de combustión interna ciclo diesel; Santiago de Chile; Agosto 2001.

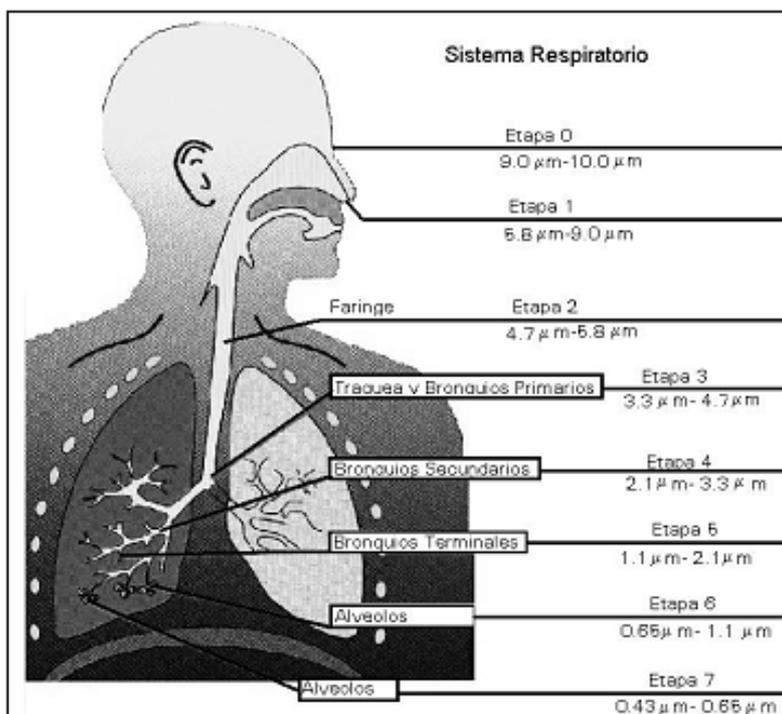


Figura 2-4: Caracterización de las partículas de PM por tamaño según la penetración en el cuerpo humano.³⁵

Una gran diferencia entre el tamaño de las partículas, es que las partículas de mayor tamaño caen producto de la gravedad y las partículas de menor tamaño (partículas finas) tienden a viajar grandes distancias.³⁶

2.1.7.3 Conteo de las partículas

El material particulado por conteo se clasifica en:³⁷

- La monodispersión: Consiste en una concentración de partículas, todas con un diámetro fijo y una cierta densidad.
- La polidispersión: Consiste en una concentración de partículas de diferentes diámetros y una cierta densidad.

Las Figuras 2-5, se muestran los resultados de la emisión de PM de un motor diesel, e indica que existe una mayor concentración de partículas de aproximadamente 100 nm (1 µm) de diámetro.

³⁵ MOTORES DIESEL; www.solociencia.com/ecologia/05042108.htm

³⁶ MOTORES DIESEL; www.solociencia.com/ecologia/05042108.htm

³⁷ ORTEGA GARCIA J. A.; Autobuses escolares y motores diesel: contaminación atmosférica, exposición pediátrica y efectos adversos en la salud humana; Grupo de Trabajo de Salud Medioambiental de la Sociedad Valenciana de Pediatría.

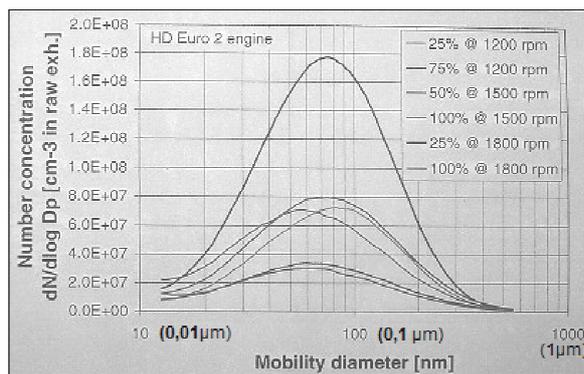


Figura 2-5: Concentración de material particulado de las emisiones de motores diesel.³⁸

2.2 IMPACTOS DE LAS EMISIONES DE LOS MOTORES DIESEL

El concepto contaminante atmosférico designa cualquier sustancia que, alterando el equilibrio y composición natural del aire, pueda causar o contribuir a:

- Aumentar la mortalidad.
- Incrementar el número de patologías moderadas a graves.
- Presentar un riesgo actual o potencial para la salud humana.

No todos los vehículos expulsan los contaminantes en las mismas proporciones; éstas dependerán del tipo de vehículo, combustible usado, de la tecnología del motor de combustión y del equipo de control de emisiones, entre otros.

2.2.1 IMPACTO EN LA SALUD

Las emisiones del motor de diesel contienen más de 40 sustancias, que han sido declaradas nocivas, tóxicas, cancerígenas, o probablemente cancerígenas por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos de América.

2.2.1.1 Impactos respiratorios (pulmones)

Los impactos respiratorios son los siguientes:

- Incremento de enfermedades respiratorias (pulmonares).
- Empeora los síntomas del asma.
- Función disminuida de los pulmones en niños.

³⁸ ALVARADO MACARENA; Emisiones de material particulado en motores de combustión interna ciclo diesel; Santiago de Chile; Agosto 2001.

- Enfermedades respiratorias crónicas.
- Cáncer.
- Muerte prematura.

2.2.1.2 Impactos cardiovasculares (corazón)

Los impactos cardiovasculares son los siguientes:

- Ataque del corazón (infarto miocardio).
- Embolia.
- Presión alta (hipertensión).
- Enfermedad arterial.
- Latidos irregulares del (arritmia).
- Coagulación anormal (trombosis).

2.2.1.3 Impactos reproductivos

Los impactos reproductivos son los siguientes:

- Bebés prematuros (bebés que nacen antes de tiempo).
- Bebés con un peso bajo al nacer.
- Crecimiento lento en la matriz.
- Aborto.
- Bebés que nacen muertos.
- Nacimiento prematuro.
- Mortalidad infantil.

2.2.1.4 Transformaciones atmosféricas de las emisiones diesel

Del sinnúmero de compuestos orgánicos e inorgánicos de las emisiones diesel en la fase gaseosa y de material particulado, otros compuestos reactivos, en presencia de los reactantes apropiados sufren transformaciones. Presentan vidas medias cortas y afectan a las áreas locales de emisión, los compuestos más estables permanecen durante mucho tiempo y pueden ser transportados a largas distancias.

Los compuestos de las emisiones de los motores diesel reaccionan con los siguientes factores:

- Luz solar durante las horas del día.
- Radical hidroxílico (OH) durante las horas del día.
- Ozono (O₃) durante el día y la noche.
- Radical hidroxiperoxídico (HO₂), típicamente en las horas de atardecer y anochecer.
- Radical nitrato (NO₃) y pentóxido de dinitrógeno (N₂O₅) durante las horas nocturnas.
- Ácido nítrico gaseoso (HNO₃), ácido nitroso (HONO) y ácido sulfúrico (H₂SO₄), durante el día y la noche.

En la Tablas 2-1, se indican los productos de la reacción química de los compuestos de emisiones diesel y el impacto que generan los mismos.

Tabla 2-1: Compuestos gaseosos de las emisiones diesel, transformación atmosférica e impacto.³⁹

Compuesto	Producto reacción atmosférica	Impacto
CO ₂	–	Calentamiento global, pérdida de conciencia.
CO	–	Bloqueo oxigenación
NO _x	Ácido nítrico, ozono troposférico.	Lluvia ácida y toxicidad respiratoria.
SO ₂	Ácido sulfúrico.	Lluvia ácida e irritación respiratoria.
Alkanos y alkenos	Aldehidos, alquilnitratos, cetonas.	Irritación respiratoria, mutágenos y carcinógenos.
Formaldehido	CO, radicales hidroperóxidos	carcinógenos y precursores del ozono.
Aldehídos	Nitratos peroxiacíclicos.	Irritaciones conjuntival y respiratoria.
Compuestos monocíclicos aromáticos	Derivados hidroxilados y nitrohidroxilados.	Tóxicos, cancerígenos y mutágenos.
Hidrocarburos policíclicos aromáticos	Nitrohidrocarburos policíclicos aromáticos.	Mutágenos y cancerígenos.
Carbón elemental	–	El núcleo absorbe compuestos orgánicos que llegan a los alveóleos pulmonares.
Sulfato y nitrato inorgánicos	–	Irritación aparato respiratorio.
Hidrocarburos (C ₁₄ –C ₃₅)	Aldehidos, alquilnitratos, cetonas.	Irritación aparato respiratorio, mutágenos y carcinógenos.

³⁹ ORTEGA GARCÍA J. A.; Autobuses escolares y motores diesel: contaminación atmosférica, exposición pediátrica y efectos adversos en la salud humana; Grupo de Trabajo de Salud Medioambiental de la Sociedad Valenciana de Pediatría.

2.2.2 IMPACTO AMBIENTAL

La geografía y el clima de una ciudad son factores determinantes en relación a la concentración del contaminante en el aire, y el tiempo de exposición al que son sometidas las formas de vida que allí habitan.

El NO_x y SO₂, provocan lluvia ácida con daños a los bosques, sistemas acuáticos, corrosión de metales, daños a edificios y monumentos. También contamina las aguas subterráneas. El CO₂, colabora en el efecto invernadero, así como el CH₄ (Metano), CO y NO_x son otros gases con un impacto directo o indirecto sobre el efecto invernadero.

Las partículas en suspensión en el aire interfieren la transmisión de la luz dentro de la atmósfera. Lo que produce una degradación de la visibilidad que se manifiesta por una reducción de la distancia a la que se puede ver una imagen con el adecuado contraste y color. Ver la Figura 2-6.



Figura 2-6: Fotografía de la ciudad de Quito, visibilidad de partículas en suspensión.⁴⁰

La circulación de los vientos en la zona Metropolitana de la Ciudad de Quito es muy difícil, haciendo que un "techo" de aire caliente atrape y concentre los contaminantes dentro de la ciudad.

⁴⁰ DIARIO HOY; Smog afecta a tres zonas de Quito; <http://www.hoy.com.ec/wp-content/uploads/2011/08/Esmog.jpg>

2.3 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE DE QUITO

La ciudad de Quito está en una zona muy sensible a la contaminación atmosférica debido a sus condiciones topográficas, climatológicas y de ubicación geográfica; sumado al desarrollo urbano de la ciudad experimentada durante los últimos años, son factores que ocasionan una serie de agresiones al ambiente, principalmente las que provienen de fuentes móviles.

2.3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA CIUDAD DE QUITO

La altura media de Quito 2810 msnm, por lo que la combustión de los motores se realiza en promedio con un 27% menos oxígeno en relación al nivel del mar, siendo menos eficiente y emitiendo mayor cantidad de gases contaminantes. La ciudad se encuentra rodeada por montañas de la cordillera occidental (Pululahua, Pichincha y Atacazo), las cuales impiden el flujo de los vientos que podrían dispersar los contaminantes, para el análisis del aire de la ciudad se considera la topografía compleja desde alturas que van desde 400 msnm al noroccidente , hasta los 5720 msnm en el Antisana al suroriente, predominan pendientes mayores a 50% correspondiente a un relieve montañoso y escarpado, aunque se puede observar zonas con pendientes suaves del orden de 5%.

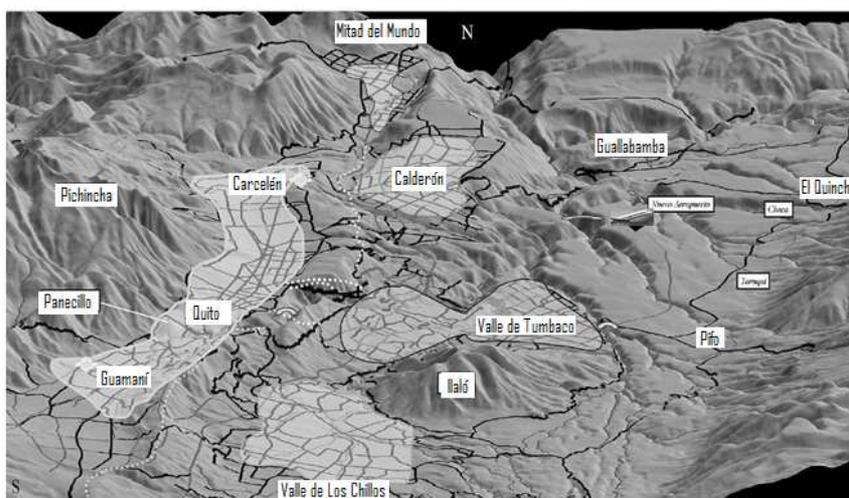


Figura 2-7: Modelo tridimensional de la ubicación de la ciudad de Quito.⁴¹

⁴¹ CORPORACIÓN MUNICIPAL PARA EL MEJORAMIENTO DEL AIRE DE QUITO - CORPAIRE; Inventario de emisiones atmosféricas del DMQ; Quito; Diciembre 2007.

Según el INEC, los datos generales del Distrito Metropolitano de Quito:

- Latitud: 0°10'0"(Sur)
- Longitud: 78°29'0" (Oeste)
- Elevación: 2500 a 3200 m.s.n.m.
- Población: 2'239.191 habitantes (año 2011).
- Área urbana: 37,090.33 Ha.
- Área suburbana: 253,665.36 Ha.

2.3.2 RADIACIÓN SOLAR

La radiación juega un papel principal en la formación de la niebla fotoquímica, la niebla se origina por la interacción de la luz solar con varios contaminantes de la atmósfera y se caracteriza por la alta presencia de elementos oxidantes.

2.3.3 CLIMA

La humedad influye en la transformación de los contaminantes, varía entre 56 a 88%, el comportamiento horario de la temperatura es entre 4 y 22°C, la velocidad del viento varía entre 1 a 4 m/s. Precipitación de 700 a 1053 mm.⁴²

2.4 ESTADO REAL DE LA CONTAMINACIÓN EN EL DMQ POR FUENTES MÓVILES

La contaminación del aire es un problema de salud pública en la mayoría de ciudades del mundo, por las enfermedades que produce y los costos económicos y sociales que de ella se derivan. Una fuente importante de contaminación del aire en la ciudad de Quito es la originada por las fuentes móviles terrestres (vehículos) cuyo motor funcionan con combustibles derivados de petróleo (gasolina y diesel).

⁴² CORPORACIÓN MUNICIPAL PARA EL MEJORAMIENTO DEL AIRE DE QUITO - CORPAIRE; Inventario de emisiones atmosféricas del DMQ; Quito; Diciembre 2007.

2.4.1 CONSUMO DE DIESEL PREMIUM EN EL DMQ

En el 2007, en la ciudad se consumió 67'464.847 galones de diesel Premium.⁴³ Actualmente las fuentes móviles en Quito consumen aproximadamente 6000 barriles diarios.⁴⁴

2.4.2 PORCENTAJE DE OPACIDAD EN EL DMQ

Cuando se incide luz visible sobre una sustancia y luego de pasar por la misma la intensidad que sale es menor, a esta fracción de luz resultante se le conoce como opacidad. La opacidad es representada como una magnitud derivada de la τ transmitancia expresada en porcentaje (%). Se expresa también a través del coeficiente de absorción de luz (K) definido por la Ley de Beer-Lambert, cuya unidad es m^{-1} . La opacidad es una de las magnitudes empleadas para evaluar y controlar la emisión de contaminantes (“color de humo”) de vehículos con motores ciclo diesel.

El valor promedio de opacidad medido a los vehículos con motores ciclo diesel que circulan actualmente en la ciudad de Quito es en promedio de 30%. Este valor está dentro de los valores permisibles de opacidad de la norma NTE INEN 2207. El valor de opacidad máxima para vehículos anteriores al año 2000 es 60% y para vehículos posteriores al año 2000, la opacidad máxima es 50%.

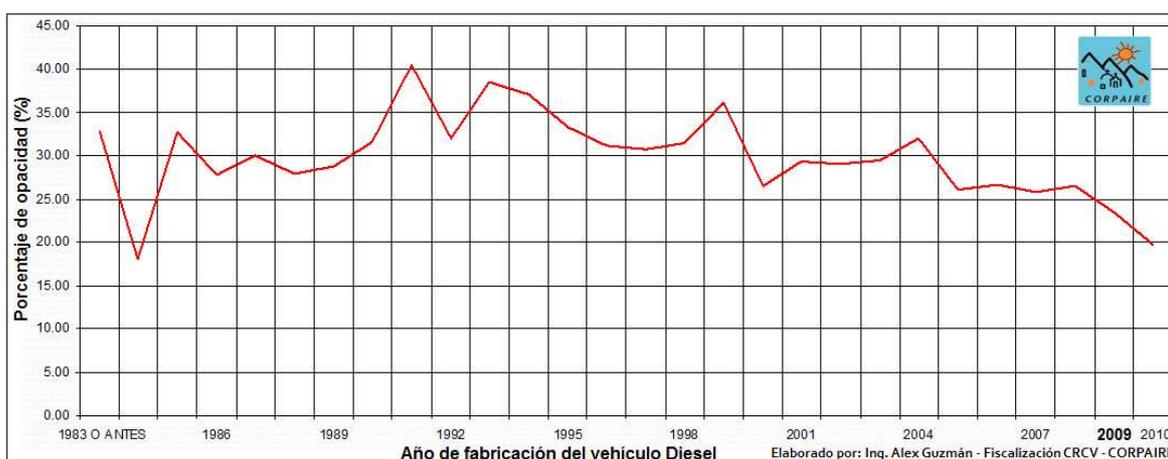


Figura 2-8: Reducción de opacidad por año modelo de los vehículos con motores diesel en Quito.

⁴³ CORPORACIÓN MUNICIPAL PARA EL MEJORAMIENTO DEL AIRE DE QUITO - CORPAIRE; Inventario de emisiones atmosféricas del DMQ; Quito; Diciembre 2007; pág. 14.

⁴⁴ INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN - INEN; Informe de propuesta cambio de norma INEN 1489 – Requisitos Diesel; Enero 2010; pág. 15.

2.4.3 CONCENTRACIÓN DE GASES CONTAMINANTES EN EL DMQ

Las fuentes de emisión, se agrupan en tres categorías: fuentes móviles, fuentes fijas o estacionarias y fuentes de área.

La fuente que emite mayor cantidad de gases contaminante en el DMQ es la fuente móvil, principalmente de los vehículos cuyos motores funcionan con combustible gasolina y diesel. Ver la Figura 2-9.

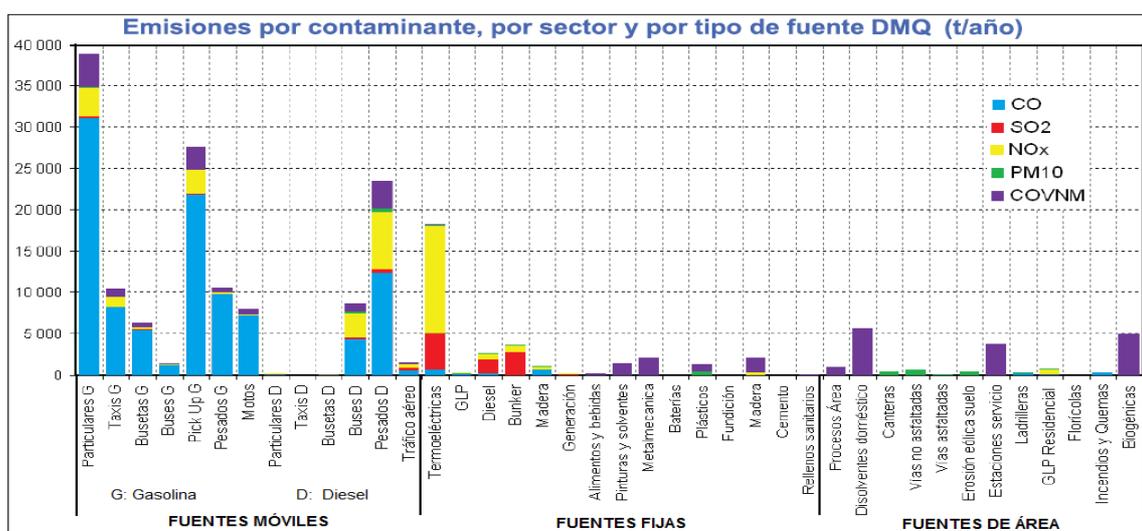


Figura 2-9: Emisiones por contaminante, por sector y por tipo de fuente del DMQ.⁴⁵

En la Tabla 2-2, se presenta las emisiones anuales de las fuentes móviles a diesel del DMQ, en toneladas/año.

Tabla 2-2: Inventario de emisiones a diesel del DMQ - 2007.⁴⁶

INVENTARIO DE EMISIONES DIESEL, DMQ 2007 (t/año)										
FUENTES MÓVILES A DIESEL	CONTAMINANTES PRIMARIOS							GASES EFECTO INVERNADERO		
	CO	SO ₂	NO _x	PM ₁₀	PM _{2.5}	COVNM	NH ₃	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Particulares	97	21	58	20	14	34	0	26048	1	0
Taxis	1	0	1	0	0	0	0	276	0	0
Busetas	32	7	12	2	2	6	0	8211	0	0
Buses	4262	196	2967	144	125	1134	5	238034	51	1
Pesados	12283	470	6866	513	415	3347	11	570400	149	2
Total	16675	694	9904	679	556	4521	16	842969	201	3

⁴⁵ CORPORACIÓN MUNICIPAL PARA EL MEJORAMIENTO DEL AIRE DE QUITO - CORPAIRE; Inventario de emisiones atmosféricas del DMQ; Quito; Diciembre 2007; pág. 28.

⁴⁶ CORPORACIÓN MUNICIPAL PARA EL MEJORAMIENTO DEL AIRE DE QUITO - CORPAIRE; Inventario de emisiones atmosféricas del DMQ; Quito; Diciembre 2007; pág. 20.

El tráfico vehicular es la fuente más importante de emisiones contaminantes en el DMQ: genera el 97,7% del CO, cuya aportación proviene de los autos particulares livianos (30%), camionetas (21%) y taxis (8%); el 14.5% de SO₂; el 53.7% de los NO_x, generados principalmente por buses y vehículos pesados (28,6%). Igualmente, el tráfico vehicular genera el 25% del PM₁₀ y el 46% del PM_{2.5}, fundamentalmente emitidos por buses y tráfico pesado a diesel. El 40% de los compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano (COVNM) es originado por las fuentes móviles.⁴⁷

2.5 CARACTERÍSTICAS DEL PARQUE AUTOMOTOR DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO

El problema del transporte en el Distrito Metropolitano de Quito tiende a agravarse como consecuencia del incremento de la población, del número de desplazamientos personales, el aumento de las distancias entre las áreas residenciales y las zonas de concentración del empleo y comercio, el incremento del parque automotor, frente a un limitado crecimiento de la capacidad vial y de la oferta de transporte público de calidad. Todos estos problemas acarrearán una generación de contaminación ambiental especialmente de la atmósfera.

2.5.1 INCREMENTO DEL PARQUE AUTOMOTOR

El crecimiento anual del parque vehicular en el DMQ es de una tasa promedio del 11.36%, es 5.5 veces mayor que la del crecimiento poblacional.⁴⁸

En la ciudad de Quito, en el año de 1990, se contabilizaron 107330 vehículos y para el 2009 el número de vehículos fue de 414788 vehículos, de los cuales aproximadamente 96.5% corresponde a vehículos privados, notándose un importante incremento del parque vehicular.⁴⁹

⁴⁷ CORPORACIÓN MUNICIPAL PARA EL MEJORAMIENTO DEL AIRE DE QUITO - CORPAIRE; Inventario de emisiones atmosféricas del DMQ; Quito; Diciembre 2007; pág. 71.

⁴⁸ PÁEZ CARLOS; Minimización de las emisiones atmosféricas provenientes del tráfico vehicular en Quito: pasado, presente y futuro; Quito; 2006.
www.ucbcba.edu.bo/Publicaciones/revistas/actanova/documentos/v3n2/v3.n2.paez.pdf

⁴⁹ CORPORACIÓN PARA EL MEJORAMIENTO DEL AIRE DE QUITO- CORPAIRE; Revisión y Control Vehicular; 2010.
www2.quito.gov.ec/index.php?option=com_content&task=view&id=480

En la Figura 2-10 se indica la conformación del parque vehicular de Quito al año 2009, según el año modelo de los vehículos, nos da la idea general del incremento en el número de vehículos.

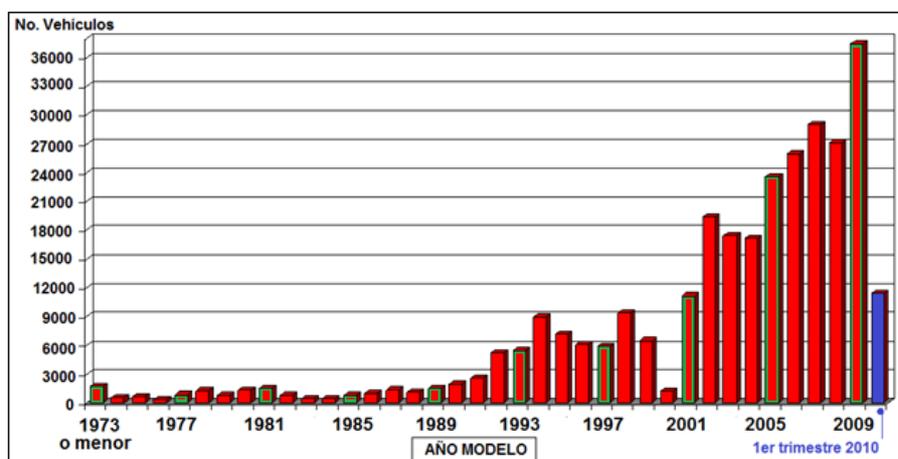


Figura 2-10: Conformación del parque vehicular en Quito al año 2009 por año modelo.⁵⁰

En la Tabla 2-3, se indica el número de vehículos vendidos por tipo en Quito, la tasa de crecimiento promedio anual del parque vehicular es 7.1%.

Tabla 2-3: Venta anual de vehículos por tipo en Quito.⁵¹

SEGMENTO	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Automóviles	14.113	13.072	18.543	17.622	16.342	18.326	14.530
Camionetas	5.814	5.872	7.172	7.735	8.303	11.415	8.958
Todo Terreno	4.384	5.150	6.380	8.094	10.004	10.726	11.373
Vans	1.606	1.050	843	619	926	1.160	879
Camiones y Buses	1.897	1.619	2.538	3.395	3.735	5.320	3.663
TOTAL	27.814	26.763	35.476	37.465	39.310	46.947	39.403

2.5.2 VEHÍCULOS DIESEL UTILIZADOS PARA TRANSPORTE PÚBLICO EN EL DMQ

La mayoría de los vehículos de transporte público tienen motores diesel, exceptuando a algunos vehículos de taxis y camionetas que generalmente la mayoría tienen motores a gasolina. No se debe menospreciar el número de vehículos particulares con motores diesel que circulan en la ciudad, ya que también son una fuente de contaminación del aire.

⁵⁰ CORPORACIÓN PARA EL MEJORAMIENTO DEL AIRE DE QUITO- CORPAIRE; Revisión y Control Vehicular; 2010. www2.quito.gov.ec/index.php?option=com_content&task=view&id=480

⁵¹ ASOCIACIÓN DE EMPRESAS AUTOMOTRICES DEL ECUADOR - AEADE – Anuario 2009; PDF pág. 20

En la Tabla 2-4, se indica el número de vehículos de transporte público que circulaban en el DMQ en el primer semestre del año 2010, se indica también el número de vehículos que aprobaron y no aprobaron la revisión técnica vehicular.

Tabla 2-4: Número de vehículos que prestan el servicio de transporte público en el DMQ.⁵²

CLASE	TOTAL	TOTAL Aprobados + Condicionados	%	NO presentados	%
CAMIONETAS	1284	669	52,1	615	47,9
CARGA	10099	9071	89,82	1028	10,18
CHIVAS	138	1	0,72	137	99,28
ESCOLAR	2762	1847	66,87	915	33,13
FURGONETAS	2820	2669	94,65	151	5,35
INTERPARROQUIAL	363	169	46,56	194	53,44
TAXI	9071	4318	47,6	4753	52,4
TURISMO	136	63	46,32	73	53,68
BUS PÚBLICOS	2613	1189	45,5	1424	54,5
BUS PARTICULARES	620	517	83,39	103	16,61

2.6 NORMALIZACIÓN Y REGLAMENTACIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES

El objetivo de las Normas y Reglamentos es establecer los requisitos y características técnicas orientadas a la protección del medio ambiente, así como establecer los procedimientos administrativos que deben cumplir los vehículos para ingresar, registrarse, circular, operar y salir del Sistema Nacional de Transporte Terrestre.

2.6.1 NORMAS

Los vehículos destinados al transporte de personas dentro del Distrito Metropolitano de Quito y demás ciudades del país, deben cumplir con normas ambientales y requisitos técnicos vehiculares.

Las normas a cumplir se destacan:

⁵² CORPORACIÓN PARA EL MEJORAMIENTO DEL AIRE DE QUITO- CORPAIRE; Estadísticas - Junio 2010.

- **NTE INEN 2204:2002-1R**
Gestión Ambiental – Aire. Vehículos automotores, límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de gasolina.
- **NTE INEN 2202:2000**
Gestión ambiental – Aire. Vehículos automotores, determinación de la opacidad de emisiones de escape de motores diesel mediante la prueba estática. Método de aceleración libre.
- **NTE INEN 2207:2002-1R**
Gestión Ambiental – Aire. Vehículos automotores, límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres a diesel.
- **NTE INEN 1489:1999-4R**
Productos derivados de petróleo. Diesel requisitos.
- **NTE INEN 935:2009-7R**
Productos derivados de petróleo. Gasolina requisitos.
- **NORMAS EURO IV y EURO V**

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

Esta norma establece los límites permitidos de emisiones de gases contaminantes producidas por fuentes móviles terrestres (vehículos automotores) de gasolina.

Toda fuente móvil con motor de gasolina durante su funcionamiento con condición de marcha mínima o ralentí y temperatura normal de operación, no debe emitir al aire monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos (HC) en cantidades superiores a las señaladas en la siguiente Tabla 2-5.

Tabla 2-5: Límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor de gasolina- Marcha mínima o ralentí (prueba estática).

Año modelo	CO (%V)		HC (ppm)	
	Altitud sobre el nivel del mar (m)		Altitud sobre el nivel del mar (m)	
	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

2.6.1.2 Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2202:2000 “Gestión Ambiental – Aire. Vehículos automotores, determinación de la opacidad de emisiones de escape de motores diesel mediante la prueba estática. Método de aceleración libre”

Esta norma establece el método de ensayo para determinar el porcentaje de opacidad de las emisiones de escape de las fuentes móviles con motor de diesel mediante el método de aceleración libre.

Aceleración libre: Es el aumento de revoluciones del motor de la fuente móvil, llevado rápidamente desde marcha mínima a máxima revoluciones, sin carga y en neutro (para transmisiones manuales) y en parqueo (para transmisiones automáticas).

2.6.1.3 Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2207:2002 “Gestión Ambiental – Aire. Vehículos automotores, límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de diesel”

Esta norma establece los límites permitidos de emisiones de contaminantes producidas por fuentes móviles terrestres (vehículos automotores) de diesel.

Toda fuente móvil con motor de diesel en condiciones de aceleración libre, no podrá descargar al aire humos en cantidades superiores a las indicadas en la siguiente Tabla 2-6.

Tabla 2-6: Límites máximos de opacidad de emisiones para fuentes móviles con motor diesel (prueba método de aceleración libre).

Año modelo	% Opacidad
2000 y posteriores	50
1999 y anteriores	60

2.6.1.4 Normas EURO

La Unión Europea regula desde 1990 las emisiones de gases de combustión de los motores a través de las normas EURO. Actualmente, las emisiones que controlan las normas EURO son los óxidos de nitrógeno (NOx), hidrocarburos no combustionados (HC), monóxido de carbono (CO) y material particulado (PM) de

los vehículos como: buses, camiones, trenes y tractores (no incluye los barcos y aviones). Regularmente, cada cierto periodo de tiempo las normas EURO evolucionan, lo que obliga a los constructores de motores a modificar las tecnologías empleadas.



Figura 2-11: Evolución de las normas de emisiones EURO.⁵³

2.6.2 ORDENANZAS PARA EL DMQ

En el Distrito Metropolitano de Quito, se han expedido varias ordenanzas que permiten controlar la contaminación del aire de origen vehicular.

Nº 213. Según la Ordenanza 213 del Distrito Metropolitano de Quito es la encargada de ejecutar la Revisión Técnica Vehicular a todos los vehículos que circulan en el DMQ, en el Capítulo III: Contaminación vehicular, en la sección III - de la revisión técnica vehicular, parágrafo IV - del control de la contaminación dentro de los límites máximos permisibles, Art. II. 375.18, señala “El control de las emisiones de gases contaminantes o de opacidad y ruido de los vehículos tiene por objeto verificar que éstos no sobrepasen los límites máximos permisibles y que de esta manera se pongan en vigencia las garantías constituciones y legales relativas particularmente al derecho de las personas a vivir en un ambiente sano.”⁵⁴

⁵³ NORMATIVA EUROPEA SOBRE EMISIONES; http://es.wikipedia.org/wiki/Normativa_europea_sobre_emisiones

⁵⁴ ORDENANZA 213 DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO; Capítulo 3; 2007.

CAPÍTULO III

COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS

3.1 COMBUSTIBLE DIESEL DE ULTRA BAJO CONTENIDO DE AZUFRE

El azufre es un componente natural del petróleo crudo y en consecuencia se encuentra en el combustible diesel. Cuando se quema, el azufre se emite como dióxido de azufre (SO₂) o como partículas de sulfatos. La reducción de la cantidad de azufre en los combustibles disminuye las emisiones de estos compuestos, el beneficio aumenta hasta una disminución importante de las emisiones totales de contaminantes.

3.1.1 COMBUSTIBLE DIESEL ULTRA BAJO AZUFRE (< 15 PPM)

Estos combustibles permiten el uso de equipo de reducción de óxidos de nitrógeno NO_x hasta niveles superiores al 90%. Los filtros de oxidación catalítica de partículas de los motores diesel alcanzan su máxima eficiencia con combustibles de ultra bajo azufre, cerca del 100% de reducción de material particulado.⁵⁵ Cualquier nivel de reducción de azufre en el combustible reduce las emisiones de SO₂.

Las nuevas tecnologías en motores diesel requieren combustibles de calidad apropiada con estándares internacionales EURO IV y EURO V, es decir con un nivel máximo de azufre entre 10 a 50 ppm. Con la reducción de la cantidad de azufre en el combustible a 500 ppm se obtiene una reducción en las emisiones de PM de un 15 a 30%, y con la reducción de la cantidad de azufre en el combustible a 50 ppm se obtienen una reducción en las emisiones de PM hasta un 75%.⁵⁶

⁵⁵ GASOLINA Y DIESEL DE BAJO AZUFRE: LA CLAVE PARA DISMINUIR LAS EMISIONES VEHICULARES; 2003 www.petroleo.com/pi/formas/44425/Sulfur_Report_Espanol.pdf

⁵⁶ KATE BLUMBERG; Los costos y beneficios de los combustibles y los vehículos mejorados en América Central y el resto del mundo; Quito; 2007; www.unep.org/pcfv/pdf/quito-esp.pdf

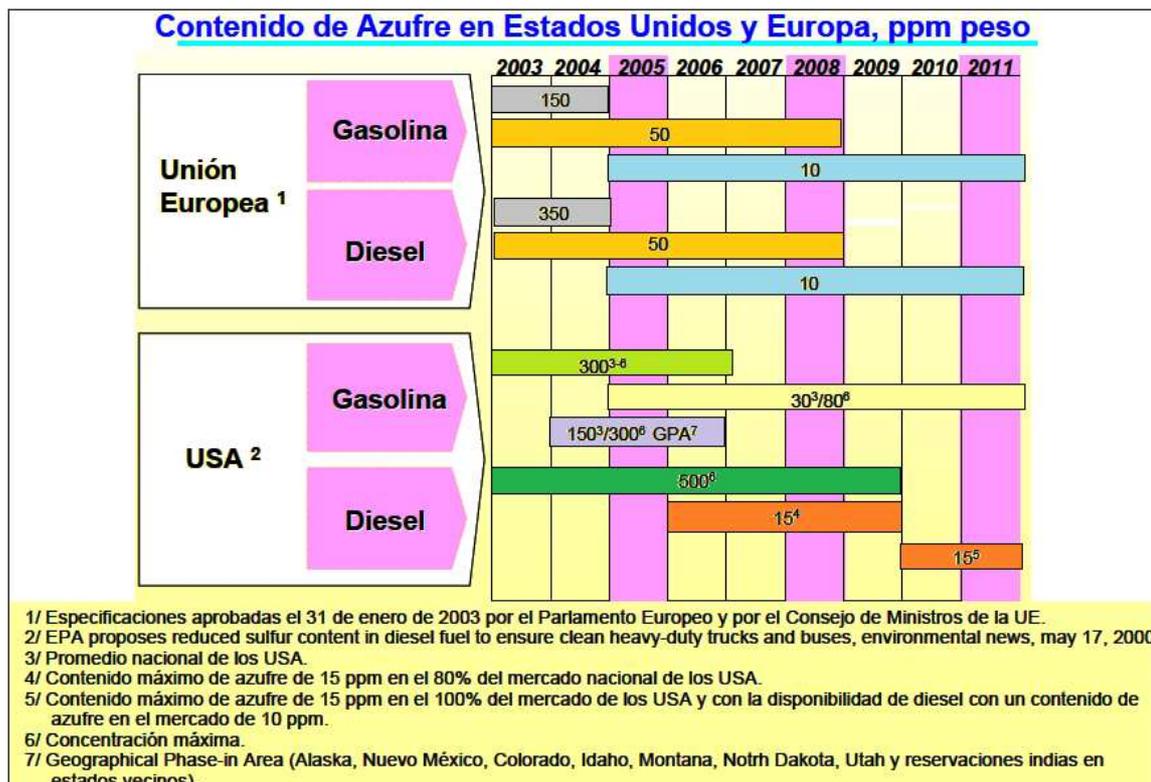


Figura 3-1: Tendencia global de la cantidad de azufre en el diesel.⁵⁷

3.2 BIODIESEL

El biodiesel no es un descubrimiento de las últimas décadas, ya que en 1903, en Suiza, Rudolf Diesel utilizó aceite de maní, en el primer motor diesel, como combustible.

El biodiesel es un combustible ecológico elaborado a partir de elementos cien por ciento naturales y biodegradables. La materia prima básica son los aceites de origen animal o vegetal obtenidos de semillas (soya, palma africana, girasol, maní, etc.) y también reciclando aceite usado para cocción.

El biodiesel puede usarse como combustible para motores diesel, empleado como sustituto total (B100); también mezclado con diesel, por ejemplo (B30); o en una proporción baja como aditivo del 1% al 5%. Las denominaciones B5, B10, B20, B30, etc. Indican la proporción (%) de biodiesel utilizado.

⁵⁷ SIERRA MAIA ELENA; Reducción de Azufre en Combustibles, el Caso de México. www.swisscontact.org.pe/PRAL/07_marielena_sierra.pdf

Nuestro país es el tercer productor de combustibles alternativos en Sudamérica, a través de la empresa productora de grasas y aceites LA FABRIL (Manta), que está entre los principales exportadores de este producto. La Fabril se encuentra produciendo biodiesel a partir de aceite refinado de palma africana y su principal comprador es la empresa Earth First Technologies, de Florida en EE.UU, de igual forma se están negociando con países de Europa y Malasia.⁵⁸

3.2.1 VENTAJAS DEL BIODIESEL

El biodiesel disminuye entre 25% a 80% las emisiones de CO₂ producidas por los combustibles derivados del petróleo, no tiene compuestos de azufre por lo que no los elimina como gases de combustión. Puede combinarse con otros combustibles formando una mezcla estable y no se separa en fases.

Para usar este biocombustible no es necesario realizar cambios en el motor; no se altera su mantenimiento, el almacenamiento es similar al del diesel y tampoco se altera el consumo.

3.2.2 DESVENTAJAS DEL BIODIESEL

Debido a su mayor capacidad solvente que el diesel, puede disolver residuos existentes en las líneas de combustible y taponar los filtros; de tal manera que es conveniente usarlo en vehículos nuevos o en buen estado y cambiar los filtros en menor tiempo. Tiene una capacidad energética de 95% que la del diesel, pero en la práctica no se nota la disminución ya que es compensado por el mayor índice de cetano.⁵⁹

En el área de la logística de almacenamiento, se presentan algunos problemas, como por ejemplo: al ser un producto hidrófilo y degradable, su permanencia no puede ser por largo tiempo, lo cual implica que se debe realizar una planificación exacta de su consumo.

⁵⁸ BIODIESEL UNA ESPECTATIVA EMPRESARIAL;
<http://www.ceda.org.ec/descargas/ForoBio/3%20PANEL/Percival%20Andrade.pdf>

⁵⁹ CHICA FERNANDO; Estudio y aplicación del biodiesel; UPS Cuenca
www.ups.edu.ec/ingenius/edicionn2/estudio_aplicac_biodiesel2.pdf

El rendimiento promedio para oleaginosas como girasol, maní, arroz, algodón, soya o ricino ronda los 900 litros de biodiesel por hectárea cosechada; esto puede ocasionar que sea poco práctico para países con escasa superficie cultivable.

El biodiesel es una alternativa muy rentable, esto ha causado que exista una gran explotación de plantaciones de palma, la cual es responsable de la deforestación de hectáreas de bosques.⁶⁰

El biocombustibles de produce a partir de productos de primera necesidad como el maíz, la yuca, la soya, etc., lo que causa su desabastecimiento y por ende una escalada incontrolada de su precio, lo cual afecta a los países en desarrollo.

3.3 GAS NATURAL COMPRIMIDO (GNC)

El gas natural extraído de los yacimientos, es un producto incoloro e inodoro, no tóxico y más ligero que el aire. Procede de la descomposición de los sedimentos de materia orgánica atrapada entre estratos rocosos y es una mezcla de hidrocarburos ligeros en la que el metano (CH_4) se encuentra en grandes proporciones (85% a 99% de metano), acompañado de otros hidrocarburos y gases cuya concentración depende de la localización del yacimiento.⁶¹

El gas natural es más liviano que el aire, al derrame se disipa en el aire, al contrario de convertirse en un charco sobre la tierra o ingresar en los sistemas de alcantarillado o del agua. Sin embargo, en un espacio cerrado, el gas natural se eleva hacia el techo, lo que es un riesgo potencial de ignición o incendio.

3.3.1 REDUCCIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES UTILIZANDO GNC

Las emisiones de los motores de ciclo Otto y Diesel utilizando combustible GNC son bajas, esto ha permitido a otros países dar énfasis en vehículos y motores específicamente diseñados para usar GNC. Esto permite el uso de motores de alta compresión, aprovechando el mayor índice de octano de este combustible que supera en un 30% a la gasolina de mayor calidad, con lo que se logra mayor

⁶⁰ CHICA FERNANDO; Estudio y aplicación del biodiesel; UPS Cuenca
www.ups.edu.ec/ingenius/edicionn2/estudio_aplicac_biodiesel2.pdf

⁶¹ CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA AUTOMOTRIZ; evaluación mecánica, energética y ambiental de vehículos a gas natural que operan a gran altitud; www.swisscontact.org.pe/pral/10_jose_ignacio_huertas.pdf

potencia que en relación a un vehículo con motor Otto. Los motores GNC son más ecológicos ya que reducen las emisiones de los gases responsables del llamado "efecto invernadero", hasta en un 40%. Como un sustituto para el diesel, los vehículo que utilicen GNC tienen emisiones de NOx y emisiones de material particulado (PM) sustancialmente menores.⁶²

3.4 GAS LICUADO DE PETRÓLEO (GLP)

El GLP es relativamente muy usado en vehículos livianos, pero hasta el momento es comparativamente escaso en vehículos de transporte público y camiones de tamaño grande en contraste con los buses y camiones a gas natural comprimido GNC, los cuales son más frecuentemente usados en esta categoría. La tecnología de motor para los vehículos GLP es muy similar a aquella de los vehículos a GNC.

La potencia, aceleración, carga y velocidad de cruceros son similares a los vehículos a GNC, pero los buses y camiones a GLP son menos eficientes que los buses y camiones diesel, por lo que su rango de autonomía de manejo es algo menor que los vehículos con motores ciclo diesel.

El GLP es levemente más pesado que el aire, lo que significa que el gas GLP que sale de una filtración corre el riesgo de almacenarse en espacios donde el gas puede generar explosiones.

El GLP que se usa en motores de automóviles se almacena en tanques de forma licuada a una presión que depende de la temperatura (aproximadamente a 73 PSI a 20°C).

3.4.1 REDUCCIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES UTILIZANDO GLP

Los motores que utilizan combustible GLP reducen la emisión de gases contaminantes siendo muy beneficioso para el medio ambiente.

⁶² CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA AUTOMOTRIZ; evaluación mecánica, energética y ambiental de vehículos a gas natural que operan a gran altitud; www.swisscontact.org.pe/pral/10_jose_ignacio_huertas.pdf

Los vehículos a GLP frente a los que utilizan el diesel permiten reducir en más de un 90% las emisiones de NOx (96% menos de emisión de NOx que los motores diesel y un 68% menor que motores a gasolina).⁶³

Reducen en más de un 95% a 97% las de material particulado PM (50% si los vehículos diesel están dotados de filtro de partículas).

En los vehículos con motores a gasolina, reducen en un 50% las emisiones de monóxido de carbono CO y en un 37% las de hidrocarburos no combustionados HC.⁶⁴

Las emisiones de CO₂ son similares a los motores diesel, y un 15% menor que las emisiones de motores a gasolina, reducción de vibraciones y ruido del motor hasta un 50%, menor consumo que gasolina y diesel para los mismos kilómetros de recorrido

3.5 DIESEL MICROEMULSIONADO CON AGUA (DMA) O HIDRODIESEL

A continuación se indica en qué consiste básicamente una emulsión, macroemulsión, microemulsión, la utilización y beneficios del diesel microemulsionado con agua (DMA) al introducirlo dentro de la cámara de combustión de los motores ciclo diesel.

3.5.1 EMULSIÓN

La emulsión es un sistema de dos fases que consta de dos líquidos parcialmente miscibles, uno de los cuales es **dispersado** en el otro en forma de pequeñas gotas. La fase dispersa, discontinua o interna es el líquido desintegrado en pequeñas gotas. El líquido circundante es la fase continua o externa. La estabilidad de estos sistemas puede durar desde días hasta varios años.⁶⁵

⁶³ MIGUEL IGNACIO; Biocarburente gas licuado de petróleo GLP; 2008.
www.biocarburente.com/gas-licuado-del-petroleo-glp-o-autogas/

⁶⁴ PROPUESTA COMERCIAL DE REPSOL GAS PARA LA UTILIZACIÓN DE GLP EN FLOTAS DE AUTOBUSES URBANOS.
https://imagenes.repsol.com/es_ca/dossierautobusesglp__153437_tcm8-94517.pdf

⁶⁵ EMULSIONES PROPIEDADES Y FORMULACIÓN; http://depa.pquim.unam.mx/amyd/archivero/FirpEmuls1_5374.pdf

3.5.1.1 Dispersión

Se llama dispersión a un sistema polifásico en el cual una fase se encuentra en forma de **fragmentos** (fase dispersa o discontinua) dentro de otra (fase continua). Existen varios tipos de sistemas dispersos y cada uno tiene una denominación particular.

Una dispersión de gas en un líquido es una **espuma**, mientras que una dispersión de un líquido en otro inmiscible es una **emulsión**. Finalmente una dispersión de un sólido en un líquido se llama **suspensión**.⁶⁶

3.5.1.2 Fragmentos

Cuando se habla de dispersión es importante destacar el tamaño de los fragmentos de la fase dispersa. El comportamiento de la dispersión y su efecto depende en buena parte del tamaño de los fragmentos. Se entiende por fragmento una cierta cantidad de materia gaseosa, líquida o sólida, que se llama burbuja, gota o partícula si son de tamaño macroscópico y **coloide** si su tamaño es menor al micrómetro.⁶⁷

3.5.1.3 Coloides

A los fragmentos cuyo tamaño es inferior al micrómetro se llaman coloides (0.001 - 1 μ m), pero netamente superior al tamaño de una molécula. Las soluciones coloidales son aquellas que contienen fragmentos de materia dispersada que son demasiados pequeños para que se separen por sedimentación en el campo de la gravedad.⁶⁸

3.5.2 SURFACTANTE Y ESTABILIDAD DE LAS EMULSIONES

3.5.2.1 Elementos estabilizadores

Se logra la estabilidad de una emulsión en el tiempo utilizando los siguientes elementos estabilizadores:

⁶⁶ EMULSIONES PROPIEDADES Y FORMULACIÓN; http://depa.pquim.unam.mx/amyd/archivero/FirpEmuls1_5374.pdf

⁶⁷ EMULSIONES PROPIEDADES Y FORMULACIÓN; http://depa.pquim.unam.mx/amyd/archivero/FirpEmuls1_5374.pdf

⁶⁸ EMULSIONES PROPIEDADES Y FORMULACIÓN; http://depa.pquim.unam.mx/amyd/archivero/FirpEmuls1_5374.pdf

- Surfactantes tensioactivos.
- Partículas sólidas pequeñas.
- Estabilizadores poliméricos.
- Por incremento de la viscosidad de la fase continua (estabilización cinética).

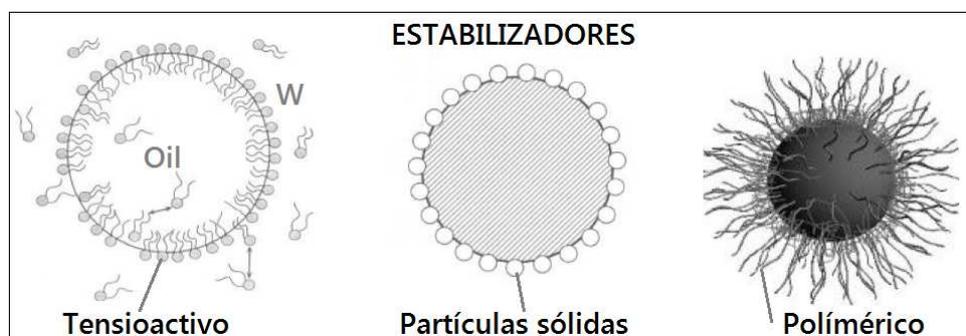


Figura 3-2: Ejemplos de algunos estabilizadores de emulsiones.⁶⁹

3.5.2.2 Surfactante tensioactivo

Dos líquidos puros inmiscibles no pueden formar una emulsión. Para que tal suspensión sea cinéticamente estable debe participar un tercer componente, llamado surfactante (emulsionante o emulgente), que estabilice la interfase. Este componente es, generalmente, un tensioactivo, otros agentes pueden ser sólidos finamente divididos, que también producen el efecto de emulsificación. El surfactante en la mayor parte de los casos es una mezcla de sustancias.

En ausencia de surfactante, una dispersión líquido - líquido coalesce rápidamente (ejemplo aceite y agua). En presencia de un agente emulsionante, la emulsión puede presentar una cierta segregación gravitacional pero la coalescencia de las gotas es notablemente retardada aun cuando están en contacto (ejemplo la mayonesa).⁷⁰

⁶⁹ EMULSIFIED FUELS IN WESTERN EUROPE; Agosto 2003. http://www.arb.ca.gov/fuels/diesel/altdiesel/a_spataru.pdf

⁷⁰ FERNÁNDEZ ALEJANDRO; Preparación, caracterización y estabilidad de emulsiones y microemulsiones O/W, Granada; 2006. <http://hera.ugr.es/tesisugr/16432988.pdf>

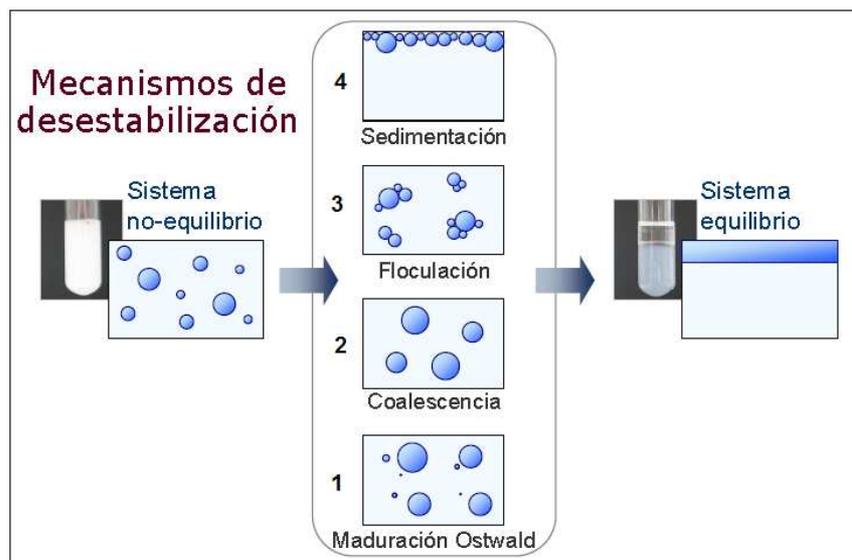


Figura 3-3: Proceso de desestabilización (descomposición) de la emulsión.⁷¹

La concentración del agente surfactante es variable, pero en la práctica existen límites de concentración. Como la siguiente:

- Concentración mínima menor a 0,1% (1000 ppm).

No hay suficiente surfactante para estabilizar la emulsión.

- Concentración mayor a 4,0% (40000 ppm)

Más allá de este valor no se gana nada aumentando la concentración surfactante.

En las aplicaciones reales y prácticas la concentración de surfactante es en el rango de 0,2 a 3,0%. Por razones de eficiencia y de costo se usa en general un surfactante compuesto de una mezcla de varios emulsionantes.

3.5.2.3 Estabilidad de las emulsiones

La estabilidad es la resistencia de las gotas a la coalescencia. Es decir, se refiere a casi la ausencia de cambio durante un periodo de tiempo suficientemente largo para lograr el propósito de la aplicación práctica, lo cual puede variar desde algunos minutos hasta algunos años.

⁷¹ FERNÁNDEZ ALEJANDRO; Preparación, caracterización y estabilidad de emulsiones y microemulsiones O/W, Granada; 2006. <http://hera.ugr.es/tesisugr/16432988.pdf>

El límite superior de tamaño de la fase dispersa depende esencialmente de la estabilidad del sistema frente a la sedimentación gravitacional. Si no hay separación por sedimentación se habla de una solución o suspensión coloidal o una microemulsión. Al contrario, los sistemas que se separan por sedimentación (cualquiera sea el tiempo requerido) no son estables y se llamarán espumas, macroemulsiones o suspensiones. La **estabilidad** dependerá del tipo de **surfactantes** que se utilice para mantener la emulsión en un periodo de tiempo considerable.⁷²

Cuando se produce la flotación o sedimentación de las gotas como consecuencia de la diferencia de densidad entre las fases, sin crecimiento del tamaño de las gotas, normalmente no se habla de destrucción de la emulsión sino de floculación. La redispersión del sistema puede conseguirse nuevamente sin dificultad.

La velocidad del proceso de coalescencia es la única medida de la estabilidad de la emulsión. Puede seguirse determinando el número de gotas en función del tiempo. Esta velocidad depende de varios factores, entre los principales son los siguientes:

- De la naturaleza del recubrimiento interfacial.
- De la existencia de barreras electrostáticas en la interfase que previenen el contacto entre gotas.
- De la viscosidad de la fase continua.
- De la distribución del tamaño de gotas.
- De la temperatura.

En resumen, la emulsión es una sustancia formada por la mezcla generalmente de líquidos inmiscibles (fases), es decir que es una sustancia que no puede mezclarse en cualquier proporción y formar una fase homogénea sin la intervención de un tercero llamado surfactante. Por ejemplo, una mezcla inmiscible es la del aceite con el agua. Durante el proceso de emulsificación, la fase dispersa (por ejemplo agua) se introduce en la fase líquida (por ejemplo aceite).

⁷² FERNÁNDEZ ALEJANDRO; Preparación, caracterización y estabilidad de emulsiones y microemulsiones O/W, Granada; 2006.
<http://hera.ugr.es/tesisugr/16432988.pdf>

3.5.3 TIPOS DE EMULSIONES

Los tipos de emulsiones dependerán de la naturaleza de las gotas de la fase dispersa, del contenido interno de la gota de la fase dispersa y del tamaño de las gotas de la fase dispersa.

3.5.3.1 Emulsión según la naturaleza de las gotas de la fase dispersa

Generalmente en una emulsión de dos líquidos inmiscibles, uno de los líquidos es la fase acuosa (fase continua) y el otro líquido es la fase aceitosa u orgánica (fase discontinua). La emulsión que se forma en cada circunstancia depende primordialmente de la naturaleza del surfactante. Entonces las emulsiones según la naturaleza de las gotas de la fase dispersa son de dos tipos y son las siguientes:

- Emulsión de aceite en agua (O/A)

La emulsión contiene gotas de aceite (O) dispersadas en agua (A). La formación de emulsiones O/A se produce con la intervención de surfactantes más solubles en agua que en la fase orgánica.

- Emulsión de agua en aceite (A/O)

La emulsión contiene gotas de agua (O) dispersadas en aceite (A). Las emulsiones A/O se forman con surfactantes más solubles en la fase orgánica que en el agua.

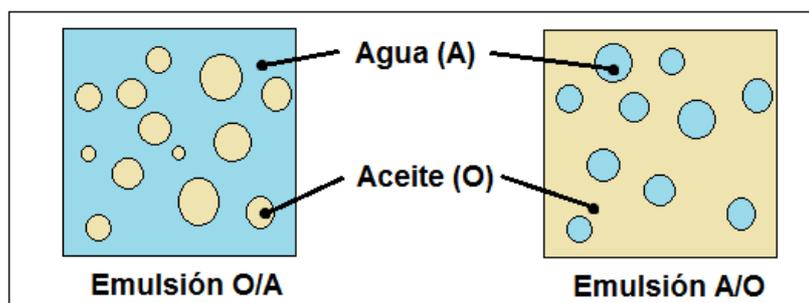


Figura 3-4: Diferentes tipos de emulsiones.⁷³

⁷³ EMULSIONES PROPIEDADES Y FORMULACIÓN; http://depa.pquim.unam.mx/amyd/archivero/FirpEmuls1_5374.pdf

3.5.3.2 Emulsión según el contenido interno de la gota de la fase dispersa

Existen casos complejos de encapsulación de líquido en una gota, por ejemplo, si las gotas de aceite de una emulsión O/A contienen en su interior micelas de agua (pequeñas gotas de agua), se dice que se tiene una **emulsión múltiple** de tipo A/O/A. las emulsiones múltiples se encuentran en forma espontánea. Hay que especificar el contenido de fases internas en los dos tipos de gotas.

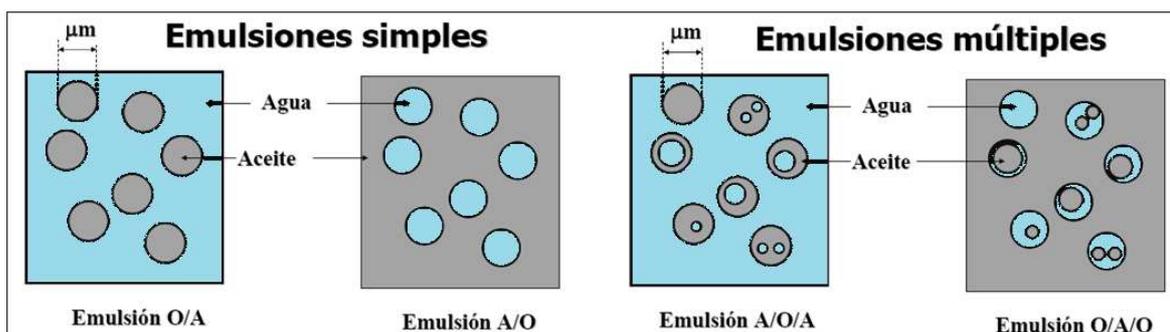


Figura 3-5: Tipos de emulsiones simples y múltiples.⁷⁴

3.5.3.3 Emulsión según el tamaño de las gotas de la fase dispersa

Para obtener la emulsión, se reduce el tamaño de las partículas de la fase dispersa, (por ejemplo igual tamaño de la gota de agua). Cuanto menor sea el tamaño de las partículas, más estable es la emulsión generada. Se puede lograr mayor tiempo de estabilidad mediante la adición de tensioactivos o estabilizadores emulsificantes.

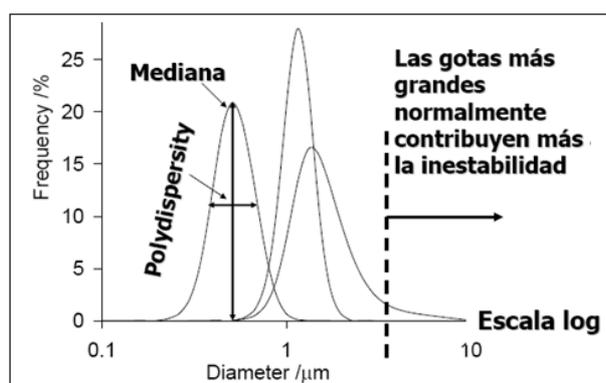


Figura 3-6: Distribución general de tamaños de gotas de una emulsión.⁷⁵

⁷⁴ ARÉVALO MERCEDEZ; Introducción a las Emulsiones; http://personal.us.es/mfarevalo/recursos/tec_far/emulsiones.pdf

⁷⁵ ARÉVALO MERCEDEZ; Introducción a las Emulsiones; http://personal.us.es/mfarevalo/recursos/tec_far/emulsiones.pdf

Una emulsión producida por un proceso único de agitación, la distribución del tamaño de gota se aproxima a una ley normal o logarítmica normal como se indica en la Figura 3-7. Cuando la agitación aumenta, o la tensión interfacial disminuye, o cuando la viscosidad de la fase dispersa disminuye se puede ver que la distribución se desplaza hacia más pequeños diámetros, la distribución se vuelve más angosta, es decir la polidispersidad disminuye y tiende a ser más monodispersa.

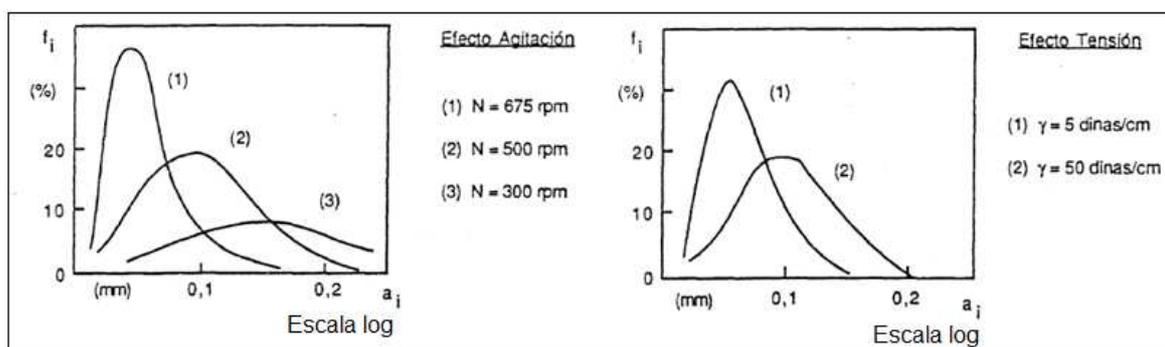


Figura 3-7: Distribución de tamaños de gotas en función de la velocidad de agitación y de la tensión interfacial.⁷⁶

Por ejemplo en la Figura 3-8, se observa los resultados de la muestra para la emulsificación obtenida por un proceso de ultrasonido de 10% de agua en el aceite de motor.

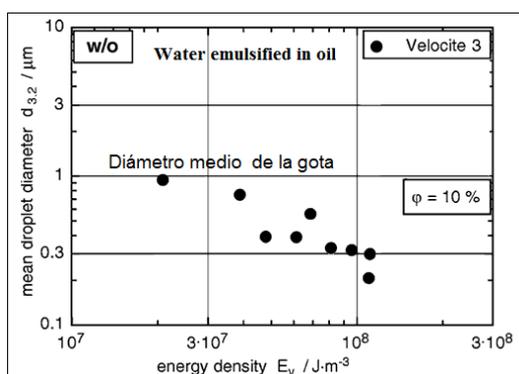


Figura 3-8: Diámetro promedio de la gota de emulsión de agua en aceite.⁷⁷

Según el tamaño de las gotas de la fase dispersa, las emulsiones se clasifican de la siguiente manera:

⁷⁶ PROPIEDADES Y FORMULACION DE UNA EMULSION; http://depa.pquim.unam.mx/amyd/archivero/FirpEmuls1_5374.pdf

⁷⁷ BEHREND O., SCHUBERT H.; Influencia de la viscosidad de fase continua en la emulsificación por ultrasonido, en: Ultrasonidos Sonochemistry 7 (2000); pág. 77 - 85.

- Macroemulsión.
- Microemulsión.

3.5.3.3.1 Macroemulsión

Se consideran como macroemulsión cuando el tamaño de gotas es de 0,2 a 500 μm (0,5 mm).

Una macroemulsión tiene las siguientes características:

- Termodinámicamente es inestable (metaestable).
- El proceso de desestabilización hasta llegar al estado de equilibrio se produce en un período de tiempo corto.
- Puede ser cinéticamente estabilizado por polímeros surfactante, o pequeñas partículas.
- Posee una macroestructura formado por gotas (esferas), por ejemplo gotas de aceite en el agua (O/A) o gotas de agua en aceite (A/O).

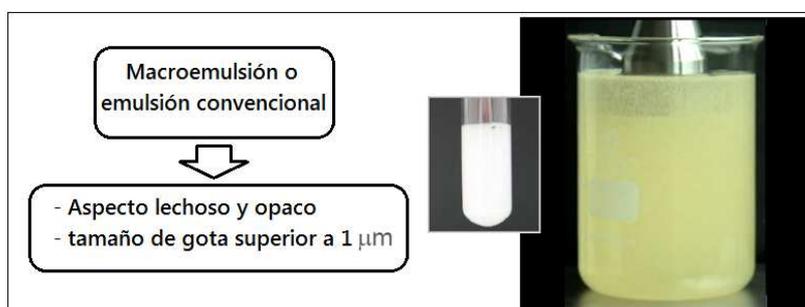


Figura 3-9: Aspecto de una macroemulsión líquido - líquido.⁷⁸

3.5.3.3.2 Microemulsión

Se consideran como microemulsión cuando el tamaño de las gotas varía de 0,01 a 0,2 μm (10 - 200 nm).

Una microemulsión tiene las siguientes características:

- Es una solución isotrópica y termodinámicamente estables.
- Requieren de energía mínima para la formación.

⁷⁸ REDUCCIÓN DE NOx POR ACEITE / AGUA EMULSIFICACIÓN; http://www.hielscher.com/es/oil_nox_reduction.htm

- Es estabilizada mediante la utilización de surfactantes tensioactivos.
- La microestructura puede ser en forma de gotas, cilíndricas o bicontinua.
- La curvatura de la capa de surfactante determina el tipo de microemulsión obtenida.
- La microemulsión es reversible, esta puede comenzar a desestabilizarse a temperaturas es muy bajas o altas. Cuando la temperatura retorna a un valor de estabilidad, entonces la microemulsión se reforma.

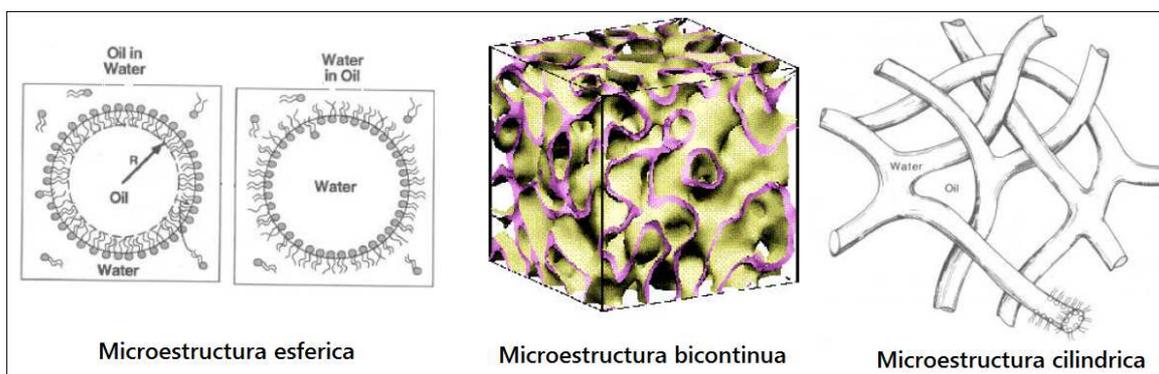


Figura 3-10: Microestructura de una microemulsión líquido - líquido.⁷⁹

Si el tamaño de la gota es del orden de 1 μm la emulsión presenta un aspecto blanco lechoso, si el tamaño está entre 0.1 - 1 μm , blanco-azulado; 0.05-0.1 μm , gris semitransparente; 0.05 μm , transparente.

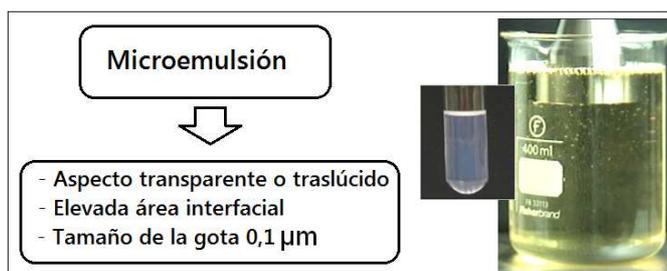


Figura 3-11: Aspecto de una microemulsión líquido - líquido.⁸⁰

3.5.3.4 Procesos de obtención de las emulsiones

Las emulsiones son causadas por la agitación manual y mecánica para generar turbulencia, ya que el golpeteo dispersa una de las fases en muchas gotas pequeñas. La tensión interfacial (fuerza o tensión existente entre dos líquidos que

⁷⁹ MARTA BERKA; Foam, emulsion; University of Debrecen Dept of Colloid and Environmental Chemistry; 2010.

⁸⁰ REDUCCIÓN DE NOx POR ACEITE / AGUA EMULSIFICACIÓN; http://www.hielscher.com/es/oil_nox_reduction.htm

no son miscibles) tiende a la coalescencia de las gotas (proceso mediante el cual las gotas de un líquido disperso chocan entre sí y forman gotas más grandes, que pueden hacer que se precipiten). Muchas gotas dispersas en una fase continua tienen una gran área colectiva interfacial; no obstante, como las partículas coalescencia, el área total interfacial disminuye. La tensión interfacial representa energía potencial disponible para producir un área interfacial más pequeña. Luego, la tendencia natural es que la coalescencia ocurra. Una tensión interfacial baja disminuye la coalescencia de las gotas de la emulsión.

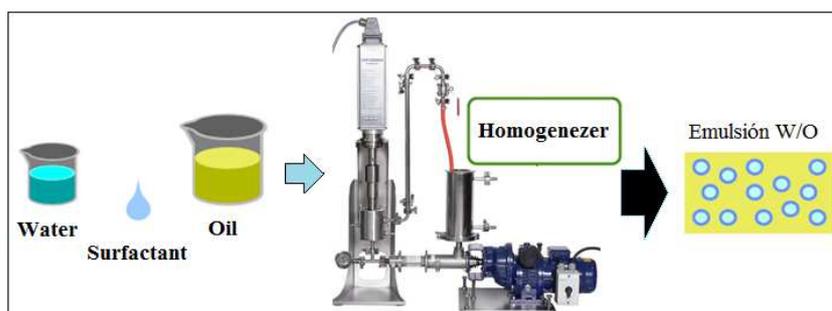


Figura 3-12: Proceso de obtención de la emulsión de dos líquidos.⁸¹

Una tercera sustancia llamada surfactante está presente para estabilizar la emulsión. Las moléculas del surfactante son anfipáticas, es decir, una parte de la molécula es hidrofílica o soluble en agua y la otra es lipofílica o soluble en aceite, las cuales forman una película interfacial alrededor de las gotas. Esta película estabiliza la emulsión, ya que reduce las fuerzas de tensión superficial requerida para la coalescencia de las gotas, forma una barrera viscosa que inhibe la coalescencia de las gotas y, si es polar, su carga eléctrica causa una repulsión entre las gotas.

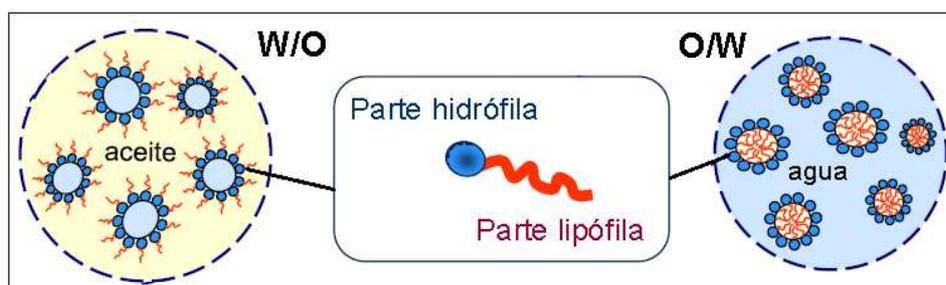


Figura 3-13: Moléculas anfipáticas del surfactante.⁸²

⁸¹ EMULSIFIED FUELS IN WESTERN EUROPE; Agosto 2003. http://www.arb.ca.gov/fuels/diesel/altdiesel/a_spataru.pdf

⁸² GONZÁLEZ CARMEN; NANOTECNOLOGÍA - III Encuentro de seguridad alimentaria y nutrición; Santander; Septiembre 2008.

3.5.4 UTILIZACIÓN DE DIESEL MICROEMULSIONADO CON AGUA EN MOTORES DE COMBUSTION INTERNA

Los motores diesel desempeñan hoy en día un papel importante en todos los países industrializados y no industrializados. Las razones fundamentales del uso de este tipo de motor son, principalmente por su excelente rendimiento termodinámico, un proceso de combustión mejorada, el alto rendimiento volumétrico debido a la ausencia del estrangulador, otras restricciones en la admisión de aire y menor consumo específico de combustible.

La emisión de monóxido de carbono (CO) y dióxido de carbono (CO₂) es menor comparado con las concentraciones de emisiones de motores a gasolina. Sin embargo, presentan algunos puntos de desventaja, como las altas emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x), dióxido de azufre (SO₂), compuestos que contienen azufre (S), altas emisiones de material particulado (PM) y humos negros (glóbulos de carbono rodeados de sulfuros, agua e hidrocarburos, algunos de ellos cancerígenos) y el excesivo ruido. Todos estos aspectos afectan la salud de los seres vivos, las propiedades y las condiciones climáticas y ambientales, lo que en muchos casos pone en duda su utilización.

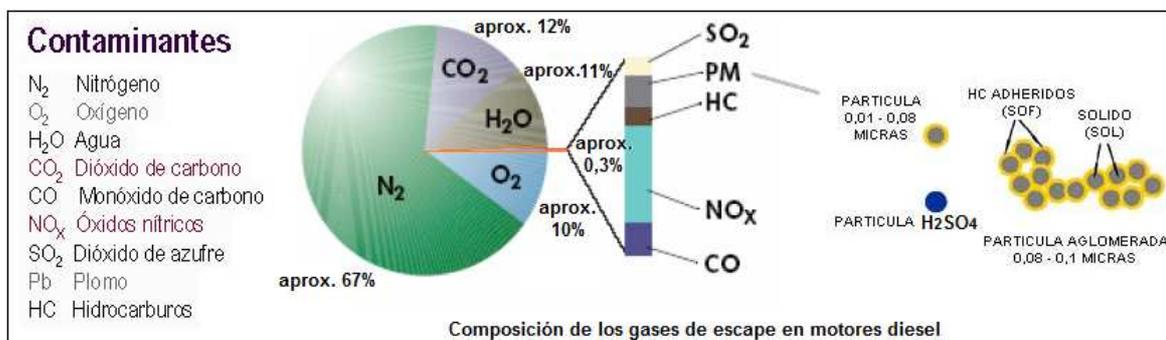


Figura 3-14: Composición aproximada de los gases de escape de un motor ciclo diesel.⁸³

Para disminuir la contaminación que producen los motores diesel, se está probando una solución, que a primera vista parece demasiado simple, ésta consiste en agregar agua al combustible diesel, más algunos elementos que permiten una emulsión homogénea y permanente.

⁸³ TECNOLOGÍAS DE CONTROL DE EMISIONES PARA MOTORES DIESEL; Asociación de Fabricantes de Controles de Emisiones (MECA); [http://www.meca.org/galleries/default-file/Mexico%20ARB%20Retrofit%20workshop%20\(Spanish%20version\).pdf](http://www.meca.org/galleries/default-file/Mexico%20ARB%20Retrofit%20workshop%20(Spanish%20version).pdf)

En los vehículos con motores diesel que circulan en otras ciudades del mundo, el método de introducir agua y combustible directamente en la cámara de combustión de los motores alternativos, ha demostrado ser muy eficaz y al mismo tiempo ser una alternativa económica para la reducción de óxidos de nitrógeno (NOx) y de material particulado (PM) en los gases de escape.

En varios países la utilización del combustible microemulsionado todavía es un tema de estudio, especialmente en las ciudades ubicadas sobre los 2500 metros de altura sobre el nivel del mar, debido a que el comportamiento y las concentraciones de las emisiones de gases contaminantes del motor son impredecibles.

3.5.5 COMPOSICIÓN DEL DIESEL MICROEMULSIONADO CON AGUA

El diesel microemulsionado con agua (DMA) o llamado también hidrodiesel, es el resultado de años de investigación para encontrar un combustible amigable con el medio ambiente, no contaminante en relación al tradicional combustible diesel.

El DMA está constituido por una suspensión de micropartículas líquidas de agua (fase dispersa) dentro de combustible líquido diesel (fase continua), es homogénea y duradera, con características iguales al diesel.

El DMA está compuesto generalmente entre 10% a 20% (porcentaje en volumen) mezclada con aditivos específicos y surfactante que van del 1% a 3%, y entre 90% a 80 % en volumen de combustibles diesel. Sin embargo, experimentalmente estas relaciones pueden variar entre 1% a 40% de agua.⁸⁴

“Estas emulsiones están constituidas siempre con un contenido neto de hidrocarburos o triglicéridos superior al 70%. El resto mayormente lo constituye el agua y una proporción de menos del 2,5% de emulsificante tensioactivo, y en los casos de uso de las emulsiones en motores ciclo diesel, de un 1,5% de un paquete energético a base de un procetano específico”.⁸⁵

⁸⁴ LIF ANNA; WATER-IN-DIESEL EMULSIONS AND RELATED SYSTEMS; PDF, pág. 232; Junio 2006; http://www.firp.ula.ve/archivos/pdf/06_ACIS_Lif_diesel_emulsion.pdf

⁸⁵ ADITIVO PARA REALIZAR EMULSIONES ESTABLES DE AGUA CON ACEITES; www.sumobrain.com/patents/wipo/Additive-preparing-stable-emulsions-water/WO2000000572A2.pdf

En la Figura 3-15, se indica la composición de una microemulsión final a través de un microscopio electrónico de barrido de presión variable: diesel, agua destilada al 10% , surfactante (Nonil fenol etoxilado 0,1%) y 0,3% de NaCl.

“Hay que tener en cuenta que la mejor emulsión se encuentra en un compromiso de rendimientos. A cuanto más agua mayor poder “limpiante” o ecológicamente rentable, pero menos energía total en la combustión”.⁸⁶

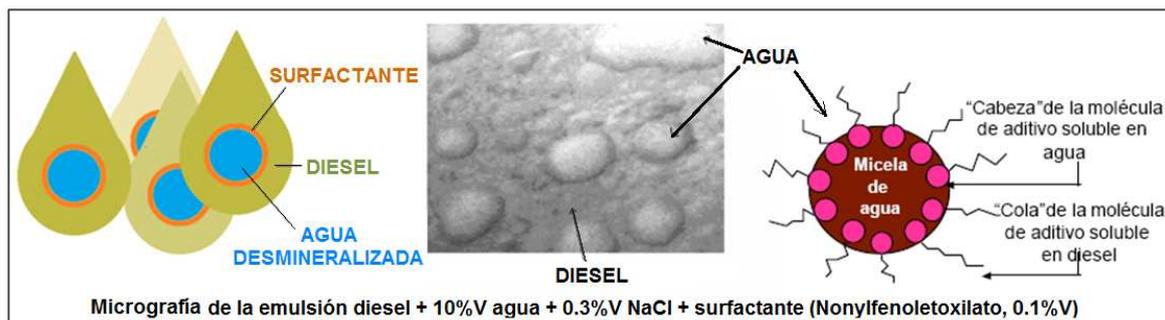


Figura 3-15: Composición de una gota de diesel microemulsionado con agua.⁸⁷

En la Figura 3-16, se indica el aspecto de varios combustibles microemulsionados como: keroseno de avión (JET A1) + 12% agua, diesel uso agrícola + 20% agua, hidrobiodiesel al 20% diesel + 80% aceite girasol + 12% agua, hidrobiodiesel al 80% diesel + 20% aceite girasol + 12% agua, aceite de oliva + 12% agua y finalmente aceite de girasol + 12% agua.⁸⁸



Figura 3-16: Aspecto de combustibles microemulsionados con agua.⁸⁹

⁸⁶ ADITIVO PARA REALIZAR EMULSIONES ESTABLES DE AGUA CON ACEITES; www.sumobrain.com/patents/wipo/Additive-preparing-stable-emulsions-water/WO2000000572A2.pdf; pág. 12

⁸⁷ ESPECIFICACIONES DE COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS; <http://www.ingenieroambiental.com/4014/lubrizol.pdf>

⁸⁸ EMULSIÓN REVOLUCIONARIA COMBUSTIBLE Y AGUA; <http://www.jaon.es/epoch/epoch.pdf>

⁸⁹ EMULSIÓN REVOLUCIONARIA COMBUSTIBLE Y AGUA; <http://www.epochemulsions.com/imagenes/emulsion.JPG>

3.5.6 REDUCCIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES UTILIZANDO DMA

La microemulsión de combustible diesel con agua (DMA) es una tecnología que se está desarrollando con el propósito de utilizarlo en motores ciclo diesel para reducir la emisión de gases contaminantes a la atmósfera. El DMA reducen simultáneamente las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx), material particulado (PM), monóxido de carbono (CO) y dióxido de carbono (CO₂) de los motores diesel, sin necesidad realizar modificaciones mecánicas a los mismos.

Los valores de las concentraciones de emisiones típicas que reducen utilizando DMA son del orden siguiente:⁹⁰

- Opacidad hasta el 80%.
- Material particulado PM hasta el 60%.
- Óxidos de nitrógeno NOx hasta el 30%.
- Dióxido de carbono CO₂ hasta el 5%.
- Monóxido de carbono CO hasta un 40%.

En la Figura 3-17, se indica un ejemplo de la reducción de PM, hidrocarburos no combustionados y de NOx al utilizar el DMA.

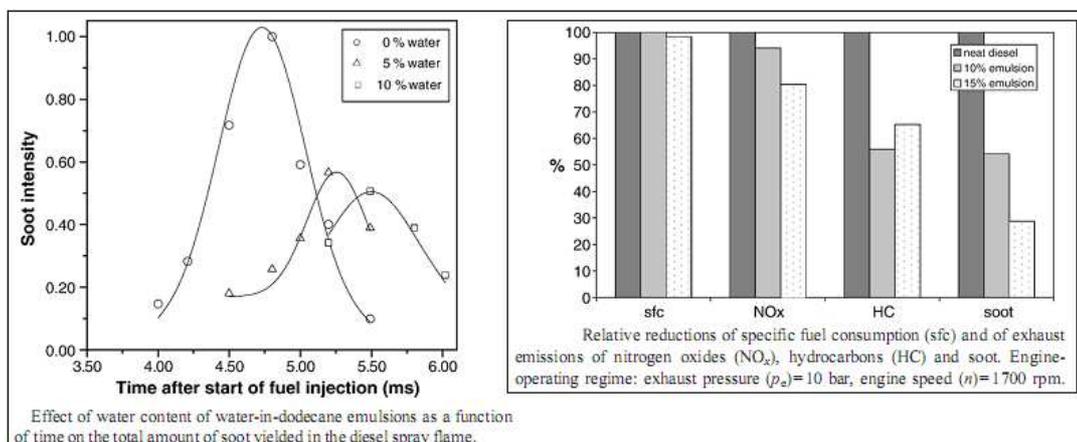


Figura 3-17: Reducción de gases contaminantes y PM utilizando diesel microemulsionado con agua.⁹¹

La introducción de agua dentro de la cámara de combustión trae como consecuencia que la temperatura máxima del ciclo disminuya y ocasione una

⁹⁰ VIGILANCIA CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA; Las emulsiones diesel/agua como combustible alternativo para uso en motores diesel; Universidad Central de Colombia; Bogotá; Octubre 2007. <http://www.ucentral.edu.co/CIFI/boletin/VIGILANCIA-CIENTIFICA%202.pdf> ; pág. 25.

⁹¹ LIF ANNA; WATER IN DIESEL EMULSIONS AND RELATED SYSTEMS; Junio 2006; PDF pág. 233. www.firp.ula.ve/archivos/pdf/06_ACIS_Lif_diesel_emulsion.pdf

reducción de la producción de óxidos de nitrógeno (NOx). Es decir, la energía usada para la vaporización baja la temperatura en la cámara de combustión, reduciendo la velocidad de reacción entre N_2 y O_2 para formar NOx, ya que la concentración de éstos depende del valor de temperatura interna en los cilindros. Los NOx se incrementan cuando aumenta la temperatura.

“El oxígeno adicional producto de la microexplosión y vaporización del agua impide la formación del compuesto denominado PAH (Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos). Durante la combustión al utilizar sólo diesel puro, los PAH no se queman completamente, por lo que los PAH no quemado se convierte en material particulado (PM). Al reducir la cantidad de PAH por la adición de oxígeno también se reduce la producción de PM”.⁹²

3.5.7 TRABAJO E INFLUENCIA DEL DMA EN EL MOTOR CICLO DIESEL

3.5.7.1 Proceso de combustión

El agua contenida en el diesel es la microemulsión tipo A/O, al ser introducida en la cámara de combustión del motor, es sometida a un cambio rápido de temperatura, y esto provoca un cambio súbito de fase desde líquido comprimido hasta vapor recalentado (cuyo volumen específico es unas cien veces mayor que el de fase líquida, teniendo en cuenta las presiones y temperaturas normales de operación de motores diesel).

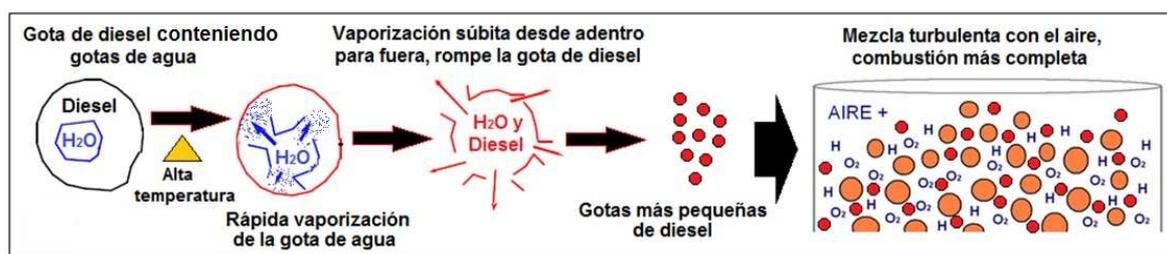


Figura 3-18: Proceso general de microexplosión de la gota diesel microemulsionada con agua.⁹³

En la etapa inicial de la combustión, la microemulsión se expande [Figura 3-20 (b)], se produce una microexplosión o expansión del combustible que rodea a las gotas de agua de la microemulsión, liberando vapor de agua acompañado por

⁹² SAYEL M. FAYYAD; Experimental Emulsified Diesel and Benzen Investigation; Mayo 2010; PDF pág. 269. <http://maxwellsci.com/print/rjaset/v2-268-273.pdf>

⁹³ ESPECIFICACIONES DE COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS; <http://www.ingenieroambiental.com/4014/lubrizol.pdf>

gotas más pequeñas (microgotas) de combustible diesel sin ocurrir la ignición [Figura 3-20 (c)] y logrando tener una superficie efectiva de reacción de combustión aire-combustible. Se origina la ignición de la microgota de diesel y aparece la flama [Figuras 3-20 (d) y 3-20 (d)]. Durante la etapa que dura la flama, se produce una serie de pequeñas expansiones y contracciones acompañadas de liberación de vapor. Posteriormente, la gota alcanza otra expansión importante [Figuras 3-20 (e) y 3-20 (e)]. Después de esta expansión, ocurre la última contracción formando un residuo partícula de carbón y ceniza, después de un intervalo corto se contrae de nuevo formando un carbón final [Figuras 3-20 (f) y 3-20 (f)]. Finalmente, la combustión de este último residuo sólido continúa y la fragmentación del mismo continúa hasta que termina su combustión.

En la Figura 3-19, se indica la secuencia y tiempo del proceso de combustión de una gota de diesel puro hasta formar un residuo de partícula de carbón y ceniza. Este proceso de combustión fue simulado al introducir las gotas de diesel en un horno quemándose de manera individual en aire y a 1000 watts de potencia de la lámpara de calentamiento.

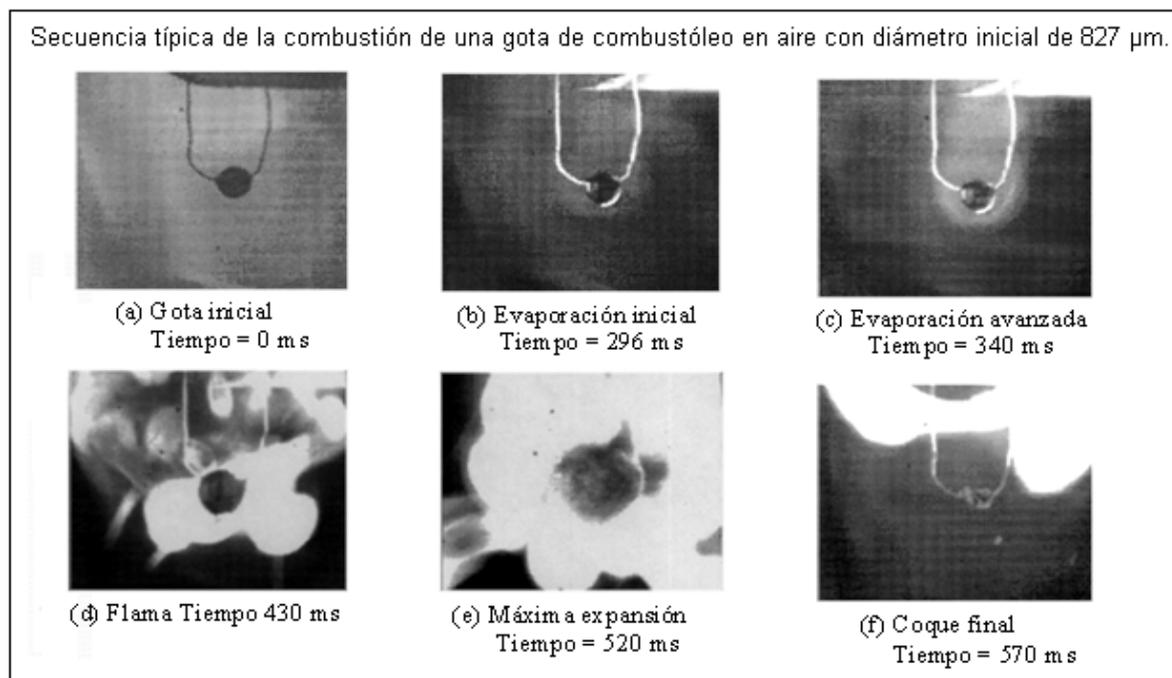


Figura 3-19: Secuencia y tiempo de la combustión de una gota de diesel.⁹⁴

⁹⁴ OCAMPO BARRERA RENE; Combustión de emulsiones de agua en combustible y perspectivas de aplicación en México; 1998; www.iie.org.mx/publica/bolmj98/tec2mj98.htm

En la Figura 3-20, se indica la secuencia y tiempo del proceso de combustión de una gota de diesel microemulsionado con agua, hasta formar un residuo de partícula de carbón y ceniza. Este proceso de combustión fue simulado al introducir las gotas de diesel microemulsionado con agua en un horno quemándose de manera individual en aire y a 1000 watts de potencia de la lámpara de calentamiento.

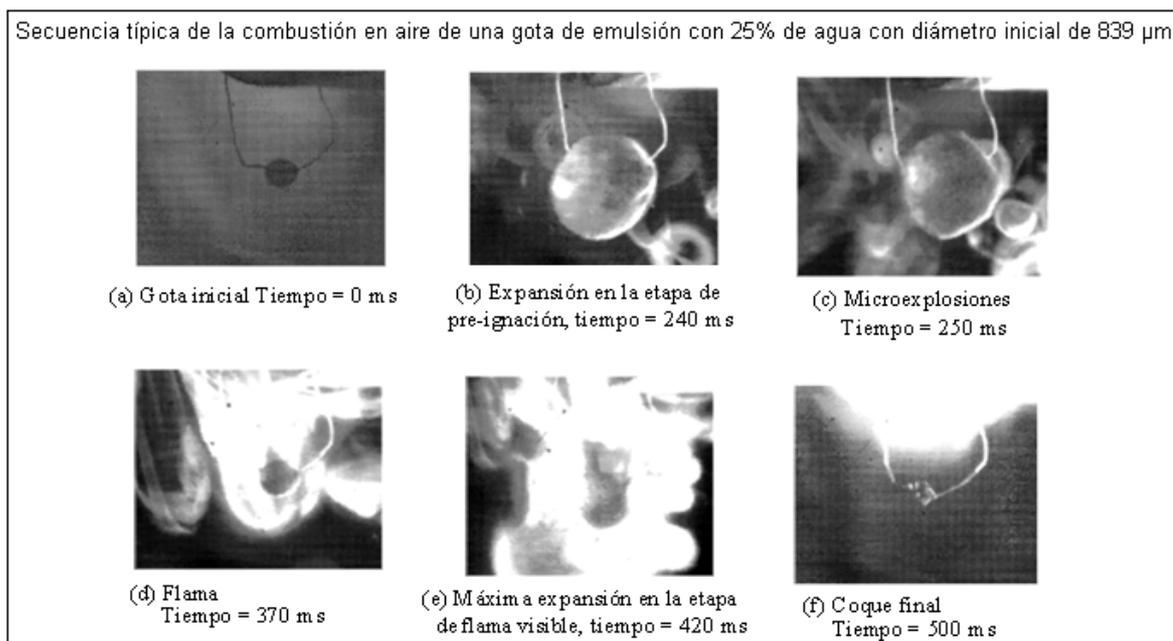


Figura 3-20: Secuencia y tiempo de la combustión de una gota de diesel microemulsionado con agua.⁹⁵

Del proceso de combustión de las gotas de diesel y de la microemulsión analizada, se observa tres etapas principales que son las siguientes:

- Preignición o etapa de calentamiento.

En esta etapa la gota de diesel sufre un calentamiento rápido y la evaporación de componentes volátiles, mientras que en la gota de microemulsión se presenta calentamiento, expansión y microexplosiones.

- Etapa de flama visible

En esta etapa se queman los componentes volátiles de la gota de diesel y de microemulsión.

- Etapa de combustión de residuo.

⁹⁵ OCAMPO BARRERA RENE; Combustión de emulsiones de agua en combustóleo y perspectivas de aplicación en México; 1998 www.iiie.org.mx/publica/bolmj98/tec2mj98.htm

El residuo de partícula de carbón continúa quemándose hasta reducir su tamaño.

3.5.7.2 Análisis del residuo de carbón y ceniza

La superficie del residuo de partícula de carbón es rugosa y con agujeros. Los agujeros se forman cuando los componentes ligeros del diesel se volatilizan y salen de la gota. Estos agujeros permiten el paso del oxígeno al interior de la partícula para su combustión y la salida de los productos de combustión de la misma.

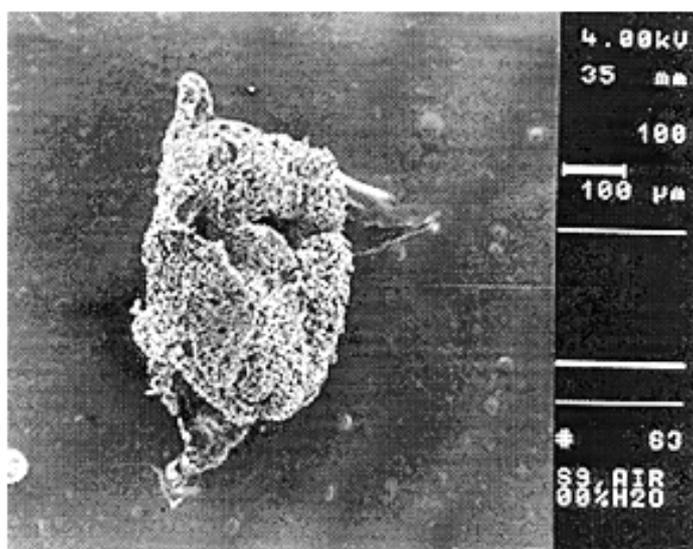


Figura 3-21: Partícula de carbón producto de la combustión de una gota de diesel.⁹⁶

Las partículas de carbón producidas por la combustión de emulsiones tienen una superficie rugosa y con agujeros de mayor tamaño. El origen de los agujeros de las partículas de las emulsiones es debido a la presión dentro de la gota que se incrementa debido a la vaporización de componentes volátiles, lo cual provoca que el vapor del combustible rompiera zonas débiles de la superficie y escapara a través de ellas. A través de estos grandes agujeros, el oxígeno pasa más fácilmente al interior de la partícula reaccionando y permitiendo la formación y liberación violenta de más productos de combustión. Por lo tanto se puede concluir que la masa de residuo de las emulsiones es menor que la del residuo del diesel.

⁹⁶ OCAMPO BARRERA RENE; Combustión de emulsiones de agua en combustóleo y perspectivas de aplicación en México; 1998
www.iie.org.mx/publica/bolmj98/tec2mj98.htm

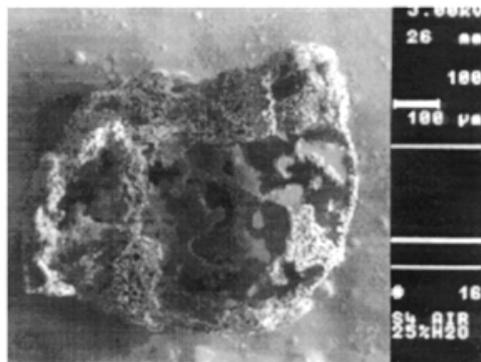


Figura 3-22: Partícula de carbón producto de la combustión de una gota de DMA con 25% V de agua.⁹⁷

3.5.7.3 Tiempo de combustión de las microemulsiones

El tiempo de combustión de las microemulsiones fue menor que el del diesel. A mayor contenido de agua, menor es el tiempo requerido para la combustión de las emulsiones.

En la Tabla 3-1, se indica los resultados de una experimentación realizada utilizando gotas de diesel y de microemulsión en la ciudad de México. Por ejemplo el tiempo de combustión de la microemulsión con 25%V de agua es aproximadamente 18% menor que el del diesel. Además, el tiempo de combustión del residuo de carbón para las microemulsiones es menor, entre 5 y 20% comparado con el diesel. La etapa de combustión del residuo es de aproximadamente el 65% del tiempo total de combustión. Esto es porque la combustión de carbón ocurre en la superficie a una velocidad de reacción muy baja comparada con la combustión de los volátiles.

Tabla 3-1: Características del proceso de combustión del diesel y microemulsiones con agua.⁹⁸

Porcentaje de agua en la microemulsión (%V)		0	5	15	25
Variación de diámetro de la gota	Diámetro inicial d_0 (μm)	827	836	802	839
	d_p / d_0	1.1	1.7	2.8	4.0
	d_f / d_0	2.7	2.1	2.0	2.0
	d_c / d_0	0.77	0.70	0.74	0.75
Tiempo total de combustión (ms)		1490	1410	1280	1220
Nota: (dp), (df) y (dc) se refieren al número de veces que alcanzó el máximo diámetro en relación al diámetro inicial (do), en las etapas de preignición, flama visible y combustión de la partícula de carbón respectivamente.					

⁹⁷ OCAMPO BARRERA RENE; Combustión de emulsiones de agua en combustóleo y perspectivas de aplicación en México. www.iie.org.mx/publica/bolmj98/tec2mj98.htm

⁹⁸ OCAMPO BARRERA RENE; Combustión de emulsiones de agua en combustóleo y perspectivas de aplicación en México. www.iie.org.mx/publica/bolmj98/tec2mj98.htm

3.5.8 ALMACENAMIENTO DEL DIESEL MICROEMULSIONADO CON AGUA

El diesel microemulsionado con agua (DMA) puede almacenarse a temperatura ambiente en un periodo de dos a tres semanas sin que sea necesario realizar recirculación o adicionar más microemulsión o diesel puro para mantenerlo estabilizado. Aunque dentro del periodo de las dos o tres semanas se origina rasgos de coalescencia con el propósito de llegar a precipitar pueden ser visibles, esto no quiere decir que se ha producido una separación de las fases del DMA, esta se mantiene estable. Mediante la agitación y recirculación del DMA se restablece en su totalidad.

La manera más eficiente y económica de evitar la precipitación del DMA y garantizar un combustible alternativo de buena calidad, es mediante la utilización de un sistema de recirculación instalado en el tanque de almacenamiento.

El rango de recirculación diario recomendado es del 20 al 30% del volumen almacenado de DMA por día, de esa manera se garantiza que el DMA pueda ser utilizado en un periodo de tiempo mayor a 6 meses.⁹⁹

Se recomienda que la temperatura de almacenamiento no exceda los 70°C, en el caso de requerirse almacenamiento a bajas temperaturas el DMA es plenamente compatible con aditivos anticongelantes utilizados con el combustible diesel.

Con relación al diseño y materiales de los tanques de almacenamiento, de los sistemas de distribución y despacho, son exactamente los mismos que se utilizan actualmente para almacenar diesel convencional. El comportamiento físico y químico DMA almacenado es similar al diesel normal.¹⁰⁰

3.5.9 APLICACIÓN Y EXPERIENCIAS DE LA UTILIZACIÓN DEL DMA

3.5.9.1 Aplicación del DMA

El DMA puede ser utilizado en motores diesel con sistemas de inyección de combustible de alta presión, dentro de las ciudades en vehículos de transporte urbano, transporte estudiantil, vehículos de reparto, flotas de recolectores de

⁹⁹ ITALO LATINA DE ENERGÍA; Hidrodiesel; www.italolatina.com/mhd.php?op=5

¹⁰⁰ ITALO LATINA DE ENERGÍA; Hidrodiesel; www.italolatina.com/mhd.php?op=5

desechos, fuera de las ciudades en transporte pesado, maquinaria agrícola, equipo de minería, y construcción, equipo naviero entre otros.

Utilizando diesel microemulsionado con agua, la potencia y torque específico máximo del motor sufren una pérdida aproximadamente de hasta 20%, la potencia nominal de trabajo no se ve afectada y el consumo específico de combustible disminuye, significando un ahorro económico a largo plazo para el usuario. Ver ejemplo en las figuras 3-23 y 3-24.

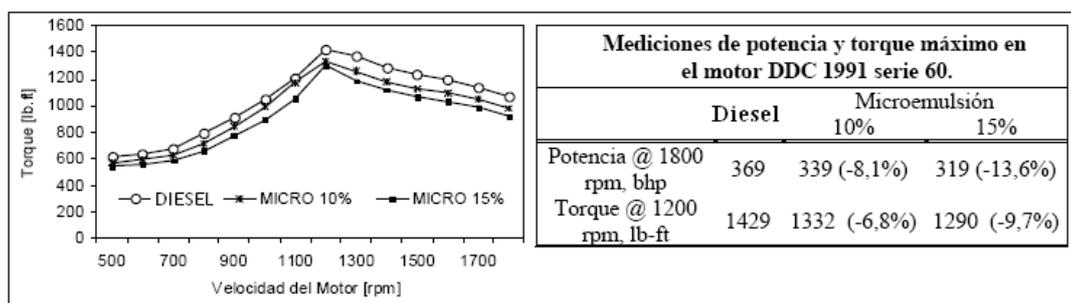


Figura 3-23: Mediciones de torque vs. velocidad del motor, utilizando diesel puro y microemulsión con 10%V y 15%V de agua.¹⁰¹

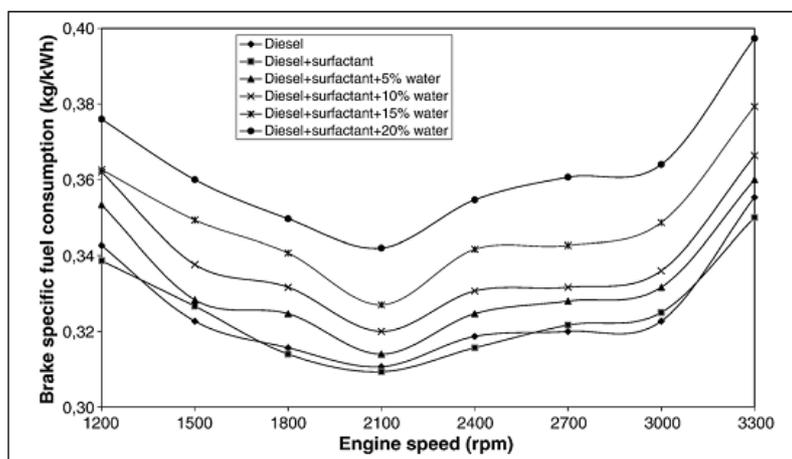


Figura 3-24: Consumo específico de combustible vs. velocidad del motor, utilizando diesel puro y microemulsión con agua.¹⁰²

3.5.9.2 Experiencias

Un creciente número de vehículos, principalmente buses urbanos, están utilizando la tecnología de emulsiones de diesel como solución inmediata a la reducción de contaminación en la Unión Europea. Más específicamente, en Inglaterra, cerca de

¹⁰¹ LIF ANNA; Water in diesel emulsions and related systems; Chalmers University of Technology; 2006; PDF pág. 235.

¹⁰² GONCALVES DAVID; Evaluación en banco de microemulsiones de agua en diesel en un motor DDC 1991 Serie 60; San Cristóbal Venezuela; 2006; PDF pág. 2

450 buses urbanos de Londres y Nottingham la usan; en Francia operan alrededor de 1.000 buses en las localidades de Montpellier, París y Toulon, y 8.500 autos de distinta aplicación en Italia. En China, alrededor de 500 vehículos en Shanghai, sin contar los que existen en Estados Unidos en los estados de California, Texas y Ohio. Sin embargo, a pesar de sus obvias ventajas ambientales, las emulsiones han encontrado barreras para su masificación, en particular en lo que tiene que ver con la ausencia de estándares y resultados para masificarlos en el mercado principalmente europeo.¹⁰³

3.5.10 COSTOS DEL DMA

Si se comercializa el DMA; en cuanto a los costos, éstos pueden ser un 5% superior al costo del diesel convencional. La mayor parte del aumento en los costos, está dado por el surfactante.¹⁰⁴

3.5.11 VENTAJAS DEL DIESEL MICROEMULSIONADO CON AGUA

Las ventajas de utilizar combustible diesel microemulsionado con agua son las siguientes:

- Dentro del cilindro del motor, la superficie de contacto entre el combustible y el aire se incrementa, obteniendo una combustión completa y reducción simultánea de gases contaminantes como NOx y PM.
- Tiene las características de un combustible para motor de encendido por compresión, el nivel de contaminación por PM y NOx es menor que cuando se utiliza el diesel normal.
- No afecta la concentración de contaminantes no regulados, tales como aldehídos y cetonas.
- El paso de diesel normal a microemulsión de diesel con agua no requiere modificaciones al motor o al sistema de inyección de combustible, independientemente del año de fabricación del motor y la tecnología.

¹⁰³ UNIVERSIDAD CENTRAL DE COLOMBIA; Boletín de vigilancia científica; PDF pág. 27.
www.uccentral.edu.co/CIFI/boletin/VIGILANCIA-CIENTIFICA%202.pdf

¹⁰⁴ CRECES; CIENCIA Y TECNOLOGIA DE CHILE; Nueva tecnología para disminuir contaminación del diesel.
www.creces.cl/new/index.asp?tc=1&nc=5&tit=&art=537&pr

- El diesel normal es usado como base para la producción de la microemulsión, y por tanto no se requieren alteraciones del proceso de refinación, transporte y almacenamiento normalmente utilizado.
- Se puede fabricar con agua normal, en vez de agua destilada, lo cual reduce costos de manufactura siempre y cuando se utilice los surfactantes apropiados.
- La presencia de agua incrementa el punto de rocío de la emulsión en aproximadamente 40°C, lo cual a su vez incrementa la seguridad a los almacenadores, los operadores y los transportadores.
- Aumenta la eficiencia de la combustión y la eficiencia térmica del ciclo diesel, lo cual puede ayudar a reducir el consumo de combustible y las emisiones de CO₂.

3.5.12 DESVENTAJAS DEL DIESEL MICROEMULSIONADO CON AGUA

Las desventajas de utilizar combustible diesel microemulsionado con agua son las siguientes:

- Por la información de varios fabricantes del combustible microemulsionado, éste es más caro que el combustible diesel normal.
- La presencia de agua en el combustible disminuye el valor del torque y de la potencia del motor hasta en un 20%, este valor depende del porcentaje de agua utilizado para obtener la microemulsión.¹⁰⁵
- Tiempo de utilización y de almacenamiento es limitado, depende básicamente de la composición del surfactante, los tiempos oscilan entre 4 a 6 meses.

Para prevenir la desestabilización de la microemulsión, es posible que sea necesario incorporar una bomba de recirculación en el tanque de almacenamiento.

¹⁰⁵ LIF ANNA; Water in diesel emulsions and related systems; Chalmers University of Technology; 2006; PDF pág. 235.

CAPÍTULO IV

PROTOCOLO DE PRUEBAS

4.1 MEDICIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES DE UN VEHÍCULO

En varios países se han desarrollado diversas pruebas y equipos tecnológicos que son utilizados para medir y determinar los niveles de contaminación, que producen las emisiones contaminantes de los vehículos con motores de combustión interna que utilizan para su funcionamiento combustible como gasolina y diesel.

Las pruebas que se realizan permiten cuantificar el desempeño de los vehículos en términos mecánicos, energéticos y ambientales, se realizan ya sea en laboratorio o en campo (en ruta o carretera) dependiendo de los requerimientos de la misma. Al realizar pruebas de ruta se cuantifica el desempeño del vehículo asociado con las condiciones propias de la zona de operación. Las pruebas en laboratorio no incluyen las condiciones reales de operación sino una simulación de éstas, permiten cuantificar variables que no pueden ser directamente medidas a lo largo de una prueba de carretera.

Por desempeño mecánico se entiende todo lo referente a las partes que afectan el movimiento del vehículo evaluado. Las partes involucradas más importantes, pero no las únicas, son: el motor, el sistema de combustible y la transmisión.

El desempeño ambiental involucra todo lo relacionado con las emisiones contaminantes de un vehículo. Los motores de combustión interna se ven afectados por las condiciones ambientales, especialmente por la ubicación (altitud) de la zona de circulación del vehículo con respecto al nivel del mar, por lo tanto es importante medir las concentraciones de contaminantes en los productos de la combustión. El desempeño ambiental del vehículo permite evaluar la emisión de gases del vehículo bajo diferentes condiciones de operación.

El consumo de combustible es afectado principalmente por las condiciones atmosféricas, las paradas, las aceleraciones y la velocidad promedio del vehículo. Como parámetro de evaluación del desempeño energético de los vehículos se utiliza el consumo de combustible, el cual permite establecer la eficiencia en términos de costos de operación del vehículo evaluado.

4.1.1 PRUEBAS EN LABORATORIO Y CICLOS DE PRUEBAS

En el laboratorio, a los motores de los vehículos se someten a varias condiciones transitorias, es decir que se puede encontrar en regímenes de ralentí, crucero, aceleración y desaceleración durante cortos periodos de tiempo, razones por las cuales las mediciones de emisiones de escape son muy complicadas de realizar, especialmente debido que para la ejecución de las pruebas es necesario contar con un laboratorio equipado de alta tecnología, personal especializado y alto presupuesto económico si se necesita repotenciar o comprar nuevos equipos de medición de emisiones de gases contaminantes que permitan la utilización de varios ciclos de pruebas.

4.1.1.1 Ciclo de prueba

El ciclo de prueba es la simulación de un recorrido que se le hace a los vehículos o a los motores para conocer su eficiencia en el consumo de combustible y las emisiones de diferentes gases contaminantes. Existen varios ciclos de pruebas que se reconocen a nivel internacional, por ejemplo el de Estados Unidos conocido como FTP-75 (Federal Test Procedure 75), la Comunidad Europea conocido como ECE 15 – EUDC-NEDC (New European Driving Cycle), el protocolo europeo de ciclo estacionario o fijo (ESC-European Stationary Cycle), el de Japón llamado J 10-15M y JE05-08. Dependiendo del tipo de vehículo ya sea liviano (ligero) o pesado, e independientemente del tipo de combustible que utilicen para su funcionamiento, se selecciona el ciclo de prueba adecuado para la medición de las emisiones contaminantes.

4.1.1.2 Ciclos de prueba IM 240

El protocolo IM 240 es un análisis corto desarrollado para vehículos usados, especialmente por el propósito de tener una prueba rápida cuyos resultados sean correlativos a los del Protocolo FTP 75 y FTP HDT. Se ha implementado en algunos estados de la Estados Unidos de Americana.

El ciclo dura 240 segundos, recorre 1.96 millas (3.1 Km) y su velocidad media es de 29.4 mph (47.3 Km/h) con una velocidad máxima de 56.7 mph (91.2 Km/h).

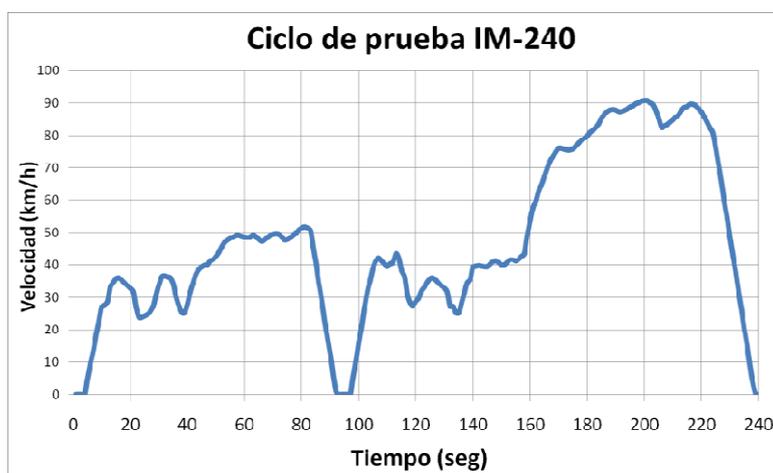


Figura 4-1: Ciclo de prueba IM 240.¹⁰⁶

La Secretaría de Ambiente del DMQ ejecuta algunas pruebas de investigación para el control de emisiones vehiculares utilizando el ciclo de conducción IM 240 a través de un dinamómetro de rodillos y medidor de gases para pruebas dinámicas.

4.1.1.3 Conducción del ciclo de prueba

Existen dos maneras de conducir un ciclo de prueba, estos son el transitorio y el modal.

El transitorio implica los ciclos de muchos cambios, representando los cambios de velocidad constante típicos de conducir en el camino (ruta), por ejemplo el ciclo de prueba FTP 75 y FTP HDT.

¹⁰⁶ Euro System MAHA LPS 3000.

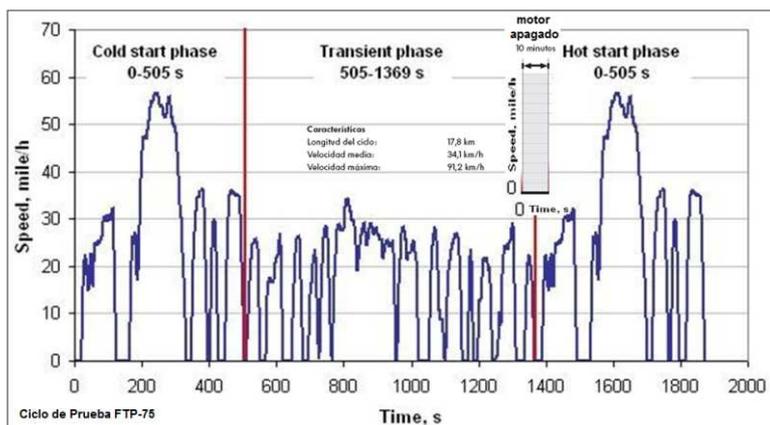


Figura 4-2: Ciclo de prueba FTP -75.

El modal implica ciclos con períodos prolongados de velocidades constantes, por ejemplo los ciclos de pruebas europeo NEDC y los japoneses J10-15M.

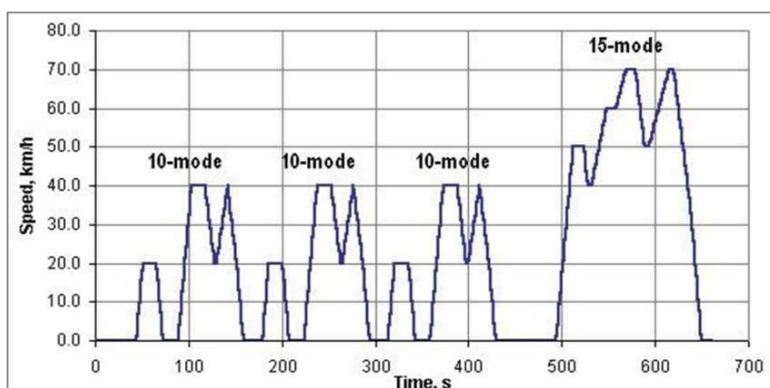


Figura 4-3: Ciclo de prueba japonés de 10 y 15 modos J 10-15M.

En el caso de Quito, su complicada topografía exige a los vehículos condiciones difíciles de representar por los ciclos existentes en la actualidad, por lo que es recomendable elaborar un ciclo de prueba específico, sobre todo debido a que en las ciudades de altura el comportamiento de los motores es impredecible.

4.1.1.4 Formas de muestreo y análisis de gases de escape

Las formas de muestreo y análisis de gases de escape son similares para todos los ciclos descritos anteriormente. El laboratorio de medición y análisis de emisiones puede disponer dinamómetros de chasis de rodillos para vehículos livianos y pesados, bancos de motor, túnel de dilución, analizadores de gases, opacímetros, medidor de PM, medidores de flujo de combustible, sensores de temperatura y presión, etc. Mientras se desarrolla la prueba se recolecta una

cantidad determinada de los gases de escape en un tipo especial de envases. Al finalizar la prueba se determina la concentración de CO, HC, NO_x y CO₂, opacidad y concentración de material particulado PM.

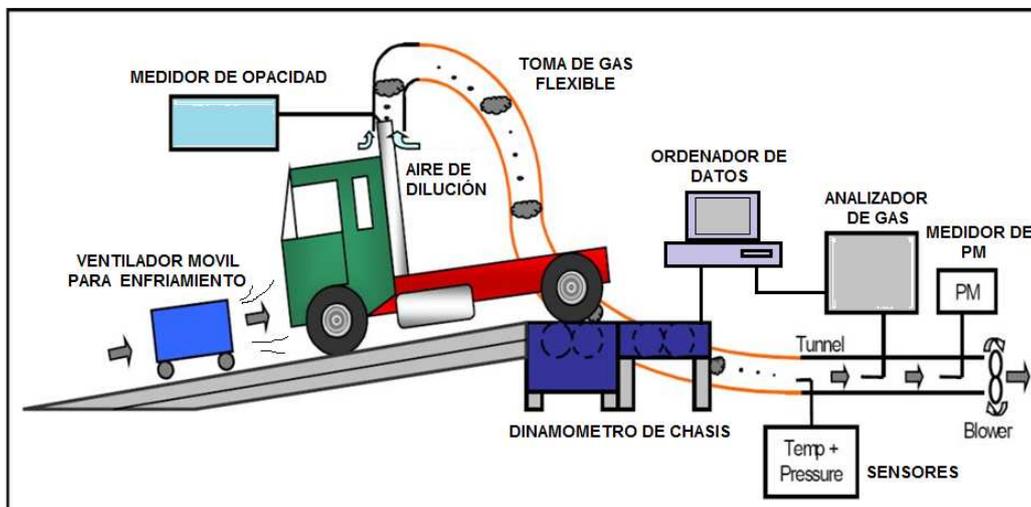


Figura 4-4: Esquema de un sistema general de medición de emisiones en laboratorio.¹⁰⁷

4.1.1.5 Medición de emisiones en laboratorio con dinamómetro de chasis

Las pruebas realizadas en laboratorios están normalizadas, están definidos los patrones tanto de medición como de procedimiento los cuales son: medición de emisiones base recorrido (g/km) y un sistema de muestreo a volumen constante (CVS). Esto se realiza para establecer y certificar las emisiones de los vehículos y para la elaboración de inventarios de emisiones.

La implantación de instalaciones y equipos para este tipo de pruebas requiere una elevada inversión inicial así como también elevados costos de operación y mantenimiento, además grandes tiempos de planeación y construcción.

Las pruebas en dinamómetro de chasis tienen limitada capacidad para simular condiciones de carga y masa inercial que son las que se obtienen durante el funcionamiento de un vehículo ya sea en pendientes o en bajadas y la variación de las mismas influye notablemente en la generación de emisiones, por lo tanto el estudio bajo las condiciones mencionadas es determinante para obtener

¹⁰⁷ In service emissions testing – pilot study, fault identification and effect of maintenance, Australia; Abril 2001.

resultados confiables.¹⁰⁸ En la ciudad de Quito la topografía es sumamente irregular, lo que significa un incremento en la producción de emisiones locales.



Figura 4-5: Laboratorio de emisiones con un vehículo ubicado sobre el dinamómetro de chasis.¹⁰⁹

4.1.2 PRUEBAS EN CAMPO

Las concentraciones de las emisiones de gases contaminantes que emite un motor, operando en tiempo real cuando el vehículo se encuentra en movimiento, son cuantitativamente diferentes a las concentraciones de gases medidas cuando el vehículo se encuentra estacionado con el motor encendido. Las dos pruebas en campo que se utilizan para medir las emisiones de fuentes móviles son las siguientes:

- Pruebas de medición de emisiones en ruta con equipo de análisis a bordo.
- Pruebas de medición de emisiones con equipo detector remoto.

4.1.2.1 Pruebas de medición de emisiones en ruta con equipo de análisis a bordo

Las pruebas para medir las emisiones en tiempo real se las conoce como pruebas en ruta. Se ha desarrollado procedimientos de medición en ruta que consiste en instalar equipos sofisticados de medición a bordo en los vehículos, estos equipos pueden ser analizadores de gases, medidores de consumo de combustible, velocidad de giro del motor y sensores ópticos para medir la velocidad del vehículo, distancia recorrida, temperatura de líquido refrigerante, temperatura de gases de escape, sistema global de posicionamiento GPS, etc.; así como un procesador de datos en un ordenador portátil para el análisis y reporte de las

¹⁰⁸ DÍAZ LUIS; Determinación de inventarios de emisión para la Zona Metropolitana del Valle de México; 2002.

¹⁰⁹ Elaborado por: Ing. Alex Guzmán..

emisiones en tiempo real. Los equipos empleados en este tipo de pruebas a bordo utilizan sensores de zirconio o celdas electroquímicas para medir NO_x y O₂, y para medir las concentraciones de CO, y CO₂ utilizan analizadores NDIR (Non Dispersive Infrared).

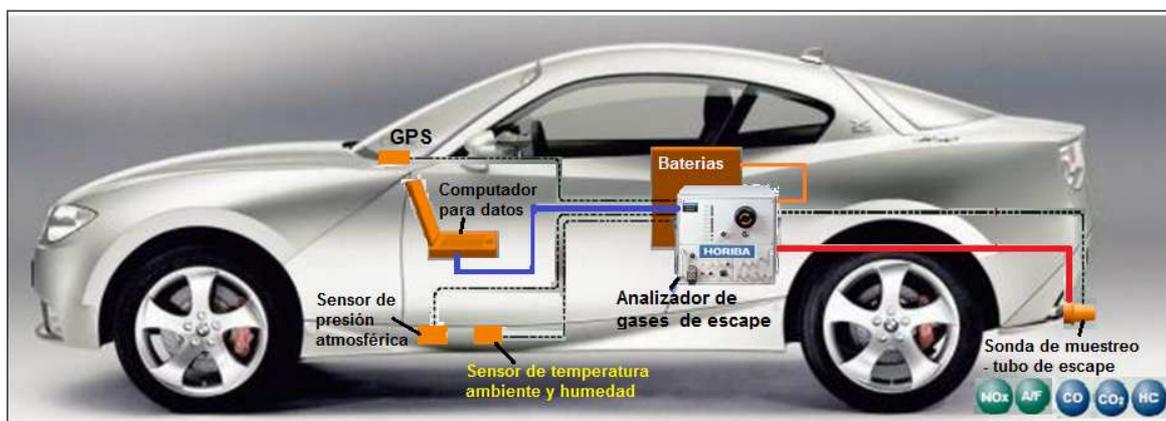


Figura 4-6: Esquema de instalación de un equipo de medición de emisiones a bordo HORIBA OBS 2000.¹¹⁰

La metodología en la cual se estudian las emisiones vehiculares en una ruta o camino determinado involucra tecnología diversa, la cual varía según la aplicación y la veracidad de los datos que se desea tener.

En esta metodología el objetivo es medir la concentración de emisiones y el flujo de escape en condiciones reales de operación del vehículo, de la forma más precisa posible con el fin de obtener los valores en masa de cada uno de los contaminantes, relacionados directamente con el tiempo o el kilometraje que se ha recorrido.

La mayor parte de equipos que existen en el mercado se relacionan con la prueba FTP la misma que es evaluada y aprobada por la USEPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América).

Los costos de aplicación de una prueba a bordo son sumamente inferiores que la implantación de un laboratorio de emisiones, lo cual es una ventaja en especial en estudios regionales de muy corto alcance. Además, los sistemas de medición a bordo ayudan a reducir los tiempos de los estudios, ya que se pueden realizar un mayor número de pruebas al día.

¹¹⁰ Elaborado por: Ing. Alex Guzmán..

Las desventajas que se presentan en la ejecución de este tipo de pruebas es que la vibración producto del funcionamiento del vehículo así como de la irregularidad del camino produce un grado de distorsión en los valores registrados en el equipo. A esto se suma la reproducibilidad entre pruebas cuando se requiere duplicar eventos. Así mismo se debe considerar el tiempo en la instalación, el espacio que ocupa el equipo en el automóvil, el peso del equipo que sumado al del automotor se considera una variable importante y la dificultad de reclutamiento de vehículos para realizar las pruebas, esta última desventaja se convierte en una variable común entre el método en ruta con equipo de medición a bordo, y el método de pruebas en laboratorio con dinamómetro de chasis.

El tiempo de recolección de muestras está limitado a la capacidad del equipo en cuanto al almacenamiento de datos, los equipos existentes en la actualidad trabajan de manera continua por un periodo de una a dos horas.

Para el caso de la ciudad de Quito, este método puede resultar uno de los más apropiados debido a su versatilidad de adaptarse a las condiciones reales de recorrido, ajustándose adecuadamente a las continuas pendientes y bajadas existentes en el Distrito Metropolitano. Además, el hecho de que el equipo se pueda desplazar conjuntamente con el vehículo que forma parte de la masa vehicular permite que se evalúen patrones de manejo que son únicos para cada parque automotor.



Figura 4-7: Equipo de medición a bordo de emisiones vehiculares.¹¹¹

¹¹¹ Elaborado por: Ing. Alex Guzmán..

4.1.2.2 Pruebas de medición de emisiones con equipo detector remoto

Otro método utilizado para la medición real de las emisiones vehiculares es aquel que consiste en un dispositivo para medir a distancia las emisiones, es conocido como detector remoto de emisiones el cual se basa en los principios de espectroscopia infrarroja (sistema emisor-receptor infrarrojo y láser), con el cual se puede medir concentraciones de CO, CO₂ y HC presentes en la nube dejada por el automotor.

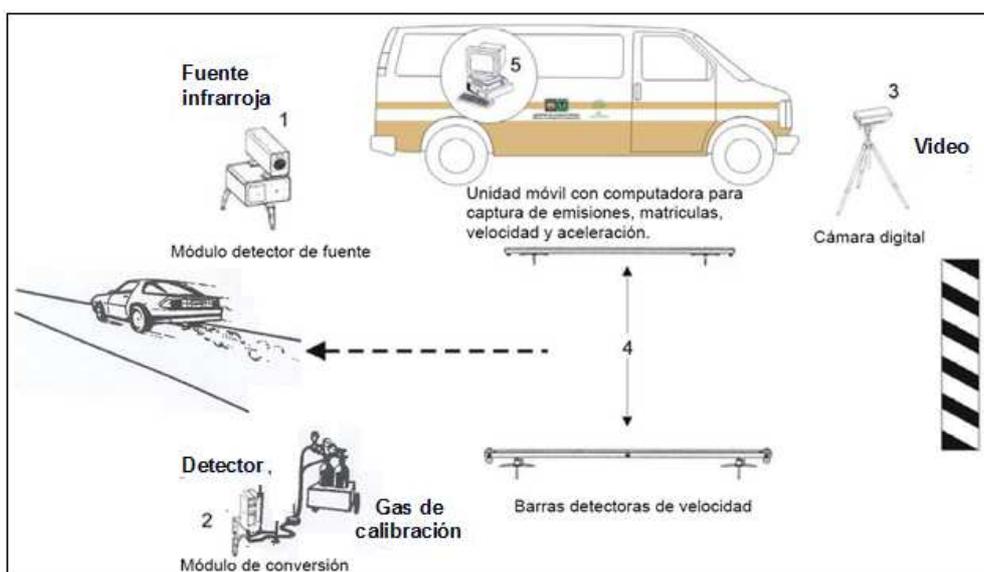


Figura 4-8: Esquema de un sistema general de un detector remoto de medición de emisiones.¹¹²

La limitación del método es que permite medir las emisiones en vehículos que tienen el tubo de escape en su parte inferior trasera, lo cual elimina a los vehículos pesados que tienen el tubo en la parte superior. A pesar de esta limitación, el uso de dicha técnica junto con el registro de la placa del vehículo por medio de una cámara de vídeo, permite conocer las emisiones vehiculares junto con la marca y año modelo del vehículo.

La ventaja de un detector remoto es que puede medir emisiones de miles de vehículos al día por un costo mucho más bajo de lo que implicaría la realización de pruebas a bordo o en laboratorio a un número similar de vehículos. La medición no es planificada, es decir, los conductores de los automóviles no son anticipados a que sus vehículos van a ser medidos lo cual elimina cualquier

¹¹² CENTRO MARIO MOLINA; Campaña de medición de emisiones vehiculares ciudad Juárez, Chihuahua; Diciembre 2006.

predisposición por parte del conductor y permite analizar el comportamiento de los vehículos en uso regular.

Este método no presenta los datos en masa de las concentraciones de las emisiones vehiculares, sino que procesa datos de las relaciones molares de los contaminantes observados en la nube de gases provenientes del escape de los vehículos. Para obtener la masa de los distintos contaminantes respecto al consumo de combustible se utiliza varios modelos matemáticos.¹¹³

En este método es necesario indicar que el instrumento de medición mide las emisiones producidas por un vehículo en una fracción de tiempo y bajo una determinada condición ya sea ambiental o mecánica, por lo cual el balance global de emisiones del vehículo puede variar significativamente del valor que se ha registrado en el punto de estudio.

En el momento de ejecución de la prueba se desconoce las condiciones de carga del vehículo. Como solución utiliza medidores remotos en lugares estratégicos, tal es el caso de pendientes de ascenso con carga moderada, donde a más de medir la velocidad se registra el grado de elevación. Existe relación entre los datos medidos con este método y los obtenidos en el laboratorio mediante el ciclo FTP debido a que se realizan con aceleraciones en caliente, es decir, con el vehículo en funcionamiento normal.

Para evaluar la evolución de las emisiones en un parque automotor con el objetivo de dirigir las leyes orientadas a las fuentes móviles, ésta prueba se debe realizar en periodos largos de tiempo. Así como el método de medición a bordo, esta técnica no se restringe a un solo lugar sino que puede efectuarse en diferentes regiones, ampliando el alcance del estudio lo que no sucede en el caso de pruebas de laboratorio.¹¹⁴

¹¹³ DÍAZ LUIS; Determinación de inventarios de emisión para la Zona Metropolitana del Valle de México; 2002.

¹¹⁴ CENTRO MARIO MOLINA; Campaña de medición de emisiones vehiculares; Juárez Chihuahua; México; 2006.



Figura 4-9: Medición de emisiones con equipo detector remoto en la ciudad de Juárez México.¹¹⁵

4.1.3 MEDICIÓN DE EMISIONES VEHICULARES EN CONDICIONES CONTROLADAS Y REALES

4.1.3.1 Condiciones controladas

La medición de emisiones vehiculares en condiciones controladas se las realiza en las pruebas de laboratorio en donde se hace un seguimiento estricto de las variables del funcionamiento del motor y de sistemas de control de reducción emisiones.

4.1.3.2 Condiciones reales

Las emisiones en condiciones reales son medidas en las calles o avenidas de la ciudad, las diferentes variables como la temperatura del motor, temperatura ambiente, humedad, ambiente, patrones de manejo, el uso de accesorios eléctricos, aire acondicionado, propiedades del combustible, grados de ascenso y descenso por pendientes, condiciones y tipo del camino etc., no son controladas fácilmente debido a que varían en el tiempo.

4.2 MÉTODOS PARA RECOPIRAR Y EVALUAR LA INFORMACIÓN DE EMISIONES VEHICULARES

Los métodos se definen en función de las características del parque vehicular que permitan la disponibilidad y el análisis de la información. Considerando lo anterior

¹¹⁵ CENTRO MARIO MOLINA; Campaña de medición de emisiones vehiculares ciudad Juárez, Chihuahua; Diciembre 2006

no existe una metodología estándar a seguir sino más bien, se estudia el método de mayor conveniencia y se aplican las adaptaciones del caso. Sea cual fuese el caso la incertidumbre y aceptabilidad del método dependerá del tamaño de la muestra y el procedimiento de medición utilizado. Conforme se disponga de información acerca de la composición del parque vehicular (año-modelo, actividad, tecnología, tamaño del parque), condiciones geográficas como altura, topografía, humedad relativa y factores de actividad (tiempo y distancia de recorrido promedio, velocidades alcanzadas, frecuencia de modos de operación, periodos de reposo), se puede establecer la inversión de tiempo y recursos para la generación de la información relacionadas a la concentración de las emisiones.

Los métodos para recopilar información de la concentración de los diferentes tipos de contaminantes de las fuentes móviles son: el monitoreo directo de las emisiones de contaminantes, la simulación automatizada de las fuentes y la técnica de evaluación rápida de contaminantes de las fuentes móviles.¹¹⁶

4.2.1 MÉTODOS DE MONITOREO DIRECTO DE CONTAMINANTES

El monitoreo directo es necesario principalmente cuando se requiere controlar los contaminantes de grandes fuentes móviles o para la verificación de la correcta operación de los programas de control ambiental bajo las normas aplicables para emisiones liberadas al aire.

La principal ventaja del método de monitoreo directo de fuentes de emisión es la precisión de los resultados que se obtienen. Su aplicación requiere de tiempo y recursos moderados e incluso puede ser práctico para áreas de estudio más complejas, dependiendo del tipo de equipo utilizado.

Este método permite realizar el monitoreo de los gases liberados por el tubo de escape de los vehículos, esto no es una tarea fácil ya que la tasa depende de parámetros como la velocidad del vehículo, la carga del motor y el estado de precalentamiento, un ejemplo de método directo es la medición de emisiones en ruta, en dinamómetro de chasis y con equipo detector remoto.

¹¹⁶ MUÑOZ EDGAR; Desarrollo de un método para determinar factores de emisión en vehículos livianos a gasolina de Quito. Tesis Facultad de Ingeniería Mecánica; Escuela Politécnica Nacional; Quito; 2005

Parte de las emisiones, las que se evaporan, no se liberan a través del tubo de escape y la mayor parte ni siquiera es liberada mientras el vehículo está en marcha. En este caso, es difícil realizar una medición constante de las mismas, aunque se trate de un solo vehículo y obviamente, es aún menos práctico si se tratara de una flota de vehículos. Esto es una desventaja para este método de medición directa.¹¹⁷

4.2.2 MÉTODOS DE MODELOS DE SIMULACIÓN DE FUENTES DE CONTAMINACIÓN

Mediante el uso de modelos matemáticos, que simulan el comportamiento de ciertas fuentes de emisiones, como las fuentes de combustión externas e internas, motores de automóviles, hornos de cemento, hornos de cal, etc., junto con la eficiencia de los correspondientes sistemas de control, constituye uno de los métodos más avanzados para realizar evaluaciones confiables, no sólo de las emisiones actuales, sino también del impacto de las posibles modificaciones en el diseño y operación de las fuentes.¹¹⁸

La principal desventaja de los modelos es su dificultad para desarrollarlos debido a la gran variedad de fuentes existentes y a la demanda de datos de la operación y del diseño del sistema de control.

Los métodos de modelos de simulación se utilizan como herramientas para aumentar la precisión en la recolección de datos de las emisiones al aire y para generar los resultados requeridos para la aplicación de los programas de calidad del aire.

Los modelos de simulación de fuentes de contaminación son los siguientes:

4.2.2.1 Modelo MOBILE

El modelo de Factores de Emisión de Fuentes Móviles (MOBILE) fue desarrollado por la USEPA y la Junta de Recursos del Aire de California (CARB). Este modelo

¹¹⁷ DIAZ LUIS; Determinación de inventarios de emisión para la Zona Metropolitana del Valle de México; 2002.

¹¹⁸ MUÑOZ EDGAR; Desarrollo de un método para determinar factores de emisión en vehículos livianos a gasolina de Quito. Tesis Facultad de Ingeniería Mecánica; Escuela Politécnica Nacional; Quito; 2005.

consideran variables generales que dependen del lugar de estudio, tales como altura, condiciones meteorológicas, topografía, etc.

El MOBILE fue desarrollado como modelo de cómputo para la determinación de emisiones de automóviles que transitan en calles y autopista.

Mediante la aplicación del MOBILE se puede determinar las concentraciones de los gases principales de las emisiones vehiculares como son el Monóxido de Carbono (CO), Óxidos de Nitrógeno (NO_x), y Material Particulado (PM). El modelo está construido a partir de información de las emisiones propias de la flota vehicular.¹¹⁹

4.2.2.2 Modelo EMOD

Este modelo fue desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental Suiza y Alemana. Permite determinar la estimación de la distribución espacial de la concentración de algunos contaminantes, en especial del NO₂ en base a información de emisiones contaminantes generadas. Además, permite evaluar modificaciones realizadas al parque automotor tales como cambios en la conformación de la flota vehicular, renovación de la flota vehicular, cambio de combustible y aditivos utilizados, entre otros, pudiendo ser cada uno de ellos analizados por separado.¹²⁰

4.2.2.3 Modelo basado en la potencia generada

Este modelo es sumamente empleado en la estimación de factores de emisión producido por fuentes estacionarias y no móviles sin descartarla como una opción en caso de ser necesario. En este caso los datos de los motores y sus niveles de actividad se registran provenientes de los inventarios de equipos (datos de placa), si los datos de inventarios no están disponibles se debe considerar comunicarse con los fabricantes de equipos.¹²¹

¹¹⁹ DIAZ LUIS; Determinación de inventarios de emisión para la Zona Metropolitana del Valle de México; 2002.

¹²⁰ ALVARDO SONIA; Modelación de las emisiones del parque automotor en la ciudad de Cochabamba; Bolivia; 2005.

¹²¹ URVINA VICTOR; Determinación de los factores reales de emisión de los motores ciclo Otto en la ciudad de Quito. Tesis Facultad de Ingeniería Mecánica; Escuela Politécnica Nacional; Quito; 2008.

4.2.2.4 Modelo basado en el consumo de combustible

Este modelo como el anterior no presenta datos reales de emisiones para fuentes móviles, debido a que no considera que el motor del automóvil esté expuesto a múltiples cambios de actividad causado por las continuas aceleradas y frenadas.

4.2.2.5 Modelo base - recorrido

El método de estimación de factores base-recorrido se ve limitado por la incapacidad de recolectar datos en horas de elevada congestión en el tráfico lo cual significa múltiples aceleradas y frenadas. En consecuencia gran cantidad de contaminantes no son contabilizados cuando se usan ciclos de manejo estandarizados. Una alternativa para eliminar estos inconvenientes es la de analizar los factores de emisión basado en el consumo de combustible (g/l) considerando que las emisiones de contaminantes son proporcionales, dentro de un rango determinado de operación al consumo de combustible.¹²²

4.2.3 MÉTODOS DE EVALUACIÓN RÁPIDA DE CONTAMINANTES

Este método se basa en investigaciones previas realizadas sobre la naturaleza y la cantidad de contaminantes generadas por cada tipo de fuente móvil que luego son tabuladas en tablas. Entonces el análisis de las concentraciones de emisiones suelen ser comparadas con las tablas normalizadas. Se debe determinar la actividad y otros datos propios o específicos de la fuente móvil en análisis, ya sea con y sin sistemas de control para que finalmente se obtenga los resultados finales del análisis. El muestreo, análisis y resultados suele ser puntual y se realiza en periodos cortos de tiempo que no requieren de una inversión de recursos económicos considerable, por ejemplo: en la medición de opacidad de un motor diesel, el valor promedio de opacidad se calcula de las tres mediciones que solicita el equipo, en cada medición se utiliza 6 segundos lo que da un tiempo total de la prueba de 18 segundos.¹²³

¹²² ALVARDO SONIA; Modelación de las emisiones del parque automotor en la ciudad de Cochabamba; Bolivia; 2005.

¹²³ DIAZ LUIS; Determinación de inventarios de emisión para la Zona Metropolitana del Valle de México; 2002.

4.3 SELECCIÓN Y VALORIZACIÓN DE LA METODOLOGÍA ADECUADA PARA LA EJECUCIÓN DE PRUEBAS

Para proceder a seleccionar la alternativa del método adecuado que cumpla con las necesidades técnicas que permita superar los inconvenientes geográficos, climatológicos, topográficos y otras características del Distrito Metropolitano de Quito durante la ejecución de las pruebas, se considera la valoración del método con un factor de incidencia según la importancia. La calificación del método es sobre 10 puntos multiplicados por el factor de incidencia.

Tabla 4-1: Parámetros y factores de incidencia para la calificación de los métodos.

Parámetro de evaluación	Factor de incidencia (f/1)
Precisión de resultados	0,3
Confiabilidad	0,3
Adaptabilidad	0,1
Tiempo de ejecución	0,1
Facilidad de aplicación	0,2
Total	1,0

4.3.1 PARÁMETROS PARA LA VALORIZACIÓN DE ALTERNATIVAS

4.3.1.1 Precisión de los resultados

Es un factor determinante al momento de seleccionar un método, debe permitir que dos o más mediciones realizadas en las mismas condiciones concuerden hacia una misma cantidad o valor. Para dar una valoración a la alternativa en el parámetro precisión se debe considerar también la exactitud de los instrumentos de medición, es decir debe permitir indicar cuán cerca está una medición del valor real de la cantidad medida.

4.3.1.2 Confiabilidad

El método debe permitir realizar exactamente el mismo experimento en varias ocasiones para generar los mismos resultados, debe estar libre de generar

errores de medición. De esta forma se reforzará los resultados y garantizará que se acepte una o varias hipótesis. La confiabilidad es un ingrediente necesario para la determinación de la validez total de un experimento científico.

4.3.1.2.1 Repetibilidad y reproducibilidad

La confiabilidad del método se verifica procesando y analizando los valores obtenidos, éstos deben estar dentro de un rango de confianza aplicando gráficas de control para establecer la repetibilidad y reproducibilidad. La variación de las mediciones es inevitable, los gráficos de control permiten determinar cuando esta variación supera los límites aceptables (rangos de confianza) y analizar si el proceso de medición se está realizando correctamente.

La evaluación se realiza mediante dos tipos de pruebas:

Pruebas de repetibilidad

Consiste en tomar mediciones de las variables de prueba en un mismo día, con el mismo vehículo y en iguales condiciones.

Pruebas de reproducibilidad

Consiste en realizar mediciones de las variables de prueba en diferentes días, con el mismo vehículo y en iguales condiciones.

4.3.1.3 Adaptabilidad

El método debe ser flexible y permita ajustarse rápidamente a cambios rápidos que se pueden presentar durante la ejecución de las pruebas, por ejemplo: al tráfico vehicular, condiciones ambientales, cambios de ruta por motivos de fuerza mayor, etc.

4.3.1.4 Tiempo de ejecución

El método debe admitir el periodo de tiempo necesario y suficiente para la recopilación de información, este tiempo debe estar relacionado con el tiempo de

operación normal de los equipos de medición, por ejemplo se debe considerar la duración de baterías, capacidad de almacenamiento de datos, etc.

4.3.1.5 Facilidad de aplicación

El método no debe requerir tener la suficiente experiencia en aplicar ciclos de pruebas o en determinar factores y concentraciones de emisiones vehiculares, debe permitir su inmediata aplicación experimental sin necesidad de estudios previos de factibilidad.

4.3.2 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA

A continuación se selecciona la alternativa correspondiente a la metodología que será aplicada en la ejecución de las pruebas relacionadas al estudio de emisiones contaminantes, originadas por el motor ciclo diesel utilizando combustible microemulsionado con agua.

Las alternativas a considerar en la valoración para la selección son las siguientes:

- Alternativa 1: Métodos de monitoreo directo de contaminantes.
- Alternativa 2: Métodos de modelos de simulación de fuentes de contaminación.
- Alternativa 3: Métodos de evaluación rápida de contaminantes.

Tabla 4-2: Calificación y selección de la alternativa del método de pruebas para medición de emisiones en fuentes móviles.

Parámetro de evaluación	Factor de incidencia (f/1)	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3	
		10	Cal	10	Cal	10	Cal
Precisión de resultados	0,3	8	2,4	9	2,8	8	2,4
Confiabilidad	0,3	9	2,7	9	2,7	7	2,1
Adaptabilidad	0,1	9	0,9	9	0,9	9	0,9
Tiempo de ejecución	0,1	8	0,8	5	0,5	9	0,9
Facilidad de aplicación	0,2	8	1,6	4	0,8	9	1,8
Evaluación			8,4		7,6		8,1
Selección		X					

Del análisis de las ventajas y desventajas de cada alternativa, se selecciona como alternativa principal a la No.1 – método de monitoreo directo de contaminantes de las fuentes móviles, debido a que ofrece mayores ventajas prácticas en el momento de aplicar el método.

La alternativa No.3 - métodos de evaluación rápida de contaminantes, se utilizará para medir la opacidad de las emisiones del motor diesel mediante el método de aceleración libre.

4.3.3 TÉCNICAS DE MEDICIÓN DEL MÉTODO DE MONITOREO DIRECTO DE CONTAMINANTES DE FUENTES MÓVILES

Existen básicamente tres técnicas de medición de emisiones para utilizar el método de monitoreo directo de contaminantes de fuentes móviles y son las siguientes:

- Técnica de medición de emisiones en laboratorio con dinamómetro de chasis.
- Técnica de medición de emisiones en ruta con equipo de análisis a bordo.
- Técnica de medición de emisiones con equipo detector remoto.

Las metodologías no cumplen con las variables requeridas por si solas por esta razón se complementan entre ellas. La conveniencia en la aplicabilidad de una u otra depende de la calidad de los datos que se necesite obtener, así como de otras variables como el presupuesto y el tiempo. Además de lo antes mencionado el estudio económico juega un papel importante en el momento de la inversión por lo cual, se debe considerar la necesidad real de requerimiento de investigación de la contaminación, el mercado potencial para prestar estos servicios y de esta forma obtener rentabilidad frente a la inversión inicial.

A continuación se indica las técnicas de medición de emisiones vehiculares, apropiadas para la ejecución de las pruebas en la ciudad de Quito.

4.3.3.1 Técnica de medición de emisiones en ruta con equipo de análisis a bordo.

La técnica de medición en ruta con equipo a bordo es el más apropiado para la ejecución de las pruebas de medición de emisiones de gases contaminantes de un motor de ciclo diesel, usando combustible microemulsionado con agua, debido

que se obtienen resultados reales en las mediciones, la ciudad de Quito presenta una topografía irregular ya que contiene dentro de su red vial numerosas pendientes de ascenso y descenso cuyo ángulo de inclinación es considerablemente alto, lo cual exige un mayor esfuerzo por parte del motor, produciendo una mayor emanación de gases de escape. Al utilizar un equipo de medición el cual se desplaza conjuntamente con el vehículo, se obtiene una percepción real de la actividad del motor en cada tramo de la ruta seleccionada así como de la forma de manejo que depende del conductor del automotor.

4.3.3.2 Técnica de medición de emisiones en laboratorio con dinamómetro de chasis

La técnica de medición de emisiones en laboratorio con dinamómetro de chasis (dinamómetro de rodillos), se empleará para determinar las curvas de potencia, torque y las emisiones de gases contaminantes utilizando el combustible diesel microemulsionado con agua. Esta prueba permite obtener la potencia y el par reales del motor directamente en las ruedas motrices del vehículo, ya que la potencia que el motor entrega al volante de inercia no es la misma que se obtiene en las ruedas del vehículo, debido a que un porcentaje se pierde por diferentes parámetros como: temperaturas elevadas, rozamiento, vencimiento a la inercia, fricción, etc. de los sistemas y partes mecánicas que transmiten el movimiento desde el motor hasta las ruedas. Para determinar los valores de emisiones en ésta técnica, se emplea un ciclo de prueba (trabajo), el mismo que es predeterminado por el software del equipo.

4.3.4 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO DE MEDICIÓN A BORDO Y DINAMÓMETRO DE RODILLOS A EMPLEARSE EN LAS PRUEBAS

A continuación se describen los equipos que se utilizarán en la ejecución de las pruebas en ruta y en laboratorio; para medir las emisiones de gases contaminantes, curvas de potencia y torque del motor ciclo diesel utilizando combustible diesel Premium y diesel Premium microemulsionado con agua. Los dos equipos que se describen pertenecen a la Secretaría de Ambiente del DMQ.

4.3.4.1 Equipo de medición a bordo Universal Montana System OEM 2100

El equipo para la recopilación de datos denominado Universal Montana System OEM 2100 manufacturado por Clean Air Technologies International Inc. (CATI), está constituido por un analizador de cinco gases y medidor de material particulado PM, un sistema de posicionamiento global GPS y una unidad de almacenamiento de datos.

Las concentraciones de HC, CO, CO₂, O₂ y NO_x, en los gases de escape son medidas mediante el sistema de analizador de cinco gases, del cual las concentraciones de HC, CO, CO₂ se miden a través de un infrarrojo no dispersivo (NDIR por sus siglas en inglés) y las concentraciones de NO_x se miden mediante las celdas electroquímicas. El PM es medido utilizando la dispersión de luz.

Los datos de los parámetros de mayor importancia que el equipo Montana System OEM 2100 puede almacenar son los siguientes:

- Revoluciones del motor (RPM)
- Presión del turbo compresor (kPa).
- Temperatura del aire de entrada (°C).
- Temperatura del refrigerante (°C).
- Velocidad del vehículo en carretera (km/h).
- Posicionamiento del vehículo (altitud con respecto al nivel del mar) (km).
- Distancia recorrida por el vehículo (km).
- Concentración de gases CO, CO₂, O₂ (%)
- Concentración de gases HC y NO_x (ppm).
- Concentración de partículas PM (%).
- Flujo másico de entrada de aire (g/s).
- Flujo másico de gases de escape (g/s).
- Consumo de combustible (kg/h).

4.3.4.1.1 Instalación del equipo Montana System OEM 2100

La Figura 4-10 muestra un diagrama esquemático de la instalación del equipo OEM 2100.

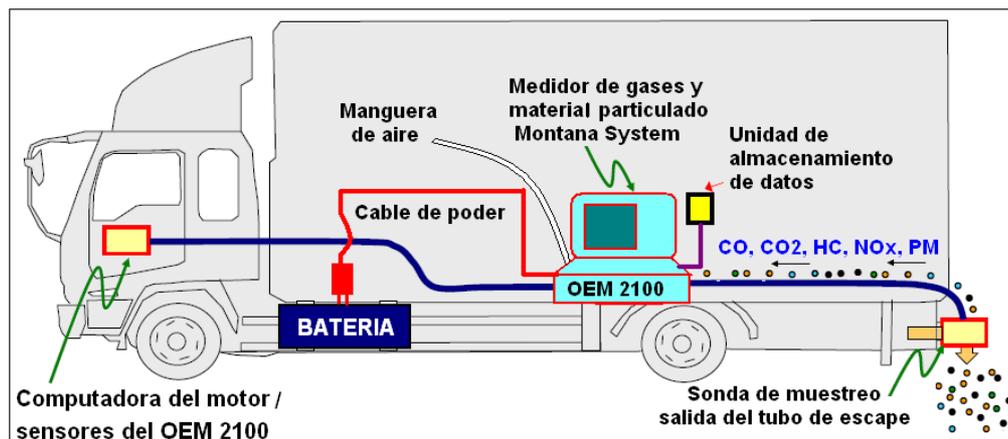


Figura 4-10: Esquema de instalación del equipo de medición a bordo Montana System OEM 2100.¹²⁴

El OEM 2100 puede ser colocado en cualquier sitio del vehículo, pero por facilidad de toma de datos, las conexiones así como de la ubicación de las personas a cargo de las pruebas se sugieren colocar el equipo en el asiento delantero del vehículo de pruebas.



Figura 4-11: Ejemplo de localización de la instalación del equipo Montana System OEM 2100.¹²⁵

4.3.4.1.2 Precalentamiento del equipo Montana System OEM 2100

Es muy importante que el sistema sea precalentado completamente antes de la operación. Existen dos razones muy importantes de la necesidad del precalentamiento del equipo; la primera se refiere a que el precalentamiento estabiliza los sensores electroquímicos permitiendo así lecturas más acertadas, la segunda razón se refiere al hecho de que los gases que forman parte de los

¹²⁴ Elaborado por: Ing. Alex Guzmán.

¹²⁵ Elaborado por: Ing. Alex Guzmán.

gases de escape de la muestra pueden condensarse completamente sobre el analizador óptico.

La variación del tiempo de precalentamiento depende de algunos factores, la mayoría relacionados con la temperatura. Si el sistema es almacenado en un lugar frío, se recomienda encender el equipo al menos 60 minutos antes de iniciar la toma de muestras en el vehículo de prueba, si este es almacenado en un área relativamente caliente, el período de precalentamiento se puede acortar, pero siempre el equipo debe estar encendido como mínimo 30 minutos antes de operar.

Cabe señalar que el equipo posee una batería interna la cual es suficiente para mantener el voltaje del equipo durante el encendido del vehículo de prueba, por lo tanto si es posible mantener el equipo encendido durante un arranque en frío del motor del vehículo de prueba. La consideración más importante a tener en cuenta durante los arranques en frío es que puede existir condensación en el tubo de escape y si esta llega al equipo lo que produciría es que este se humedezca, y el equipo puede necesitar de varias horas para secarse internamente ocasionando así pérdidas de tiempo.

4.3.4.1.3 Operación del equipo Montana System OEM 2100

Mientras el OEM 2100 está en operación, se debe tener una cuidadosa atención a los detalles para obtener datos de alta de calidad. La operación acertada del OEM 2100 requiere el entendimiento del sistema, ingreso correcto de los parámetros establecidos, durante la operación del equipo se debe comprobar periódicamente que los datos obtenidos se encuentran en rangos razonables, calibración periódica del equipo, observar fugas, fallos de la bomba, y con frecuencia asegurar que el hardware instalado no ha cambiado o ha sido dañado mientras se encuentra en operación.

Durante la operación OEM 2100, una pantalla, la pantalla de operación (Figura 4-12), se usa para el control del equipo y para mostrar en tiempo real la salida de datos. La información es organizada funcionalmente. Para finalizar la sesión de pruebas, presione <Esc>.

Las letras en la figura representan diferentes funciones. El área A es para el analizador de gases A; el área B es para el analizador de gases B; el área C es para el dispositivo de la interface del motor; el área D es para el “bag control”; el área E es para analizar material particulado; mientras el área F es para datos combinados. La parte superior media que dice “Engine control unit interface” es un terminal que muestra exactamente los datos del OBD.

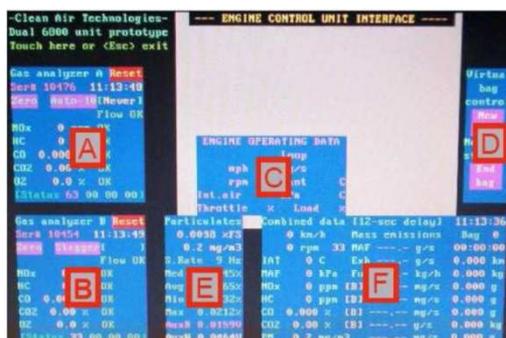


Figura 4-12: Pantalla de operación del OEM 2100.¹²⁶

Es importante mencionar la función “Bag Control”, que muestra en la letra D de la Figura 4-12. En muchos casos, es deseable delinear pruebas dentro de un conjunto de períodos de tiempo. El OEM 2100 permite que el operador del equipo etiquete el archivo de salida de datos para pruebas particulares, y cree resúmenes para cada prueba. CATI ha adoptado el término "bag" para estas pruebas. Es decir que la muestra de gases de combustión de cada segmento de prueba es guardada en un “bag”, y analizada luego para obtener la cantidad de emisiones por segmento de prueba. No hay ninguna muestra de gases de combustión almacenada en el sistema OEM 2100, pero el software integra la distancia, uso de combustible y emisiones sobre la duración de cada "bag", para al final de la prueba obtener los datos.

4.3.4.2 Banco dinamómetro de rodillos LPS 3000

Para realizar las pruebas de potencia, torque y medición de emisiones de gases contaminantes se utilizará un Banco dinamómetro de rodillos LPS 3000 marca MAHA de procedencia Alemana. Este banco pertenece a la Secretaría de Ambiente de la ciudad de Quito ubicado en el Centro de Revisión del sector de

¹²⁶ Elaborado por: Ing. Alex Guzmán.

Guamaní; posee una consola de comunicaciones, equipado con PC, pantalla LCD, teclado, ratón y un control remoto. El equipo LPS 3000 hace posible la medición de potencia en vehículos ligeros y pesados con motores Otto o Diesel.



Figura 4-13: Vehículos sobre el dinamómetro de rodillos LPS 3000.¹²⁷

El dinamómetro de potencia consta con una caja de interfaces que sirve para registrar el número de revoluciones del motor, datos del medio ambiente, datos OBD, temperaturas, presiones y señales analógicas. Este proceso de registro se realiza mediante módulos que emplea diferentes sensores.

Para realizar las mediciones del consumo de combustible y análisis de los gases de escape se emplea un ciclo de prueba predeterminado por el software del equipo. Es decir, permite efectuar una simulación exacta las condiciones de conducción de un vehículo en ruta.

Para llevar a cabo las diferentes actividades de medición pueden seleccionarse los siguientes modos de servicio:

Simulación de carga

El menú de simulación de carga permite al usuario preseleccionar diferentes condiciones de carga las cuales permiten realizar un diagnóstico concreto del motor o permiten determinar la potencia de un vehículo. Según la necesidad concreta pueden simularse diferentes condiciones de carga como por ejemplo una fuerza de tracción constante, una velocidad constante, un número de revoluciones por minuto constante, parada o una simulación de marcha.¹²⁸

¹²⁷ Elaborado por: Ing. Alex Guzmán.

¹²⁸ MAHA GMBH & CO. KG; Manual de instrucciones del Banco de Potencia LPS 3000; 3ra Edición; 2005; Pág. 6.1

Medir la potencia del motor

Mediante este punto del menú puede determinarse la potencia del motor de un vehículo (medición continua y discreta).

Medición de la elasticidad

Mediante este punto del menú puede comprobarse la elasticidad del motor. Después de seleccionar el ensayo de elasticidad se entrarán, igual que en el caso de la simulación de marcha, el peso (masa) del vehículo y las resistencias al avance.

Control del tacómetro

Mediante este punto del menú puede comprobarse el tacómetro del vehículo. A la vez puede comprobarse la velocidad.

Adaptación de carga (opcional)

A través de este punto del menú pueden calcularse diferentes coeficientes del banco de pruebas. La adaptación iterativa de los coeficientes puede efectuarse según la norma europea ECE o americana SAE J2264 (Chassis Dynamometer Simulation Of Road Load Using Coastdown Techniques).

4.3.4.2.1 Proceso de ejecución y dispositivos utilizados con el equipo LPS 3000

A más de la utilización de los modos de servicio indicados en el ítem anterior, se emplea también un ventilador que ayuda a mejorar la refrigeración del motor y de sus componentes para evitar elevadas temperaturas durante las pruebas.

El aire refrigerante es de especial importancia porque los sistemas modernos de regulación del motor disponen de dispositivos de regulación que reducen la potencia del motor si las temperaturas de aspiración son demasiado altas. Sin embargo, en el banco de pruebas debe medirse la potencia total del motor. Para ensayar vehículos a plena carga, deben alcanzarse como mínimo los siguientes valores.

- Caudal del aire > 25000 m³/h.
- Velocidad del aire > 90 km/h.
- Garantizar el soplado del aire por la parte inferior del la carrocería y catalizador.

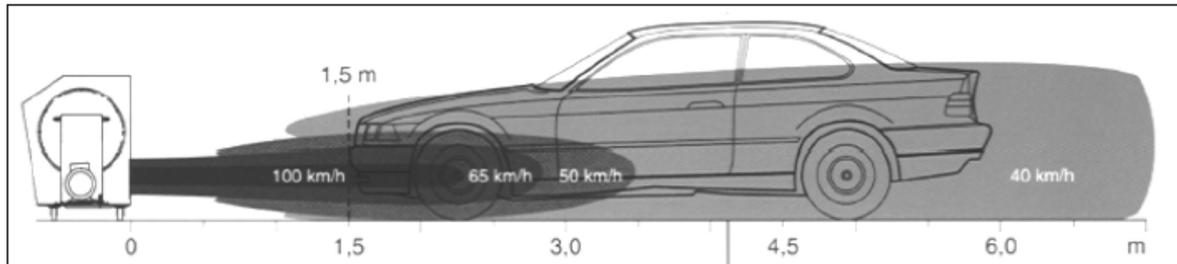


Figura 4-14: Disposición del sistema de ventilación del banco dinámico LPS 3000.¹²⁹

Deben tenerse en cuenta los siguientes criterios para el diseño del sistema de ventilación:

- Potencia de motor.
- Frecuencia de la medición.
- Aumento de temperatura de la sala permitido por el usuario.
- Dimensiones de la sala.

El equipo utiliza un módulo de revoluciones que sirve para registrar el número de revoluciones y de la temperatura del aceite, con las pinzas trigger se registra la señal del número de revoluciones del motor conectándolo en el cable de encendido (bujía de encendido o bobina de encendido del distribuidor). Se puede utilizar el sensor magnético (piezoeléctrico) para determinar las revoluciones por minuto (RPM) del motor. Las pinzas trigger y sensor magnético captan de forma inductiva la señal de alta tensión y vibración respectivamente y que se transmite a la caja de interfaces donde son convertidos en una señal de RPM.



Figura 4-15: Pinza trigger.

¹²⁹ MAHA GMBH & CO. KG; Manual del Banco de Potencia LPS 3000; 3ra Edición; 2003.

Para el trazado práctico de las curvas se coloca el vehículo en el banco dinamómetro, es importante ajustar el banco con el vehículo, esto se realiza a las 2000 rpm, en este momento se inicia el programa y así el banco es capaz de captar exactamente las revoluciones a las que está girando las ruedas del vehículo en cada velocidad. A partir de la captación de estos datos, se va dibujando la curva de potencia. Sobre ella se determina el régimen y la potencia óptimos trazando una tangente a la curva desde el punto de origen de coordenadas. Así se obtiene punto máximo de potencia efectiva, la cual debe corresponder al máximo torque de tracción del motor.



Figura 4-16: Pantalla de sincronización de las revoluciones del motor con el software LPS 3000.¹³⁰

El momento de realizar las pruebas para la obtención de la potencia y del torque del motor, la relación de transmisión con la que se debe trabajar es con la marcha de la transmisión que dé la relación 1:1, esto se debe a que la potencia y el torque que brinda el motor pasa directamente por la caja de velocidades y a su vez a las ruedas del vehículo sin tener que pasar por relaciones de multiplicación o desmultiplicación; es así que la potencia y el torque que se obtiene es la del motor.

Las revoluciones a las que se debe llegar con el motor en marcha con la relación de velocidad de 1:1 durante las pruebas, deben ser las máximas, de esta manera el banco dinamómetro se encarga de obtener la potencia, el torque y de realizar las curvas correspondientes de acuerdo al aumento progresivo de las rpm hasta obtener la potencia y el par máximo.

¹³⁰ Euro System MAHA LPS 3000.

4.3.5 TÉCNICAS DE MEDICIÓN DEL MÉTODO DE EVALUACIÓN RÁPIDA DE CONTAMINANTES DE FUENTES MÓVILES

4.3.5.1 Opacímetro

En base a lo indicado en el ítem 2.4.2 (porcentaje de opacidad en el DMQ) del capítulo 2, se define que el opacímetro es utilizado para medir el color del humo de las emisiones de los motores ciclo diesel en la escala de grises, a esta prueba se la conoce como medición de opacidad. El principio de funcionamiento se basa en la medición de la atenuación de la intensidad de radiación visible por absorción y dispersión de humo. La intensidad, I_o , de radiación visible, generada por una fuente de radiación, pasa a través de una columna de humo de longitud específica, donde parte de la radiación es absorbida o dispersada por el humo ocasionando una reducción de la intensidad, I , recibida por un elemento fotosensible conocido como detector. La radiación absorbida y la radiación dispersada dependen de que exista interacción entre las componentes monocromáticas de radiación con el material que atraviesa dicha radiación, por lo que la longitud de onda es una magnitud de influencia.

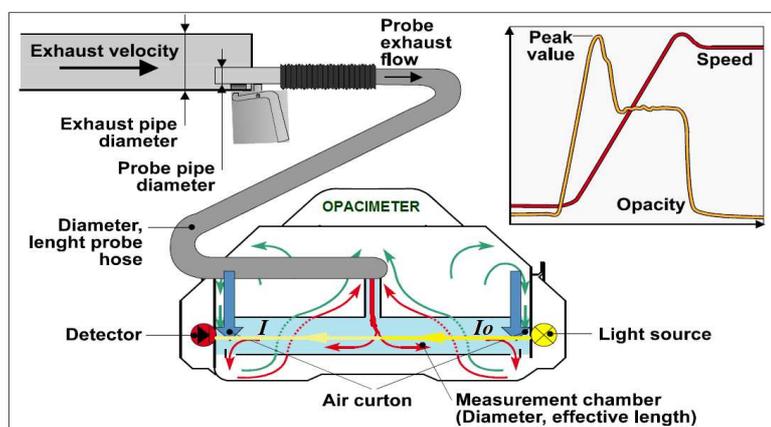


Figura 4-17: Principio de medición del opacímetro.¹³¹

La relación entre I y I_o define la transmitancia, τ , magnitud que pertenece al sistema internacional de unidades.

El término, longitud específica de humo, se refiere a la trayectoria recorrida por la radiación a través del material, conocida como longitud efectiva del camino óptico

¹³¹ KARSTEN KUNCKEL; Sistema automatiz SLR; Lima – Perú; Septiembre 2009.
<http://es.scribd.com/doc/19429855/Equipos-de-medicion-de-gases>.

ó longitud óptica efectiva, la cual depende del diseño del fabricante del opacímetro.

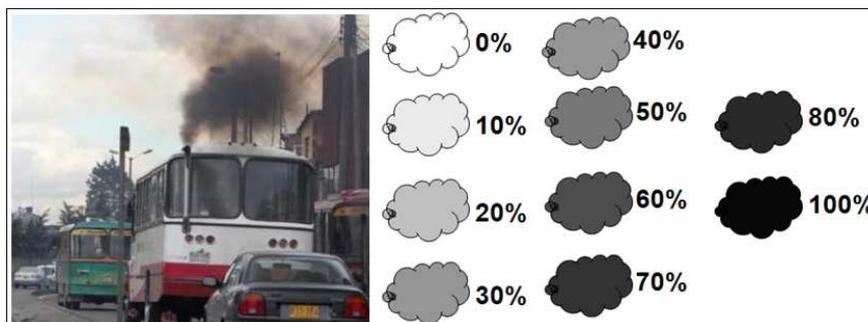


Figura 4-18: Interpretación del porcentaje de opacidad.¹³²

Existe un gran número de instrumentos para medir el humo, los cuales están diseñados para medir la opacidad, por lo que son llamados opacímetros.

4.3.5.1.1 Tipos de opacímetros

Los opacímetros son clasificados en tres tipos:

Opacímetros de flujo total en línea

Analiza el total del humo que pasa por el tubo de escape. La medición es realizada dentro del tubo de escape.

Opacímetros de flujo total tipo estela o fin de línea

Analiza el total del humo que sale del escape en forma de estela. La medición es realizada a la salida del escape.

Opacímetros de flujo parcial o muestreo

Analiza una fracción del humo que pasa por el escape. La medición es realizada en una cámara especialmente diseñada.

En la medición de opacidad estática a través del método de aceleración libre se utilizará el equipo opacímetro MAHA MDO2 de flujo parcial perteneciente a la Secretaría de Ambiente del DMQ.

¹³² Elaborado por: Ing. Alex Guzmán.



Figura 4-19: Equipo de medición de opacidad - opacómetro MAHA MDO2.¹³³

El equipo posee una sonda de muestreo (manguera) con acople metálico para el tubo de escape, mando a distancia que permite visualizar a través de una pantalla el menú de programación del equipo antes de ejecutar la medición, este mando tiene integrada una impresora para imprimir los resultados de opacidad medidos, tiene diversas posibilidades para conexión a una PC, a la red y a la línea de pruebas, alimentación eléctrica mediante conexión a encendedor de cigarrillos (12V-24V) o toma de corriente (110V).

Para la ejecución de la prueba de opacidad dinámica (bajo carga) se utilizará el equipo opacómetro MAHA MDO2 LON perteneciente a la Secretaría de Ambiente del DMQ. Se configurará el software del dinamómetro de rodillos LPS 3000 para que trabaje en conexión con el opacómetro MDO2 LON durante la aplicación de la carga.

4.4 SECUENCIA NECESARIA PARA DETERMINAR LAS EMISIONES CONTAMINANTES

El presente estudio analiza la secuencia necesaria para determinar las emisiones contaminantes del motor ciclo diesel utilizando diesel microemulsionado con agua.

Las actividades necesarias son las siguientes:

- Afluencia vehicular en el DMQ.
- Patrones de manejo.
- Elaboración del ciclo de prueba.

¹³³ MAHA GMBH & CO. KG; Manual de opacómetro MDO2.

- Pruebas de medición de emisiones con equipo a bordo, dinamómetro de chasis y opacímetro.

La operación del vehículo será en una ruta definida que incluya las vías con mayor afluencia vehicular donde se den condiciones de aceleración, desaceleración y velocidad de cruce tanto en ascenso como en descenso de pendientes, así como en calles horizontales. Por lo tanto la ejecución de un procedimiento de pruebas depende en gran medida de la obtención de información previa sobre los patrones de manejo característicos en el Distrito Metropolitano de Quito, con el objetivo de lograr resultados más precisos.

4.4.1 AFLUENCIA VEHICULAR

Se necesita información de las zonas de alta afluencia vehicular, dentro de la ciudad de Quito, la descripción específica de la actividad del tráfico en dichos sectores, esta descripción, inicialmente se puede conseguir a través de las autoridades de transporte. Es necesario determinar la forma de distribución de pendientes de las calles, para establecer las condiciones de manejo más comunes en dichas avenidas. Las vías con mayor afluencia de vehículos se utilizan para seleccionar una ruta adecuada para la elaboración del ciclo de prueba (trabajo). Las vías principales se muestran en la Tabla 4-3.¹³⁴

Tabla 4-3: Vías de mayor afluencia vehicular en la ciudad de Quito.

NOMBRE	UBICACIÓN	LONGITUD (m)	Nº VEHICULOS
AV. PEDRO VICENTE MALDONADO	SUR	9800	33955
AV. ANTONIO JOSÉ DE SUCRE	SUR	11361	23851
AV. INTEROCEÁNICA	NORESTE	19435	23688
AV. DE LOS GRANADOS	NORTE	1686	22191
AV. SIMÓN BOLIVAR	SUR	11168	21495
AV. GENERAL RUMIÑAHUI	ESTE	17763	19035
AV. NACIONES UNIDAS	NORTE	1527	17808
AV. LA PRENSA	NORTE	5716	15827
AV. AMÉRICA	NORTE	3880	15476
AV. UNIVERSITARIA	NORTE	1482	15063
AV. 6 DE DICIEMBRE	NORTE	4591	14314

¹³⁴ CORPORACIÓN MUNICIPAL PARA EL MEJORAMIENTO DEL AIRE DE QUITO - CORPAIRE; Aire Puro-Informativo de CORPAIRE No. 05; Quito; Julio 2008.

Tabla 4-4: Vías de mayor afluencia vehicular en la ciudad de Quito (continuación).

NOMBRE	UBICACIÓN	LONGITUD (m)	Nº VEHICULOS
AV. MANUEL CÓRDOVA GALARZA	NORTE	13221	13858
PANAMERICANA NORTE	NORTE	7623	12947
AV. NAPO	SUR	1704	12362
AV. 10 DE AGOSTO	NORTE	9916	12288
AV. TENIENTE HUGO ORTIZ	SUR	4809	11823
AV. 12 DE OCTUBRE	NORTE	1449	11821
CARRETERA SANGOLQUI AMAGUAÑA	ESTE	10410	11389
AV. ELOY ALFARO	NORTE	11331	10525
AV. SHIRYS	NORTE	2312	9443
AV. CRISTÓBAL COLÓN	NORTE	1690	9198
AV. DIEGO DE VÁSQUEZ	NORTE	5075	8142
AV. MARIANA DE JESÚS	NORTE	2261	7316
AV. REINA VICTORIA	NORTE	784	6987
AV. EL INCA	NORTE	2484	6094
AV. RODRIGO DE CHÁVEZ	SUR	1271	5463

Con la información indicada en las Tablas 4-3 y 4-4, se conoce cuales son las vías que mayor flujo vehicular hay en la ciudad de Quito, esto sumado a la distribución de pendientes de las vías y a la actividad vehicular promedio permiten establecer una ruta adecuada que reúna todas las características del comportamiento real del parque automotor de la ciudad.

4.4.2 PATRONES DE MANEJO

Es la forma de conducir un vehículo, que tiende a ser un patrón de una masa vehicular que conforma el parque automotor de la ciudad. Conociendo los patrones de manejo es factible elaborar un ciclo de trabajo, el cual representa las condiciones reales de operación de los automóviles tanto en la ciudad como fuera de ella. Para determinar los patrones de manejo se puede utilizar un equipo Sistema de Posicionamiento Global (GPS), el cual dependiendo de sus características muestra información de los diferentes parámetros, como velocidad media, máxima, tiempo de recorrido, distancia de recorrido, etc.

Un vehículo produce mayor cantidad de emisiones contaminantes cuando en su recorrido existen múltiples paradas y arranques, por esta razón en ciudades

donde el patrón de manejo es sumamente complejo como en el caso de Quito, las emisiones tienden a aumentar.

4.4.3 CICLO DE PRUEBA (TRABAJO)

El ciclo de trabajo es una secuencia de velocidades que sigue el vehículo, las mismas que están en función del tiempo de duración de la prueba y de la distancia recorrida en la prueba.

Por lo general para elaborar un ciclo de trabajo se debe tomar en cuenta aspectos generales con referencia a los vehículos empleados y al ciclo en sí.

Los vehículos de transmisión mecánica deben operar de la siguiente forma:¹³⁵

- Las marchas mínimas se accionarán, con el embrague presionado.
- Las desaceleraciones se lograrán disminuyendo la marcha (freno de motor o freno de máquina).
- Todo tránsito en cruce se hará en la mayor marcha posible.
- La disminución de marcha se permitirá para alcanzar la aceleración requerida o para permitir una operación suave del motor.
- Se debe realizar correctamente los cambios de marcha.

Los ciclos en general deben cumplir con estas condiciones:¹³⁶

- El ciclo dentro de la ciudad debe realizarse en una vía recta de 3,2 km los otros ciclos pueden realizarse en autopista cerrada o recta.
- Dentro de los periodos de marcha mínima se debe tomar la temperatura del combustible.
- El consumo de combustible es promedio de al menos dos pruebas (en ambos sentidos) consecutivas.

¹³⁵ ARIAS DIEGO; Desarrollo de una Metodología para medir el desempeño mecánico, energético y ambiental de vehículos automotores; Colombia 1998

¹³⁶ ARIAS DIEGO; Desarrollo de una Metodología para medir el desempeño mecánico, energético y ambiental de vehículos automotores; Colombia 1998

4.4.4 MEDICIÓN DE EMISIONES CON EQUIPO A BORDO

El vehículo de prueba debe recorrer la ruta elegida, medir sus emisiones y kilómetros de recorrido con el equipo de medición a bordo. Para comprobar la facilidad de reproducir datos similares en las mismas condiciones de operación, se deben realizar dos, tres o más mediciones por la misma ruta.

También se deberá estimar el aporte ocasionado por el arranque. Con este fin el vehículo debe circular por la ruta, alternando secuencialmente arranques en frío y en caliente, siempre y cuando se debe tener el mismo ciclo de trabajo en los dos casos. Al realizar un análisis de la diferencia de emisiones que existe entre los dos tipos de arranque, permitirá conocer cuál es el aporte que produce el arranque en frío con respecto a las emisiones producidas.

Cabe recalcar que los valores de emisiones medidos por el método a bordo se sujetan estrictamente al tiempo durante el cual se realizó la toma de datos, por lo que se aplicarán estrictamente con referencia al año en el que se registraron dichos datos, ya que las emisiones de los vehículos medidos pertenecen al kilometraje recorrido acumulado y condiciones de mantenimiento del instante en que se realizó la medición.

Las emisiones vehiculares cambian según la influencia de algunas variables como:

- Tipo de combustible.
- Tamaño del vehículo y potencia del motor.
- Antigüedad del vehículo (año-modelo).
- Capacidad de transporte (carga).
- Tráfico vehicular.
- Composición del parque vehicular

4.4.4.1 Tipo de combustible

Es importante tener en cuenta que tipo y calidad de combustible se utilizará para el funcionamiento del motor

4.4.4.2 Tamaño del vehículo y potencia del motor

A mayor tamaño del vehículo, se requiere de mayor potencia para funcionar lo que resulta en motores de mayor capacidad y volumen de sus partes, por lo cual emiten mayor cantidad de gases (por unidad de volumen) y con ello de contaminantes.

4.4.4.3 Antigüedad del vehículo (año-modelo)

El incremento de problemas ambientales ha dado como resultado que se desarrollen nuevas tecnologías que hacen que los vehículos de reciente fabricación contaminen en menor cantidad que los vehículos fabricados en el pasado. Debido a lo anterior los organismos internacionales de regulación han conseguido establecer límites de emisiones para los diferentes año/modelo de vehículos agrupándolos y mostrándolos en las normas existentes. En el Ecuador los límites para los contaminantes emitidos en base al año modelo de los vehículos con motor ciclo Diesel está dada por la norma INEN NTE2207, la cual se muestra en el ítem 2.6 – Normalización, del capítulo 2.

4.4.4.4 Capacidad de transporte (carga)

A mayor capacidad de transporte, el vehículo tiene mayor tamaño y mayor potencia del motor, por lo cual la relación es directamente proporcional con la emisión de contaminantes.

4.4.4.5 Tráfico Vehicular

Consiste en detallar las categorías vehiculares para la zona de estudio así como también el establecer estimaciones de volumen promedio de vehículos que circulan en un periodo de tiempo definido.

4.4.4.6 Composición de la flota vehicular

Es la clasificación por año/modelo de cada una de las categorías vehiculares que existe en una zona de estudio.

4.5 ELABORACIÓN DE UN CICLO DE PRUEBA PARA LA CIUDAD DE QUITO

Según la norma SAE J1082 (Fuel Economy Measurement Road Test Procedure) se adopta tres ciclos de prueba: ciudad, autopista y alta velocidad, pero la ciudad de Quito presenta una topografía irregular, que se caracteriza por la existencia de pendientes de ascenso y descenso pronunciadas. Por esta razón los ciclos de trabajo propuestos por las normas existentes, no logran abarcar las condiciones reales de trabajo a las que se encuentran expuestos los vehículos que circulan en Quito. Por otro lado las pruebas en laboratorio pueden simular cargas similares a las que reciben los automóviles, las mismas que generan gran cantidad de emisiones de contaminantes, pero no consideran factores de gran importancia que afectan el desarrollo del automotor en su funcionamiento diario.

Por estos motivos el ciclo de trabajo adecuado para la ciudad de Quito consiste en una ruta a lo largo de la ciudad, la cual recoja pendientes que sean sumamente representativas tanto en ascenso y descenso con distintos grados de inclinación al igual que un tramo plano. La distancia del recorrido a lo largo de la ruta establecida dependerá de la actividad vehicular del parque automotor y de las calles que se seleccionen, aparte de cumplir con las pendientes necesarias deben ser de mayor afluencia vehicular con el fin de representar los problemas de tráfico comunes para los vehículos que circulan por el DMQ.

En el Anexo 1 se indica las velocidades según la Norma SAE J1082 que se utilizan en un ciclo de prueba para una ciudad compuesta de vías regulares carente de pendientes.

4.5.1 ELABORACIÓN DE LA RUTA DE CIRCULACIÓN DEL VEHÍCULO PARA EL CICLO DE PRUEBA

La red vial de Quito está formada por intersecciones entre calles y avenidas, así como las regiones que conforman el área de estudio.

Quito se divide en tres zonas principales, zona norte, sur y central. En la zona norte las vías se caracterizan por tener un tráfico de mayor velocidad, debido a

que sus rutas presentan menor afluencia de vehículos pesados. La zona norte presenta un considerable número de vías principales, que la atraviesan, las cuales se caracterizan por ser amplias y de alta velocidad, con menor número de pendientes considerables. Entre las más conocidas se tiene la Av. Mariscal Antonio José de Sucre (Vía Occidental), Av. 10 de Agosto, Av. Eloy Alfaro, Av. 6 de Diciembre y la Av. La Prensa.

En la zona central el tráfico es sumamente lento debido a que las calles son estrechas y además existen carriles exclusivos para la circulación del Trolebús, Metrobus y Ecobus. En la zona sur el tráfico es medianamente lento debido a la presencia de transporte pesado y público. Existen tres vías principales que atraviesan esta zona que son Av. Mariscal Sucre, Av. Simón Bolívar y la Av. Pedro Vicente Maldonado.

Estas se encuentran conectadas entre sí, por calles transversales lo cual permite una fácil circulación en la zona.

4.5.1.1 Actividad vehicular media

La actividad vehicular es el número de kilómetros por día (km/día) que recorre cada tipo de vehículo que conforma un parque vehicular. Para determinarla, se debe conocer el número de kilómetros que recorre al día cada año/modelo del parque automotor. En las Tablas 4-5 y 4-6 se indica un ejemplo de la muestra de vehículos para determinar la actividad media del transporte público en la ciudad de Quito, la actividad media es de 218 km/día¹³⁷.

Tabla 4-5: Muestra de vehículos a diesel para determinar la actividad media.

Tipo de vehículo	Marca	Placa	Kilometraje última revisión año 2010	Año modelo	Años recorrido	Recorrido por año (km/año)	Recorrido por día (km/día)
MICROBUS	VOLKSWAGEN/9150	PUD0829	226419	2005	5	45284	124
BUS	CHEVROLET/NPR71	PUJ0473	89854	2008	2	44927	123
BUS	MAN/14285LC	TAO0369	358459	2003	7	51208	140
BUS	HINO/GD1JPTZ	PZB0264	504209	2005	5	100842	276
BUS	HINO/GD1JPTZ	PZZ0427	524423	2002	8	65553	180
BUS	HINO/GD1JPTZ	PZB0810	429377	2006	4	107344	294

¹³⁷ GUZMAN ALEX; CORPAIRE - Corporación Municipal para el Mejoramiento del Aire de Quito; Enero 2010.

Tabla 4-6: Muestra de vehículos a diesel para determinar la actividad media (continuación).¹³⁸

Tipo de vehículo	Marca	Placa	Kilometraje última revisión año 2010	Año modelo	Años recorrido	Recorrido por año (km/año)	Recorrido por día (km/día)
BUS	HINO/FG1JPUZ	PUH0205	279703	2007	3	93234	255
BUS	MERCEDES BENZ/OF	PUB0329	252916	2006	4	63229	173
BUS	HINO/GD1JPTZ	PZB0761	515481	2005	5	103096	282
FURGONETA	KIA/PREGIO	PUH0246	198070	2008	2	99035	271
BUS	MERCEDES BENZ/OF 1721	PUD0278	290141	2006	4	72535	199
BUS	HINO/FG1JPUZ	PUG0627	304227	2007	3	101409	278
BUS	HINO/GD1JLTZ	PZR0263	791908	2000	10	79191	217
BUS	HINO/FG1JPUZ	PUC0235	255506	2006	4	63877	175
BUS	HINO/FG1JPUZ	PUI0007	235356	2008	2	117678	322
BUS	MERCEDES BENZ/OF 1721	PAU0405	399955	2004	6	66659	183

Para los vehículos considerados tipo livianos que circulan en el DMQ, la actividad media determinada es de 30km/día¹³⁹.

4.5.1.2 Selección de las vías

Del análisis de actividad media de los vehículos se tiene como resultado que la ruta para ejecutar las pruebas debe tener una longitud entre de 30 km y 218 km, del total de vías registradas en la Tabla 4-3, debido a su alto grado de afluencia vehicular, y las distribuciones de pendientes de las mismas mostradas en el Anexo 2, se seleccionan aquellas que puedan unirse para formar un recorrido continuo a lo largo de la ciudad.

Las vías seleccionadas se muestran en la Tabla 4-7 y la ruta se muestra en el mapa de la ciudad de Quito del Anexo 3.

¹³⁸ GUZMAN ALEX; CORPAIRE - Corporación Municipal para el Mejoramiento del Aire de Quito; Enero 2010.

¹³⁹ MUÑOZ EDGAR; Desarrollo de un método para determinar factores de emisión en vehículos livianos a gasolina de Quito. Tesis Facultad de Ingeniería Mecánica; Escuela Politécnica Nacional; Quito; 2005.

Tabla 4-7: Vías seleccionadas para la ruta de prueba en la ciudad de Quito.

NOMBRE	UBICACIÓN
Av. Pedro Vicente Maldonado y Av. Leonidas Dublés (Altura del Centro de Revisión y Control Vehicular de Guamaní).	Sur
Av. Rodrigo de Chávez (La Villaflora).	Sur
Av. Gral. Alberto Enríquez.	Sur
Av. Necochea.	Sur / Centro
Av. Bahía de Caráquez / calle Chimborazo (Túneles).	Sur / Centro
Av. Antonio José de Sucre.	Centro / Norte
Av. Mariana de Jesús (Hospital Metropolitano).	Norte
Av. 10 de Agosto / Av. Galo Plaza Lasso (El Labrador).	Norte
Av. Río Amazonas (Aeropuerto).	Norte
Av. La Prensa y Av. Antonio José de Sucre (C.C. El Condado).	Norte

Seleccionadas las vías de la ruta, se procede a realizar el reconocimiento de la misma para determinar la longitud total real de la ruta.

Utilizando el odómetro del vehículo de prueba, se determina que la ruta tiene una longitud total de 30 km.

Para verificar la longitud total de la ruta y determinar otros parámetros como: el porcentaje de pendiente de las vías de la ruta, velocidad mínima, velocidad máxima de circulación, altura de cada tramo sobre el nivel del mar, tiempo de duración del recorrido y tiempos en ralentí; se instala sobre el vehículo de prueba el equipo de medición de posicionamiento global GPS. Analizados los datos medidos, se comprueba que la ruta tiene una longitud total de 30,1 km. Es decir, que el porcentaje de error comparando la longitud medida con el odómetro es del 0,33%. Los datos se adjuntan en el Anexo 4.

4.5.1.3 Cálculo de pendiente según el método topográfico y distribución de pendientes a lo largo de la ruta

La pendiente es la relación que existe entre el desnivel que debemos superar y la distancia en horizontal que debemos recorrer, lo que equivale a la tangente del ángulo que forma la línea a medir con el eje x, que sería el plano. La distancia horizontal se mide en el mapa. La pendiente se expresa en tantos por ciento, o en grados.

Para calcular una pendiente en tanto por ciento (%) basta con resolver la siguiente regla de tres: Distancia en horizontal es a 100 como distancia en vertical es a X, o sea:

$$Pendiente \% = \frac{Distancia\ vertical \times 100}{Distancia\ horizontal} \quad (Ec. 4-1)$$

Para calcular la pendiente en grados basta con resolver el triángulo rectángulo con los dos catetos conocidos.

$$Tangente\ A = \frac{Distancia\ vertical}{Distancia\ horizontal} \quad (Ec. 4-2)$$

Un ángulo (A) de 45° es una pendiente del 100%, ya que cada 100 metros en horizontal se recorren 100 metros en altura. Entonces, utilizando este criterio se calcula el grado (°) de pendiente de la vía, tomando en cuenta que con el equipo de medición a bordo se obtienen datos del porcentaje (%) de pendiente de la vía.

Para que la ruta sea considerada como representativa de la irregular topográfica que presenta el DMQ, debe cumplir con porcentajes determinados de los distintos tipos de pendientes. La Tabla 4-8¹⁴⁰, se indica la clasificación de pendientes del DMQ, según el porcentaje de pendiente (gradiente) y el grado de pendiente.

Tabla 4-8: Clasificación del porcentaje y grado de pendientes de las vías de la ciudad de Quito.

Porcentaje de pendiente (%)		Clase - Grado
+ 5.00	+ 10.00	Clase 6
- 10.00	- 5.00	Clase -6
+ 3.00	+ 5.00	Clase 4
- 5.00	- 3.00	Clase -4
+ 1.00	+ 3.00	Clase 2
- 3.00	- 1.00	Clase -2
- 1.00	+ 1.00	Clase 0

Del análisis de los datos de las principales vías y pendientes de cada una, se clasifican distintos tramos según el grado de pendiente que tienen las diferentes vías como se muestra en la Tabla 4-9.

¹⁴⁰ IBARRA BLADIMIR; Corporación para el Mejoramiento del Aire de Quito, 2005.

Tabla 4-9: Grado de pendientes de las vías que forman la ruta de prueba de la ciudad de Quito.

Clase-Grado de pendiente	Porcentaje de pendiente (%)	Número de tramos	Distancia del tramo de ruta en relación a la longitud total de la ruta Quito (km)	Porcentaje del tramo de ruta en relación a la longitud total de la ruta Quito (%)
6	+5% a +10%	817	5	18
-6	-10% a -5%	1400	9	29
4	+3% a +5%	188	1	4
-4	-5% a -3%	356	2	7
2	+1% a +3%	315	2	7
-2	-3% a -1%	449	3	9
0	-1% a +1%	1224	8	26
LONGITUD TOTAL RUTA QUITO			30	100

Con base a los resultados obtenidos se distribuyen los 30 km de longitud de la ruta de la siguiente manera:

Pendiente cero (plano)

El 26% del total del recorrido (8km) debe ser plano o con pendientes menor a grado 0, comprendiéndose como pendientes de grado 0 a aquellas que tienen de -1% a 1% de inclinación.

Pendiente positiva (en ascenso)

El 7% del total (2km) debe contener pendientes positivas de grado 2 comprendiéndose como pendientes de grado 2 a aquellas que tienen de 1% a 3% de inclinación positiva (en ascenso). El 4% del total (1km) debe tener pendientes positivas de grado 4 comprendiéndose como pendientes de grado 4 a aquellas que tienen de 3% a 5% de inclinación positiva (en ascenso). El 17% del total (5km) debe tener pendientes positivas de grado 6 comprendiéndose como pendientes de grado 6 a aquellas que tienen de 5% a 10% de inclinación positiva (en ascenso).

Pendiente negativa (en descenso)

El 9% del total (3km) debe tener pendientes negativas de grado -2 comprendiéndose como pendientes de grado -2 a aquellas que tienen de -1% a -3% de inclinación negativa (en descenso). El 7% del total (2km) debe tener

pendientes negativas de grado -4 comprendiéndose como pendientes de grado -4 a aquellas que tienen de -3% a -5% de inclinación negativa (en descenso). El 29% del total (9km) debe tener pendientes negativas de grado -6 comprendiéndose como pendientes de grado -6 a aquellas que tienen de -5% a -10% de inclinación negativa (en descenso).

La agrupación de las pendientes se resume en la Tabla 4-10.

Tabla 4-10: Resumen de distribución de pendientes a lo largo de la ruta seleccionada para las pruebas.

Clase-Grado de pendiente	Longitud de cada tramo de ruta en relación a la longitud total de la ruta Quito	
	(km)	(%)
0 (plano)	8	26
2 (ascenso y descenso)	5	16
4 (ascenso y descenso)	3	11
6 (ascenso y descenso)	14	47
LONGITUD TOTAL RUTA QUITO	30	100

En términos generales se puede apreciar que el 26% de pendientes son de grado 0, el 16% de pendientes son de grado 2, el 11% de pendientes son de grado 4 y el 47% restante son de inclinación mayores a grado 6.

4.6 COSTOS DE OPERACIÓN Y RECURSOS HUMANOS

La Tabla 4-11, muestra los costos económicos de los servicios y tiempos necesarios para la obtención de patrones de manejo, definición de la ruta y ciclo de trabajo, medición de emisiones en ruta, mediciones en laboratorio con opacímetro y dinamómetro de rodillos, procesamiento de datos y finalmente el análisis de resultados.

Tabla 4-11: Inversión económica por servicios y alquiler de equipos.

ACTIVIDADES	Consumibles (Dólares)	Horas-hombre	Servicios externos (Dólares)	Total de costos (Dólares)
Recopilación y análisis de información de afluencia vehiculares.		40		
Recopilación y análisis de características del parque vehicular.		40		
Obtención de patrones de manejo en campo con vehículo instrumentado (GPS).		18	Contratación de GPS: 10USD/hora (180,00USD) Renta de vehículo: 10USD/hora (180,00USD)	360,00 USD
Tratamiento de resultados para definición de ruta y ciclo de trabajo.		40		
Medición de emisiones en ruta.	Combustibles: Aprox. 80 gal. a 1,03USD/gal (82,40USD) Aditivo emulsificador: 1 gal. (80,00 USD) Agua destilada: 15 litros a 0,60USD/litro (9,00 USD)	15 días/8 horas-día: 120	Renta de vehículo: 10,00USD/hora (1200,00USD) Renta equipo de medición de emisiones a bordo: 30,00USD/día (450,00USD)	1821,40 USD
Medición de opacidad, potencia y torque.		5 días/2 horas-día: 10	Renta de vehículo: 10,00USD/hora (100,00USD) Renta equipo de medición LPS3000: 30,00USD/hora (300,00USD) Renta equipo de medición de opacidad: 10,00USD/hora (100,00USD) Renta equipo de medición de opacidad dinámica: 10,00USD/hora (100,00USD)	600,00 USD
Tratamiento de datos de pruebas y reporte de resultados.		40		

La inversión económica para la ejecución de las pruebas es de DOS MIL SETECIENTOS OCHENTA Y UNO CON 40/100 DÓLARES (**2.781,40 USD**), este valor toma en cuenta como lo más importante el alquiler de equipos de medición de emisiones, alquiler de dinamómetro para medir potencia y torque y alquiler de vehículo, opacímetros, compra de combustible diesel Premium, aditivo emulsificador y agua destilada para elaborar el diesel microemulsionado.

4.6.1 PATRONES DE MANEJO PARA LA RUTA SELECCIONADA

De las pruebas realizadas a lo largo de la ruta planteada, con la ayuda de un Sistema de Posicionamiento Global (GPS) se obtuvieron los datos que se muestran en la Tabla 4-12.

Tabla 4-12: Patrones de manejo medidos a utilizando un GPS.

Distancia (Km)	Velocidad máxima (km/h)	Velocidad promedio (km/h)	Tiempo de duración de la prueba (seg)	Tiempo promedio en ralentí (seg)
30,1	49,6	19,8	4740 (79 min)	773 (13 min)

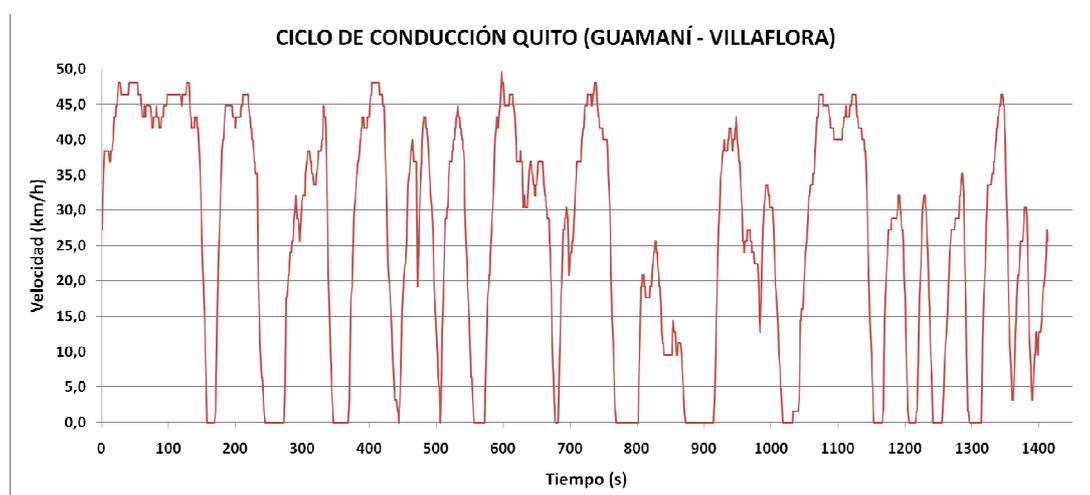
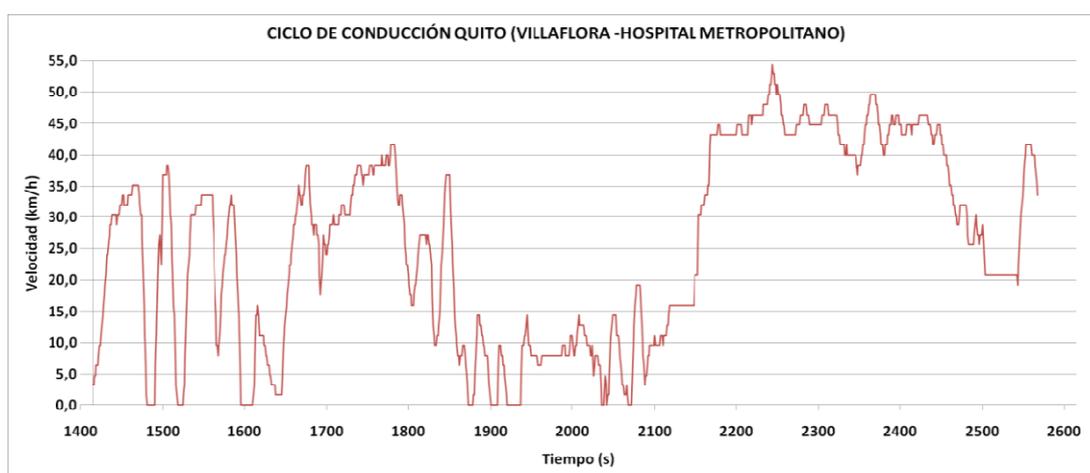
4.7 GRÁFICO VELOCIDAD vs. TIEMPO A LO LARGO DE LA RUTA SELECCIONADA

Para analizar la reproducibilidad del ciclo, este debe presentarse de una manera más detallada, para lo cual se elabora gráficamente el recorrido de la ruta representado por las variables de velocidad y tiempo. La ruta se realizó en las horas pico de la mañana y tarde de 9h30 a 11h00 y de 16h30 a 19h00.

La distribución de cada recorrido y su respectivo gráfico se detallan en la Tabla 4-13.

Tabla 4-13: Distribución de gráficas de los tramos recorridos en la ruta de prueba.

Gráfico	Inicio	Final
4-1	Av. Pedro Vicente Maldonado y Av. Leonidas Dublés (CRCV Guamaní)	Av. Pedro Vicente Maldonado y Av. Rodrigo de Chávez (La Villaflora)
4-2	Av. Pedro Vicente Maldonado y Av. Rodrigo de Chávez (La Villaflora)	Av. Antonio José de Sucre / Occidental y Av. Mariana de Jesús (Hospital Metropolitano).
4-3	Av. Antonio José de Sucre / Occidental y Av. Mariana de Jesús (Hospital Metropolitano).	Av. 10 de Agosto / Av. Galo Plaza Lasso y Av. Río Amazonas (Aeropuerto).
4-4	Av. 10 de Agosto / Av. Galo Plaza Lasso y Av. Río Amazonas (El Labrador - Aeropuerto).	Av. La Prensa (condado) y Av. Antonio José de Sucre (C.C. El Condado).

**Gráfico 4-1:** Velocidad vs. Tiempo para un recorrido a través de la ruta de pruebas (Primer tramo CRCV Guamaní – La Villaflora ≈ 10 km).¹⁴¹**Gráfico 4-2:** Velocidad vs. Tiempo para un recorrido a través de la ruta de pruebas (Segundo tramo La Villaflora - Hospital Metropolitano $\approx 8,7$ km).¹⁴²¹⁴¹ Elaborado por: Ing. Alex Guzmán.¹⁴² Elaborado por: Ing. Alex Guzmán.

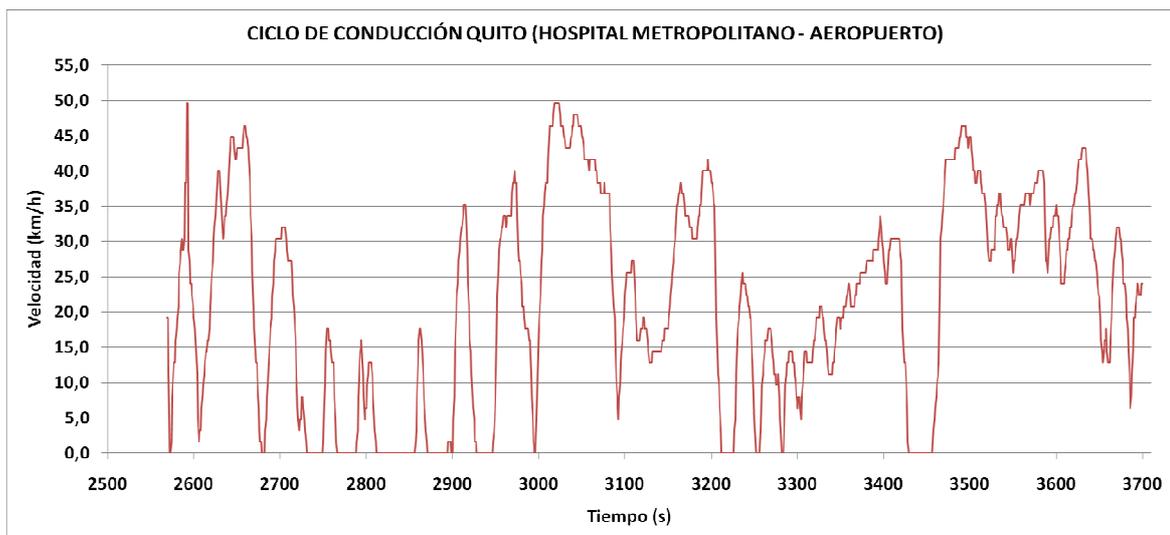


Gráfico 4-3: Velocidad vs. Tiempo para un recorrido a través de la ruta de pruebas (Tercer tramo Hospital Metropolitano – El Labrador, Aeropuerto ≈ 6,7 km).¹⁴³

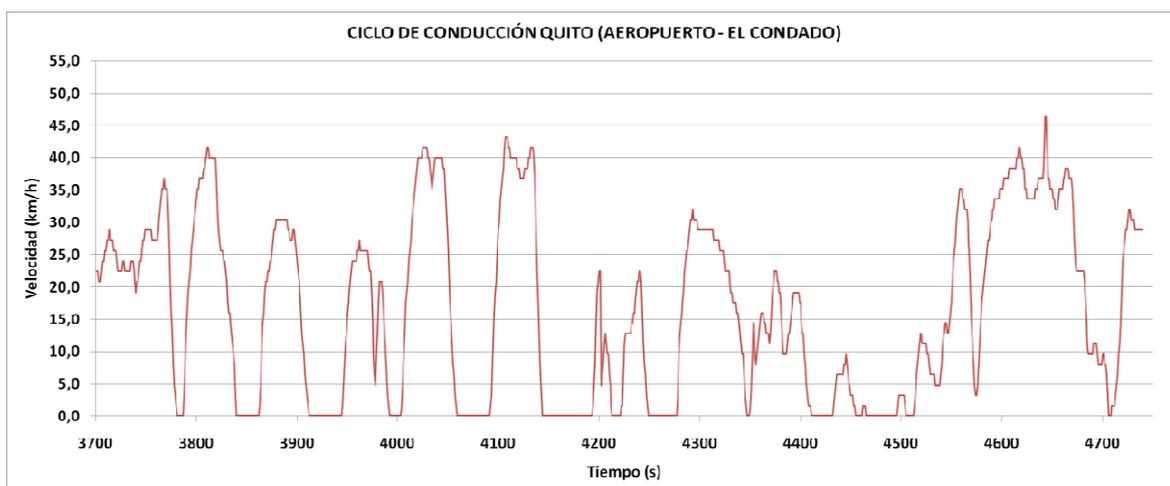


Gráfico 4-4: Velocidad vs. Tiempo para un recorrido a través de la ruta de pruebas. (Cuarto tramo El Labrador, Aeropuerto – C.C. El Condado ≈ 4,7 km).¹⁴⁴

4.8 PARÁMETROS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

4.8.1 CONDICIONES GENERALES DEL ESTADO MECÁNICO DE LOS VEHÍCULOS DE PRUEBA

Se requiere que el vehículo de prueba no presente ninguna alteración en los sistemas que influyen en la emisión de contaminantes, para garantizar la obtención de valores reales de los mismos.

¹⁴³ Elaborado por: Ing. Alex Guzmán.

¹⁴⁴ Elaborado por: Ing. Alex Guzmán.

Verificar que el sistema de escape del vehículo se encuentre en perfectas condiciones de funcionamiento y sin ninguna salida adicional a las del diseño, que provoque dilución de los gases de escape o fugas de los mismos. Las salidas adicionales a las contempladas en el diseño original no deben ser aceptadas, aunque éstas se encuentren bloqueadas al momento de la prueba.

Verificar que el nivel de aceite en el cárter del motor del vehículo esté entre el mínimo y el máximo recomendado por el fabricante del vehículo, con el motor apagado y el vehículo en posición horizontal.

El nivel de refrigerante del motor debe ser el correcto para garantizar tener una temperatura de operación del motor lo más constante posible.

4.8.2 CONDICIONES AMBIENTALES

La recolección de medidas a través de la ruta se debe realizar en condiciones ambientales promedio de un día en Quito. Estas son detalladas a continuación:

- La temperatura promedio debe oscilar entre 10 a 25°C.
- La humedad relativa debe ser del 56 al 88% como máximo.
- Debe existir total ausencia de lluvia.

4.8.3 CONDICIONES DE MANEJO DE LOS VEHÍCULOS

De los parámetros registrados en la Tabla 4-12 se plantean los siguientes límites de velocidad. La velocidad máxima no debe ser mayor de 49.6 km/h, aun cuando el tráfico permitiese exceder este valor. Según las condiciones de tráfico se debe mantener una velocidad promedio de 19,8 km/h. La velocidad mínima dependerá del flujo vehicular en el momento de la circulación en la vía que conforma la ruta. El tiempo en ralentí debe estar alrededor de 773 seg. (13 min), medida que fue tomada como promedio de pruebas realizadas a lo largo de la ruta definida. Este tiempo puede ser mayor o menor dependiendo de las condiciones de tráfico, tales como de los semáforos y el flujo vehicular (congestionamientos).

4.8.4 HORA DE REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS

Las pruebas en ruta deben efectuarse en las horas que exista en lo posible menor tráfico vehicular. Esto es desde las 9h30 hasta las 11h00, a medio día desde 12h00 hasta las 14h00 y en la tarde desde las 15h30 hasta las 19h30 con el objetivo de mantener controlado los parámetros de manejo a lo largo de la ruta definida, aunque a veces se presentan imprevistos donde la congestión vehicular durante estos periodos de tiempos es elevada, esto hace que los vehículos se encuentren sometidos a continuas aceleraciones y desaceleraciones y con ello la mezcla se enriquece constantemente.

4.8.5 TIPO DE COMBUSTIBLE

Para obtener los datos de emisiones contaminantes, de PM y opacidad se emplea el diesel Premium que se expende en la ciudad de Quito, según la NTE INEN 1489 Productos derivados de petróleo-Diesel requisitos, el diesel Premium debe tener máximo 500 ppm de azufre, con el propósito de obtener datos de línea base y compararlos posteriormente con los datos que se obtengan de las mediciones utilizando el diesel microemulsionado con agua.

Para obtener el diesel microemulsionado con agua se utilizará diesel Premium, no existe norma INEN de diesel emulsionado con agua. Como indica la Tabla 4-14 las propiedades del diesel microemulsionado con agua son similares a las del diesel 2 según la Norma INEN 1489: Diesel - requisitos.¹⁴⁵

Tabla 4-14: Propiedades del diesel microemulsionado con agua.

Requisitos	Unidad	Límite		Método de ensayo	
		Mínimo	Máximo	INEN	ASTM
Apariencia		Lechoso		Visual	
Densidad a 15,6°C	kg/m ³	835	870	-	D-1298
Contenido de agua	%m/m	10	15	1494	D-1976
Estabilidad de centrifugación (4200 rcf. 5 min.)					
- Separación de fase	% v/v				
- Agua libre		Reportar			
Viscosidad a 37,8 °C	cst	2.5	7	810	D-445
Azufre	%m/m	-	0.7	-	D-4294
Cenizas	%m/m	-	0.01	1492	D-482
Corrosión lámina de cobre 3hr a 50°C		-	No. 3	927	D-130
Punto de inflamación	°C	51	-	1047	D-93
Contenido de Nitratos*	mg/kg	750	-	ISO 13759	
Lubricidad	µm	-	460	ISO 12156-1	

*Expresado como 2-Etil - exil - nitrato (EEN)

¹⁴⁵ NAVIPAC S. A. Bunker Suppliers - Alternative Petroleum Technologie, Guayaquil – Ecuador, 2011.

4.9 PROCEDIMIENTO GENERAL DE PRUEBAS

Para la realización de la toma de datos se plantea un procedimiento de pruebas a seguir, con el fin de que la recolección de los mismos sea lo más confiable posible. Estos procedimientos se aplican para realizar las mediciones cuando el motor utilice diesel Premium y diesel microemulsionado con agua.

Los procedimientos son los siguientes:

- a) Procedimiento de medición de opacidad prueba estacionaria de aceleración libre.
- b) Procedimiento de medición de potencia, torque y emisión de gases en dinamómetro de rodillos.
- c) Procedimiento de medición de emisiones de gases contaminantes con equipo a bordo.

En los ítems (4.3.4) y (4.3.5) del presente capítulo, se indican los equipos que se utilizarán en la ejecución de las pruebas. Los equipos son: Opacímetro MAHA - MDO2, dinamómetro de rodillos MAHA - LPS3000 y equipo a bordo CLEAN AIR - Montana System OEM2100.

4.9.1 PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN DE OPACIDAD PRUEBA ESTACIONARIA DE ACELERACIÓN LIBRE

Está basado en el procedimiento de medición de la Norma INEN 2203 - Gestión ambiental. Aire - vehículos automotores, determinación de la opacidad de emisiones de escape de motores diesel mediante la prueba estática. Método de aceleración libre.

Se debe seguir el siguiente procedimiento:

1. Retirar todo material en forma de partículas y eliminar toda sustancia extraña o agua, que se haya acumulado en la sonda de prueba y que puedan alterar las lecturas de la muestra (de ser necesario).
2. Verificar que el tubo de escape se encuentre sin fugas, en buen estado y sin ninguna salida adicional al diseño original.
3. Verificar que el motor se encuentre a la temperatura normal de operación.

4. Verificar que la transmisión del vehículo esté en neutro (cajas manuales y automáticas).
5. Verificar la emanación constante de humo azul, por el tubo de escape del vehículo.
6. Al no cumplir con alguna de las condiciones anteriores, se omite la prueba de gases.
7. Realizar 3 aceleraciones sucesivas sin brusquedad, con el fin de limpiar el tubo de escape, establecer el recorrido del pedal del acelerador y el régimen de velocidad de corte del motor.
8. Conectar la sonda del opacímetro en el tubo de escape (escape más cercano al motor o aquel que se ubique en la parte inferior, si existe).
9. Programar el mando del opacímetro e ingresar la información del vehículo.
10. El conductor con indicación de la persona que maneja el equipo de medición, aplica el procedimiento de aceleración libre hasta la velocidad de corte entre 2500 a 3000 rpm.
11. Finalizada la prueba de opacidad proceder a imprimir las mediciones.
12. Sacar la sonda del tubo de escape, enrollar la manguera de muestreo, desconectar el equipo de medición.
13. Repetir el procedimiento para tomar cuatro mediciones adicionales para establecer una línea base de mediciones de opacidad utilizando el diesel Premium.
14. Repetir el procedimiento de medición de opacidad utilizando el combustible diesel microemulsionado con agua, realizar cinco mediciones.

En el Anexo 5, se indica las características técnicas del opacímetro, marca MAHA modelo MDO2.

4.9.2 PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN DE POTENCIA Y TORQUE EN DINAMÓMETRO DE RODILLOS LPS 3000

Para realizar la medición de potencia y torque en el dinamómetro de rodillos (banco de potencia) se debe seguir el siguiente procedimiento:

1. Verificar que el motor esté funcionando correctamente, que nivel de aceite y del refrigerante sean correctos.

2. Montar el vehículo sobre los rodillos del dinamómetro.
3. Sujetar el vehículo del eje trasero o al anillo de remolque, utilizando las correas de tensión del equipo. El anclaje debe estar apretado pero no debe arrastrar el vehículo hacia abajo
4. Conectar el sensor de revoluciones en el compartimiento del motor, dependiendo del tipo de sensor este puede ser magnético o pinza trigger.
5. Conectar la sonda de temperatura de aceite, retirando la varilla de nivel de aceite del motor.
6. Colocar el tubo de aspiración o sonda de muestreo del gas de escape a la salida del tubo de escape.
7. Posicionar el ventilador de aire refrigerante delante del radiador del vehículo, conecte el ventilador.
8. Seleccionar en el software la ejecución d la prueba en continua.
9. Registrar en el software del LPS 3000 (aplicación de carga) fuerza de tracción de valor cero (0 N).
10. Sincronizar las revoluciones del motor a 2000 rpm, según el tiempo que solicite el software. La sincronización se realiza cuando la relación de transmisión con el motor debe ser de 1:1 (cuarta velocidad).
11. Con la transmisión en cuarta marcha (cuarta velocidad – relación 1:1 entre el motor y la caja de cambios) empezar a mover las ruedas del eje (transmisión posterior) para medir la potencia y torque (real) del motor.
12. Cuando la curva empiece a descender, inmediatamente dejar de acelerar y pisar el pedal del embrague, poner en neutro la transmisión y esperar que las ruedas del vehículo dejen de girar.
13. Guardar información de la medición <F8 COMPLETADO>, Ingresando la información en los campos de entrada y los datos del vehículo de la prueba.
14. Repetir el procedimiento para tomar cuatro mediciones adicionales para establecer una línea base de mediciones de potencia y torque utilizando el diesel Premium.
15. Repetir el procedimiento de medición de potencia y torque utilizando el combustible diesel microemulsionado con agua. Realizar cinco mediciones.

En el Anexo 6, se indica las características técnicas del banco de potencia dinamómetro de rodillos, marca MAHA, modelo LPS 3000.

4.9.3 PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN DE OPACIDAD PRUEBA DINÁMICA

Se debe seguir el siguiente procedimiento:

1. Retirar todo material en forma de partículas y eliminar toda sustancia extraña o agua, que se haya acumulado en la sonda de prueba y que puedan alterar las lecturas de la muestra (de ser necesario).
2. Verificar que el tubo de escape se encuentre sin fugas, en buen estado y sin ninguna salida adicional al diseño original.
3. Verificar que el motor se encuentre a la temperatura normal de operación.
4. Montar el vehículo sobre los rodillos del dinamómetro LPS3000.
5. Sujetar el vehículo del eje trasero o al anillo de remolque, utilizando las correas de tensión del equipo. El anclaje debe estar apretado pero no debe arrastrar el vehículo hacia abajo
6. Colocar el tubo de aspiración o sonda de muestreo del gas de escape a la salida del tubo de escape.
7. Posicionar el ventilador de aire refrigerante delante del radiador del vehículo, conecte el ventilador.
8. Configurar en software del dinamómetro para que reconozca al equipo de medición opacímetro MDO2 LON.
9. Verificar la transmisión de datos del opacímetro LON.
10. Ingresar como dato la potencia y revoluciones máximas obtenidas en la prueba de medición de potencia y torque.
11. Sincronizar las revoluciones del motor a 2000 rpm, según el tiempo que solicite el software del LPS 3000. La transmisión debe estar en cuarta marcha, es decir que la prueba se realiza en relación de transmisión 1:1 entre el motor y la transmisión.
12. Medir la potencia máxima, el software comparará este valor de potencia medido con el valor de potencia ingresado como dato en el paso 10. Si es correcto el software continuará con la medición de opacidad dinámica automáticamente.

13. Pisar el pedal del acelerador a fondo, la variación de la velocidad con la que gira el motor y las ruedas del eje posterior dependerá de la carga que el software aplique a través del dinamómetro. Relación de transmisión 1:1
14. Guardar información de la medición <F8 COMPLETADO>, Ingresando la información en los campos de entrada y los datos del vehículo de la prueba.
15. Repetir el procedimiento para tomar cuatro mediciones adicionales para establecer una línea base de mediciones de opacidad dinámica utilizando el diesel Premium.
16. Repetir el procedimiento de medición de opacidad dinámica utilizando el combustible diesel microemulsionado con agua, realizar cinco mediciones.

En el Anexo 7, se indica las características técnicas del opacímetro, marca MAHA modelo MDO2 LON.

4.9.4 PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN CON EQUIPO A BORDO

Este procedimiento se aplica para realizar las pruebas en ruta con el equipo a bordo, utilizando el diesel Premium y diesel microemulsionado con agua.

Se debe seguir el siguiente procedimiento:

1. Verificar que se cumplan las condiciones y parámetros para la toma de datos indicados en el presente capítulo ítem 4.6.1 – patrones de manejo para la ruta seleccionada y del ítem 4.7- velocidades y tiempos del ciclo de conducción.
2. Instalar el equipo de medición a bordo según las especificaciones e indicaciones del fabricante.
3. Encender el motor y ubicarse con el vehículo en el punto de inicio del recorrido. (Av. Maldonado y calle Leonidas Dublés). El motor debe estar caliente, es decir en su temperatura normal de trabajo.
4. Encender el equipo de medición a bordo. No apagar el motor del vehículo mientras el equipo a bordo esté midiendo para evitar pérdida de información.
5. Ingresar la información del vehículo en el equipo de medición a bordo, el equipo guarda automáticamente las mediciones durante el recorrido.
6. Todos los accesorios del vehículo (aire acondicionado, calefacción, radio, etc.) deben estar apagados durante recorrido.

7. Iniciar con el recorrido a través de la ruta determinada.
8. Mantener una velocidad de recorrido dentro del siguiente rango: velocidad máxima de 49,6km/h y velocidad promedio de 19,8km/h, mientras las condiciones de tráfico lo permitan.
9. Detenerse únicamente cuando el tráfico y las señales de tránsito lo ameriten.
10. Las marchas mínimas se accionarán, con el embrague presionado.
11. Las desaceleraciones se lograrán disminuyendo la marcha (freno de motor) y el embrague se accionará al llegar a la velocidad más baja posible antes de detenerse por completo.
12. La disminución de marcha se permitirá para alcanzar la aceleración requerida o para permitir una operación suave del motor.
13. Se debe realizar correctamente los cambios de marcha.
14. Detener el vehículo en el punto final del recorrido (Av. La Prensa y Av. Antonio José de Sucre).
15. Apagar el vehículo y desinstalar el equipo de medición a bordo.
16. Repetir el procedimiento para tomar dos mediciones adicionales para establecer una línea base de mediciones de emisiones en ruta utilizando el diesel Premium.
17. Repetir el procedimiento de medición en ruta utilizando el combustible diesel microemulsionado con agua. Realizar tres mediciones por cada porcentaje de agua.

4.9.4.1 Procedimiento de carga del diesel microemulsionado

Para realizar la carga de combustible microemulsionado se debe seguir el siguiente procedimiento:

1. El tanque debe estar vacío de combustible diesel Premium y llenarlo con combustible microemulsionado con agua.
2. Recorrer aproximadamente 1000 kilómetros para proceder a obtener la línea base de emisiones confiable, si el recorrido es menor a 400 km se pueden obtener valores de emisiones con mucha variación entre ellas, debido a que la microemulsión cumple el proceso de limpieza de los sistemas de alimentación de combustible y de escape del motor.

3. Cambiar los filtros de combustible a mas tardar a los 400km de recorrido o lo equivalente a 20 horas de circulación con diesel microemulsionado con agua por primera vez, ya que los aditivos que conforman el diesel microemulsionado con agua son detergentes que limpian todo el sistema de cañerías y de combustible, evitando incrustaciones y corrosión. El diesel microemulsionado con agua es compatible con la mayoría de filtros para diesel pero no con aquellos con absorbente de agua o separadores de agua, o sistemas centrífugos de separación.
4. Cuando se termine de desarrollar las pruebas, sacar del tanque el combustible diesel microemulsionado con agua y posteriormente llenarlo con combustible diesel Premium.

En el Anexo 8, se indica las características técnicas del equipo de medición a bordo, marca Clean Air, modelo Montana System OEM 2100.

4.10 SELECCIÓN DE ELEMENTOS DEL MOTOR PARA ANÁLISIS DE DESGASTE

Para realizar la prueba de desgaste de las diferentes partes del motor que están en contacto con el combustible microemulsionado con agua, se debe seleccionar las partes mecánicas a ser analizadas. Las partes más importantes que se debe seleccionar es el conjunto pistón-cilindro de la cámara de presión y dosificación de combustible de la bomba de inyección del motor, así como el par aguja-boquilla del inyector, que pulveriza el combustible y lo introduce dentro de la cámara de combustión. En la Figura 4-20 se ilustran estos elementos.

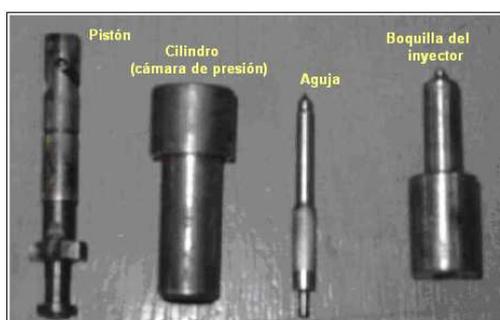


Figura 4-20: Elementos mecánicos de la bomba de inyección e inyectores para el análisis de desgaste.¹⁴⁶

¹⁴⁶ Elaborado por: Ing. Alex Guzmán.

4.10.1 CRITERIOS DE SELECCIÓN

Para realizar el estudio es necesario tener en cuenta determinados aspectos que permitan seleccionar los componentes del motor de combustión interna que estuviesen en mayor contacto con el combustible microemulsionado con agua y por tanto más expuestas a su acción corrosiva, de ahí que en la selección de los pares pistón-cilindro y aguja-boquilla del inyector, se consideran los siguientes aspectos:

- Constituyen pares de alta precisión o ajuste y son elementos muy vulnerables al desgaste que limitan la vida útil de la bomba de inyección de combustible.
- Desarrollan funciones importantes en el sistema de alimentación del motor, como son: dosificar y pulverizar el combustible.
- Estos elementos son lubricados durante su funcionamiento por el propio combustible emulsionado.

4.10.2 PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DEL DESGASTE

Para la evaluación del desgaste se aplica el método gravimétrico, en el cual se determina la pérdida en peso que tiene lugar cuando se exponen los elementos de interés al medio agresor durante un determinado periodo de tiempo. La expresión general para determinar el desgaste gravimétrico es el siguiente:

$$W_g = G_o - G_f \quad (\text{Ec. 4-3})$$

Donde:

W_g : Desgaste gravimétrico. (g)

G_o : Peso inicial. (g)

G_f : peso final. (g)

Como herramienta para determinar el desgaste se utiliza una balanza analítica digital de precisión en miligramos (mg).

Durante la prueba de debe mantener el combustible a una temperatura entre 40 y 50°C, la cual se corresponde al valor que alcanza el combustible en el sistema de alimentación del motor durante su funcionamiento.

El procedimiento de determinación es el siguiente:

1. Limpiar los elementos a evaluar, identificando adecuadamente cada unos de ellos.
2. Desengrasar la superficie expuesta al medio de los elementos analizados con líquido limpiador o en disolvente.
3. Secar la superficie de las piezas con aire caliente para eliminar la humedad.
4. Medir el peso inicial de los elementos mecánicos a ser analizados.
5. Instalar los elementos a ser analizados en la bomba de inyección e inyectores, durante estos ensayos se debe garantizar la uniformidad del suministro de combustible y del caudal de la bomba cuando utilice el combustible microemulsionado con agua.
6. Luego de transcurrido el tiempo de ensayo, repetir los pasos del 1 al 4 y registrar el peso final de cada uno de los elementos.
7. Determinar las pérdidas en peso correspondientes a cada uno de los elementos.

4.10.3 DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE DURACIÓN DE LA PRUEBA

En la determinación del tiempo óptimo para realizar la prueba de desgaste con adecuada reproducibilidad se tuvieron en cuenta algunos reportes de bibliográficos, los cuales se resumen a continuación:

- Prieto Domínguez (1996), realizó estudios para 100 km de recorrido de fricción, en la evaluación del desgaste en el sistema de alimentación del motor diesel utilizando diesel emulsificado con agua obteniendo resultados satisfactorios.¹⁴⁷
- Suárez Guadarrama (1997), realizó estudios similares, demostrando que con 35 km de recorrido de fricción era suficiente, debido a la precisión del equipamiento empleado en las mediciones.¹⁴⁸

¹⁴⁷ DOMÍNGUEZ PRIETO G. Evaluación del desgaste en el sistema de alimentación del motor diesel utilizando el emulsor agua diesel de uso inmediato; Trabajo de Diplomado; Facultad Ingeniería Mecánica, Universidad Central de las Villas UCLV; Cuba; 1996.

¹⁴⁸ SUÁREZ GUADARRAMA A. Análisis del desgaste en el sistema de alimentación del motor diesel; Trabajo de Diplomado, Facultad de Ingeniería Mecánica; UCLV, Cuba; 1997.

- Pérez Manuel (2005), encontró que al realizar los ensayos de desgaste para 120 horas de trabajo, lo que equivale aproximadamente a 70 km de recorrido de fricción del par pistón – cilindro de una bomba de inyección de alta presión, se alcanzan resultados satisfactorios.¹⁴⁹

Por lo indicado anteriormente se considera que para ejecutar la prueba de desgaste se debe hacerla en 100 horas de trabajo del sistema de alimentación, que son suficientes para cumplir con los objetivos de esta prueba.

4.11 ANÁLISIS DE CONTAMINACIÓN DEL LUBRICANTE DEL MOTOR DEL VEHÍCULO DE PRUEBA

El agua origina oxidación de las partes metálicas del motor y aumenta el potencial corrosivo de los ácidos, reduce la película lubricante e interfiere con la lubricación dejando las piezas susceptibles al desgaste abrasivo, adhesivo y fatiga. En áreas de presión las gotas de agua colapsan causando cavitación, esta cavitación se ve como corrosión o picado de la superficie donde hay diferencias de presiones. Por estas razones es necesario realizar un análisis del aceite del motor, para verificar las propiedades físico-químicas del aceite como: viscosidad a 100°C, de Número Base Total (TBN), niveles de metales de desgaste y dilución de agua.

Además de la definición de viscosidad (ver ítem 1.4.2.1 - viscosidad y densidad del capítulo 1), se puede señalar también que la viscosidad apropiada es fundamental para mantener separadas las superficies lubricadas, de acuerdo a la carga de trabajo a que está sometido el motor.

El Número Base Total (TBN) es una medida de la cantidad de sustancias básicas presentes en el lubricante. No es una medida absoluta de la acidez del aceite, sino que es una guía para el control de calidad de formulaciones de lubricantes nuevos y también como una medida de la degradación del aceite por oxidación u operación a altas temperaturas de los elementos mecánicos en contacto.

El procedimiento de toma de la muestra es el siguiente:

¹⁴⁹ PÉREZ ACEVEDO MANUEL; Desgaste por rodadura y deslizamiento en componentes mecánicos; Trabajo de Diplomado, Facultad de Ingeniería Mecánica; UCLV, Cuba; 2005

1. Sacar el aceite del cárter del motor (motor caliente) cuando utilice el combustible diesel Premium, ponerlo en un recipiente (>100ml) y sellarlo.
2. Colocar el nuevo aceite en el motor del vehículo de prueba.
3. Recorrer con el vehículo una distancia mayor a 1000km con el motor funcionando con diesel microemulsionado con agua.
4. Sacar el aceite del cárter del motor (motor caliente) cuando utilice el combustible microemulsionado con agua, ponerlo en un recipiente y sellarlo.
5. Llevar las muestras a un laboratorio certificado para el análisis respectivo.

4.11.1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL VEHÍCULO DE PRUEBA

El vehículo para la ejecución de las pruebas tiene las siguientes especificaciones técnicas:

Tabla 4-15: Especificaciones técnicas del vehículo de prueba.

Marca	Toyota
Modelo	Hilux
Tipo de cuerpo	Pick up doble cabina
Variante	4x4 (4WD)
Año de fabricación	1998
MOTOR	
Tipo de motor	Atmosférico, refrigeración por agua, SOHC
Inyección	Directa
Bomba de inyección de combustible	De un embolo y distribuidor
Posición	Longitudinal delantero
Cilindrada (cc)	2778
Número de cilindros	4 en línea
Potencia neta (HP / kW @ rpm) ISO	87,2 / 65 @ 4000
Torque neto (Nm @ RPM)	185 @ 2400
Relación de compresión	22,2 : 1
Diámetro x carrera (mm)	99,5 X 96
Tipo de combustible	Diesel
Consumo de combustible (60 km / h), gal/100km	1,5
TRANSMISIÓN	
Tipo	Manual 5 velocidades - 4x4
PESOS Y CAPACIDADES	
Peso bruto vehicular (kg)	2730
Peso vacío total (kg)	1680
Capacidad de carga (kg)	1050
Tanque de combustible (Lts) // (gal)	65 // 17,2

4.12 DETERMINACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE CONTROL ESTADÍSTICO

4.12.1 GRÁFICOS DE CONTROL DE CALIDAD ¹⁵⁰

En la práctica existen un sinnúmero de variables que están fuera de ser controladas y medidas como por ejemplo: tráfico vehicular, lluvias, daños mecánicos inesperados del vehículo, funcionamiento incorrecto de equipos de medición, descalibración de equipos, errores humanos, etc., por estos motivos los gráficos de control permiten determinar la confiabilidad del método de medición mediante el procesamiento y análisis de los datos obtenidos, los datos deben estar dentro de un rango de confianza que establecen la repetibilidad y reproducibilidad de las pruebas ejecutadas. En resumen, los gráficos de control permiten determinar cuando la variación en los datos supera los límites permitidos (los punto trazado en el gráfico caen fuera de los límites) por causa del proceso de medición desarrollado incorrectamente por alguna causa asignable, entonces el proceso está fuera de control en ese momento. Si todos los puntos de la gráfica se encuentran entre los dos límites de control se considera que el proceso está controlado.

Si las variables son de tipo cuantitativo (no cualitativo), se obtienen los gráficos de control por variables para medias \bar{X} y rangos R .

4.12.1.1 Variación y errores en las mediciones

En los Gráficos de Control se identifica lo más pronto posible la variación de los datos medidos. Las fuentes para la variación en las mediciones son las siguientes:

- Variación aleatoria (o normal), es inherente al proceso.
- Variación por causa asignable, causa una variación excesiva.

¹⁵⁰ CCICEV; Propuesta para la Fiscalización Técnica de los Centros de Revisión y Control Vehicular del Distrito Metropolitano de Quito durante el año 2009; Diciembre; 2008; Pág. 12.

4.12.1.1.1 Variación aleatoria

Se presenta porque, básicamente, no hay elementos ni mediciones idénticas. Las mediciones de un equipo pueden variar por efectos climáticos, ambientales, por situaciones fortuitas por ejemplo: tráfico vehicular por accidente, inexistencia de señales satelitales para GPS, funcionamiento de semáforos, inundaciones ocasionadas por lluvias, etc. Toda medición lleva consigo una variación inherente. Las diferencias naturales o errores aleatorios son de esperar pero no provocan problemas reales que impidan controlar el nivel de calidad de la medición.

4.12.1.1.2 Variación por causa asignable

Es aquella que sobrepasa la diferencia natural en las mediciones, obedece a una causa concreta que puede y debe ser corregida, por ejemplo debido a: equipos mal calibrados, funcionamiento defectuoso del equipo, errores humanos por distracción, procedimientos y equipos de medición inapropiados, mal funcionamiento de vehículo de pruebas y otros factores son aquellas causas o errores de causa asignable que producen variaciones mayores a las naturales.

Estadísticamente se conoce que para estimar el valor verdadero de una variable se debe calcular dos parámetros: una medida de tendencia central μ (promedio, mediana o moda) y una medida de dispersión σ (rango, varianza, desviación estándar).

Estos dos parámetros son importante en los procesos de medición, ya que las medidas de tendencia central sirven para estimar el valor central (o representativo) de las mediciones, las medidas de dispersión dan una idea de la variación entre una medición y otra, y como éstas se agrupan en torno al valor central.

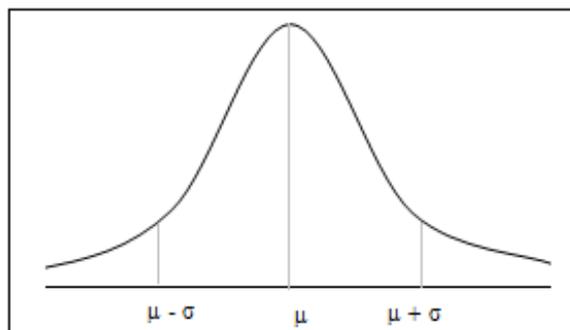


Figura 4-21: Gráfica de las medidas de tendencia central y dispersión (μ, σ).¹⁵¹

Para estimar estos parámetros (μ, σ) se utilizan las mediciones experimentales, los errores aleatorios y de causa asignable se pueden presentar en estas estimaciones. Si el proceso se encuentra bajo control, al realizar las estimaciones para el valor central y la dispersión obtendríamos algo parecido al siguiente gráfico:

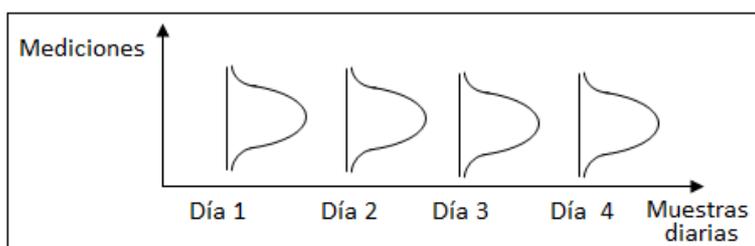


Figura 4-22: Control del proceso de medición.

En la Figura 4-22 se puede observar que cada uno de las muestras diarias presenta mediciones que en conjunto tienen la misma tendencia central (se agrupan en torno a un único valor central) y que la dispersión es parecida en cada una de las muestras. El proceso de medición está bajo control, esto no significa que todas las medidas son exactamente iguales, sino que “en conjunto” las variaciones que presentan las mediciones (errores de medición) son de tipo aleatorio.

Pero pueden existir casos en los cuales las variaciones presentadas en las mediciones se deben a factores externos, que podrían representarse en los siguientes gráficos:

¹⁵¹ CCICEV; Propuesta para la Fiscalización Técnica de los Centros de Revisión y Control Vehicular del Distrito Metropolitano de Quito durante el año 2009; Diciembre; 2008; Pág. 12.

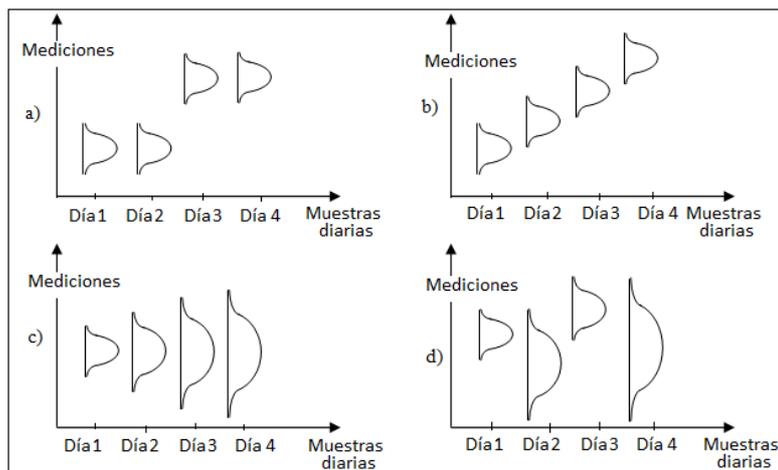


Figura 4-23: Control de mediciones que presentan influencia externa.¹⁵²

En la Figura 4-23 (a) se tiene que las mediciones para todos los días presenta la misma variación pero con diferente valor central, esto se conoce como efecto de choque y es un error de causa asignable. La Figura 4-23 (b) indica valores centrales de las mediciones que no cambian tan abruptamente y van tomando una tendencia hacia abajo o hacia arriba del valor nominal, se puede atribuir por ejemplo a una descalibración del equipo de medición (anализador de gases a bordo, dinamómetro, opacímetro). En la Figura 4-23 (c) se tiene que los valores centrales de las mediciones son iguales pero la dispersión de las mediciones cambia de un día a otro, esto se atribuye a un error de causa asignable. La Figura 4-23 (d) presenta el caso cuando los errores de causa asignable afectan tanto al valor central de las mediciones como a la dispersión de las mismas y se produce en general cuando las mediciones no se realizan cumpliendo con el procedimiento establecido.

4.12.1.2 Gráficos de control para Medias

Se toman “ k ” muestras de igual tamaño “ n ”, y en cada una de estas muestras se calcula el promedio \bar{X} y el rango R . Luego se calculan los valores:

- Media general ($\bar{\bar{X}}$), es decir, el promedio de los promedios muestrales:

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum \bar{X}}{k} \quad (\text{Ec. 4-4})$$

¹⁵² CCICEV; Propuesta para la Fiscalización Técnica de los Centros de Revisión y Control Vehicular del Distrito Metropolitano de Quito durante el año 2009; Diciembre; 2008; Pág. 12.

- Rango Medio (\bar{R}), o sea, el promedio de los rangos R:

$$\bar{R} = \frac{\sum R}{k} \quad (\text{Ec. 4-5})$$

Es habitual establecer los límites superior ($UCLx$) e inferior ($LCLx$) de los gráficos de control para medias, tres (3) desviaciones estándar por encima y por debajo del valor central \bar{X} . Esto es resultado de la regla empírica que establece que el 99.7% de todas las observaciones de una distribución normal estarán dentro de este intervalo. De esta manera se asegura que ninguna observación debería estar fuera de este intervalo, y si esto ocurre, es debido a una variación de causa asignable. De esta manera:

$$UCLx = \bar{X} + 3\sigma_x \quad (\text{Ec. 4-6})$$

$$LCLx = \bar{X} - 3\sigma_x \quad (\text{Ec. 4-7})$$

En la práctica, se estima el factor $3\sigma_x$ con el valor $A_2\bar{R}$, donde A_2 es una constante basada en el tamaño muestral "n" (Ver Anexo 10). Esta estimación se debe a varias razones: Para estimar la desviación poblacional de la distribución muestral σ_x es necesario conocer el valor de la varianza de las mediciones σ_2 , algo que regularmente es desconocido. Usualmente esta varianza es aproximada por la varianza muestral "s₂" con la siguiente fórmula:

$$s_2 = \frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n-1} \quad (\text{Ec. 4-8})$$

Esta varianza muestral s_2 se calcula para cada muestra y debe suponerse igual en cada una de ellas. Para esto es necesario realizar una prueba de hipótesis para contrastar esta igualdad de varianzas. El proceso es estadísticamente arduo y está orientado más a estimar el valor real del parámetro σ_x que a estudiar las variaciones inherentes de las mediciones. Por eso suele simplificarse estos cálculos y utilizar el factor $A_2\bar{R}$ donde se utiliza el valor \bar{R} que es el promedio de los rangos de cada muestra, y es un valor que está más acorde a los objetivos de estudio.

En base a lo antes expuesto, se obtiene lo siguiente:

$$UCLx = \bar{\bar{X}} + A_2 \quad (\text{Ec. 4-9})$$

$$LCLx = \bar{\bar{X}} - A_2 \quad (\text{Ec. 4-10})$$

Luego se realiza un gráfico en el cual se representa los límites superior e inferior ($UCLx$ y $LCLx$ respectivamente), así como el valor central de este intervalo ($\bar{\bar{X}}$). Este “intervalo” es el recorrido aceptable que deben tener los valores promedio muestrales. A continuación se grafican los promedios de cada muestra. Todos los promedios deben estar dentro de este intervalo experimental, si uno de estos sobrepasa a alguno de los límites, entonces podemos determinar claramente que en esa muestra existe un error de causa asignable que debe ser identificado y corregido.

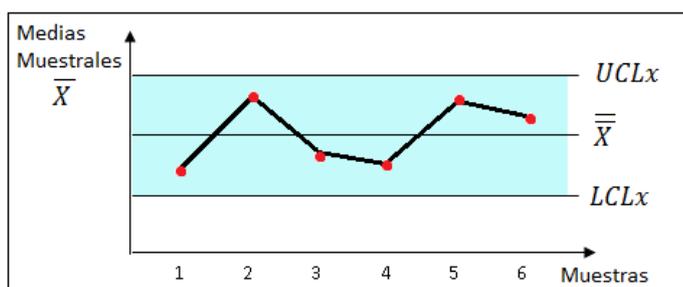


Figura 4-24: Ejemplo de gráfico de control para Medias.¹⁵³

4.12.1.3 Gráficos de control para Rangos

La construcción de este gráfico de control se basa en los mismos cálculos realizados en el gráfico anterior. Se calcula R para cada muestra y luego el rango promedio \bar{R} .

Igual que en el caso anterior, se deben establecer los límites superior (UCL_R) e inferior (LCL_R) en torno al nuevo valor central \bar{R} . Utilizando un razonamiento parecido al anterior, estos límites se establecen en 3 desviaciones estándar de \bar{R} (s_R) y estos factores son simplificados nuevamente haciendo un análisis similar al del gráfico de medias.

¹⁵³ CCICEV; Propuesta para la Fiscalización Técnica de los Centros de Revisión y Control Vehicular del Distrito Metropolitano de Quito durante el año 2009; Diciembre; 2008; Pág. 12.

De manera simplificada se tiene:

$$UCL_R = D_4 \bar{R} \quad (\text{Ec. 4-11})$$

$$LCL_R = D_3 \bar{R} \quad (\text{Ec. 4-12})$$

Los valores D_4 y D_3 son constante que depende de “ n ” y si obtienen de la misma tabla que A_2 (Ver Anexo 10).

Una vez calculados estos límites, se realiza el gráfico de control para R de manera idéntica que el caso anterior. Una vez representados los límites UCL_R , LCL_R , y el valor central \bar{R} , se grafican ahora los rangos R de cada muestra. Como el 99.7% de todas las observaciones deben estar dentro de este intervalo, si algún rango se encuentra fuera de este intervalo, entonces éste determina que en la muestra correspondiente existe un error de causa asignable.

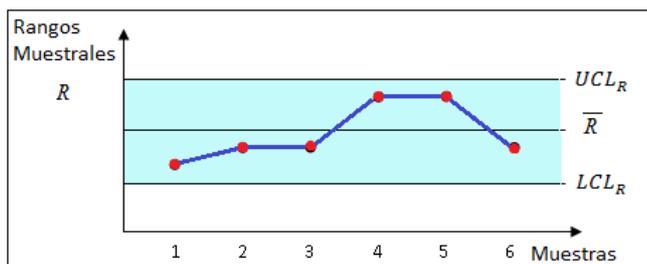


Figura 4-25: Ejemplo de gráfico de control para Rangos.¹⁵⁴

4.13 INSTALACIÓN DE LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN

4.13.1 VERIFICACIÓN DEL ESTADO MECÁNICO DEL VEHÍCULO DE PRUEBAS

Antes de proceder a instalar los equipos de medición y posteriormente ejecutar las pruebas con el vehículo Toyota Hilux 1998, se realizó la revisión visual y de funcionamiento del estado mecánico de los sistemas que forman el vehículo. Los sistemas que se verificaron son los siguientes:

- Sistemas de lubricación.
- Sistema de refrigeración.

¹⁵⁴ CCICEV; Propuesta para la Fiscalización Técnica de los Centros de Revisión y Control Vehicular del Distrito Metropolitano de Quito durante el año 2009; Diciembre; 2008; Pág. 12.

- Sistema de frenos.
- Sistema de suspensión.
- Sistema de transmisión.
- Estado de neumáticos.
- Estado del motor.
- Estado de luces.
- Estado de carrocería.

Se aplicó el criterio de calificación según su nivel de peligrosidad de cada sistema del vehículo de la siguiente manera:

Defecto Tipo 0

Los sistemas están en perfecto estado y no requiere observación con respecto a su funcionamiento, no involucran ningún riesgo para la seguridad de los ocupantes del vehículo, para las demás personas y para el ambiente.

Defectos Tipo I

Son aquellos que no involucran un riesgo inminente (moderado) para la seguridad de los ocupantes del vehículo, para las demás personas y para el ambiente, pero que podrían, posteriormente, convertirse en defectos Tipo II o Tipo III, debido al deterioro natural o provocado.

Defectos Tipo II

Son aquellos que implican un riesgo potencial (grave) para la seguridad de los ocupantes del vehículo, para las demás personas y para el ambiente, pero que podrían, posteriormente, convertirse en defectos Tipo III, debido al deterioro natural o provocado.

Defectos Tipo III

Son aquellos que representan un riesgo total (peligro) para la seguridad de los ocupantes del vehículo, para las demás personas y/o para el ambiente.

Para la calificación se tomó como referencia a los parámetros de calificación de inspección visual utilizados en los Centros de Revisión y Control Vehicular del DMQ.

La calificación detallada asignada a cada sistema se indica en el Anexo 9.

Según la calificación dada a cada sistema se concluyó que el estado mecánico del vehículo es aceptable y pudo ser utilizado en la ejecución de las pruebas sin ninguna condición.



Figura 4-26: Inspección visual y de funcionamiento del vehículo de pruebas Toyota Hilux 1998.

4.13.2 INSTALACIÓN DEL EQUIPO Y ACCESORIOS DE MEDICIÓN DE GASES A BORDO

Debido a las vibraciones generadas sobre el vehículo cuando está circulando en carretera, es necesario que los accesorios (sensores, sondas, mangueras, cables de energía, etc.) del equipo de medición a bordo sean instalados de forma ordenada y asegurados sobre el vehículo, para evitar que durante la ejecución de las pruebas se genere interrupción de señales de los sensores, pérdida de datos por desconexión inoportuna del equipo de medición, fugas de gases de escape por las sondas, etc.

4.13.2.1 Ubicación del equipo de Montana System OEM 2100 y baterías

- Antes de iniciar la instalación de los accesorios, ubicamos el equipo de medición a bordo y las baterías de alimentación de energía en un lugar estable dentro del vehículo.



Figura 4-27: Ubicación de equipo de medición a bordo y baterías dentro del vehículo de pruebas.

4.13.2.2 Instalación del sensor de revoluciones del motor

- Identificar la polea del cigüeñal del motor.
- Colocar cinta reflectiva sobre la polea del cigüeñal, esta cinta refleja la luz que emite el sensor de revoluciones, la luz reflejada es receptada por el mismo sensor y lo transforma en señales de revoluciones del motor.
- Instalar y sujetar el sensor de revoluciones del motor del equipo a bordo.



Figura 4-28: Instalación del sensor de revoluciones y cinta reflectiva sobre el cigüeñal del motor.

- Conectar el sensor por medio de un cable al sensor (módulo) array, este módulo alimenta de energía al sensor y a su vez recibe las señales del sensor para luego enviarlas al equipo de medición a bordo.



Figura 4-29: Conexión del sensor de revoluciones al módulo array del equipo de medición a bordo.

4.13.2.3 Instalación del sensor de temperatura del aire de admisión

- Instalar el sensor de temperatura del aire de admisión junto al filtro de aire del motor.



Figura 4-30: Instalación y conexión del sensor de temperatura del aire de admisión.

- Conectar el sensor por medio de un cable al módulo array, este módulo recibe las señales del sensor para luego enviarlas al equipo de medición a bordo.

4.13.2.4 Instalación del sensor de presión

Conectar el sensor de presión (atmosférica) al equipo de medición a bordo y fijarlo en el vehículo.



Figura 4-31: Instalación y conexión del sensor de presión del equipo de medición a bordo.

4.13.2.5 Instalación del GPS

- Conectar el terminal de alimentación de poder del GPS a la fuente de energía.
- Conectar el terminal de transmisión de señales del GPS al equipo de medición a bordo.



Figura 4-32: Conexión del GPS al equipo de medición a bordo Montana System OEM 2100.

4.13.2.6 Instalación de sondas y filtros

- Armar las sondas de escape conectándolas a las mangueras de muestreo.



Figura 4-33: Sondeas de escape y mangueras de muestreo del equipo a bordo.

- Armar las trampas de agua y de material particulado, verificar que los filtros de papel estén secos y en buen estado. Conectar a las mangueras de muestreo.
- Conectar las trampas de agua y de material particulado al equipo de medición a bordo.



Figura 4-34: Instalación de trampas de agua y de PM en el equipo de medición a bordo.

- Conectar las sondas de de muestreo a la salida del tubo de escape del vehículo de pruebas.



Figura 4-35: Instalación de sondas a la salida del tubo de escape del vehículo de pruebas.

4.13.2.7 Encendido y verificación de funcionamiento del equipo de medición

- Conectar el equipo de medición a bordo a las baterías, fijar el cable de poder del equipo de manera idónea para evitar que el equipo se apague bruscamente.
- Encender el equipo según el procedimiento del fabricante.



Figura 4-36: Orden de encendido del equipo de medición a bordo Montana System OEM 2100.

- Introducir la información del vehículo que solicita el equipo por medio de las ventanas de diálogo del software.
- Verificar que el equipo mida las emisiones de gases contaminantes y de PM.
- Verificar si el equipo recibe las señales del sensor de presión, sensor de temperatura del aire, señal del GPS, etc.



Figura 4-37: Encendido del equipo de medición a bordo Montana System OEM 2100.

4.13.3 ARMADO DE EQUIPO Y ACCESORIOS DE MEDICIÓN DE OPACIDAD ESTÁTICA (ACELERACIÓN LIBRE)

- Conectar el equipo a la fuente de energía.
- Conectar el mando a distancia al equipo de medición con el cable de transmisión de datos.
- Encender el opacímetro y verificar el funcionamiento del mismo.
- Programar el mando a distancia para realizar una prueba de funcionamiento de la impresora.
- Conectar la manguera de muestreo a la salida del tubo de escape del vehículo de pruebas.

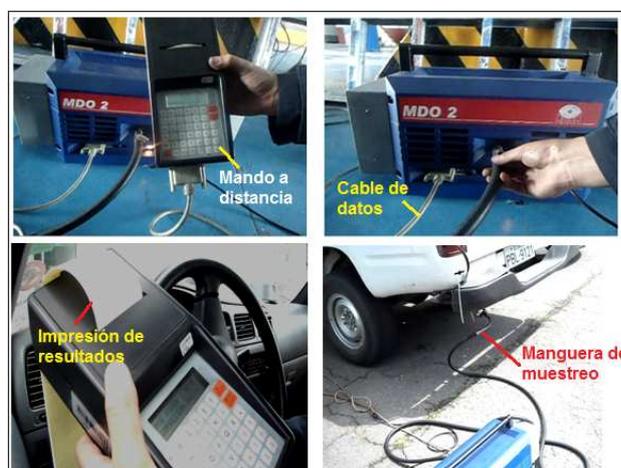


Figura 4-38: Instalación del opacímetro para la medición de opacidad estática (aceleración libre).

4.13.4 ARMADO DE EQUIPO Y ACCESORIOS DE MEDICIÓN DE OPACIDAD DINÁMICA

- Conectar el equipo a la fuente de energía.
- Conectar el equipo a la computadora del equipo LPS3000.

- Conectar la manguera de muestreo a la salida del tubo de escape del vehículo de pruebas.
- Encender el equipo y verificar el estado de conexión del opacímetro LON con el equipo LPS 3000.
- Abrir el software Eurosystem para controlar el funcionamiento del opacímetro LON.



Figura 4-39: Instalación del opacímetro para la medición de opacidad dinámica.

4.13.5 ENCENDIDO Y VERIFICACIÓN DE FUNCIONAMIENTO DEL DINAMÓMETRO DE RODILLOS

- Encender la computadora y encender el equipo dinamómetro de rodillos.
- Abrir el software LPS 3000 para controlar el funcionamiento del dinamómetro de rodillos.
- Verificar el estado de conexión del dinamómetro con el software Eurosystem para controlar el funcionamiento del opacímetro LON.

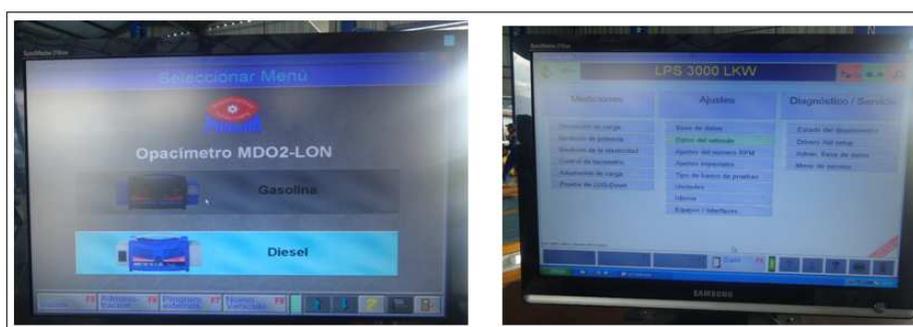


Figura 4-40: Ventanas de diálogo del dinamómetro de rodillos LPS 3000 y opacímetro LON.

- Ubicar el ventilador a una distancia de 1,5 metros desde la parte frontal del vehículo.



Figura 4-41: Verificación de funcionamiento del dinamómetro de rodillos LPS 3000 y opacímetro LON.

4.14 PREPARACIÓN DEL DIESEL MICROEMULSIONADO CON AGUA

Para el desarrollo de las pruebas se preparó tres tipos de combustibles diesel microemulsionados con diferentes porcentajes de agua. Los elementos que se utilizaron para elaborar el combustible microemulsionado son los siguientes:

- Combustible diesel Premium.
- Componente emulsificador.
- Agua destilada.
- Recipientes y medidores de volumen.



Figura 4-42: Componentes para obtener el diesel microemulsionado con agua.

Las microemulsiones preparadas son las siguientes:

- Diesel Premium microemulsionado con 3%V de agua.
- Diesel Premium microemulsionado con 5%V de agua.

- Diesel Premium microemulsionado con 8%V de agua.

Para obtener el diesel microemulsionado se sigue el siguiente procedimiento:

- En un recipiente colocar el combustible diesel Premium, el porcentaje en volumen corresponde al indicado en la Tabla 4-16.



Figura 4-43: Volumen de diesel Premium.

- Medir la cantidad de emulsificador en un recipiente graduado, el porcentaje en volumen corresponde a la indicada en la Tabla 4-16.



Figura 4-44: Volumen de componente emulsificador.

- Verter el componente emulsificador en el diesel Premium, mezclar los dos componentes durante 2 minutos aproximadamente.



Figura 4-45: Vertido de componente emulsificador en diesel Premium.

- Medir la cantidad de agua destilada en un recipiente graduado, el porcentaje en volumen corresponde a la indicada en la Tabla 4-16.



Figura 4-46: Volumen de agua destilada.

- Verter el agua destilada en la mezcla de diesel Premium y emulsificador, mezclar durante un tiempo aproximado de 2 minutos.



Figura 4-47: Vertido de agua destilada en diesel Premium.

- Dejar reposar por 5 minutos para que se establezca la microemulsión y desaparezca la espuma formada durante la agitación producida para mezclar los componentes.
- Medir el volumen del combustible microemulsionado para verificar si se obtuvo la cantidad deseada.



Figura 4-48: Diesel Premium microemulsionado con agua (8% V de agua).

Para ejecutar las pruebas se prepararon diariamente entre 2 a 5 galones de combustible diesel microemulsionado, esta cantidad dependió del tipo de pruebas a realizar y de la distancia total a recorrer con el vehículo de pruebas.

En la Tabla 4-16 se indica las proporciones de cada compuesto para obtener un (1) galón de diesel microemulsionado con agua.

Tabla 4-16: Proporción de componentes para obtener un galón de diesel microemulsionado con agua.

Tipo de microemulsión	Componente	Porcentaje (%)	Volumen (litro)	Volumen (galón)
DIESEL PREMIUM MICROEMULSIONADO CON 3%V DE AGUA	Diesel Premium	96,5 %	3,648	0,965
	Agua destilada	3,0 %	0,113	0,030
	Emulsificador	0,5 %	0,019	0,005
	Volumen total	100,0 %	3,780	1,000
DIESEL PREMIUM MICROEMULSIONADO CON 5%V DE AGUA	Diesel Premium	94,0 %	3,553	0,940
	Agua destilada	5,0 %	0,189	0,050
	Emulsificador	1,0 %	0,038	0,010
	Volumen total	100,0 %	3,780	1,000
DIESEL PREMIUM MICROEMULSIONADO CON 8%V DE AGUA	Diesel Premium	90,5 %	3,421	0,905
	Agua destilada	8,0 %	0,302	0,080
	Emulsificador	1,5 %	0,057	0,015
	Volumen total	100,0 %	3,780	1,000

En la Figura 4-49, se observa el color que tiene cada una de las microemulsiones preparadas para ejecutar las pruebas.



Figura 4-49: Color del diesel microemulsionado con diferentes porcentajes (%V) de agua. ¹⁵⁵

4.15 EJECUCIÓN DE PRUEBAS

Los factores más importante que permitieron determinar el número de pruebas de medición a ser ejecutadas diariamente son: los costos de alquiler de los equipos de medición y del vehículo de pruebas, costo de consumibles (diesel y aditivo emulsificador), autonomía del tiempo de medición de los equipos, y del número de recorridos (vueltas) que pueden realizarse por día con el vehículo de pruebas, éste último factor depende del tiempo que se necesita para recorrer 30 km (distancia de la ruta de pruebas) desde el CRCV Guamaní hasta el C.C. El Condado (vuelta de ida) y viceversa (vuelta de retorno). Ver los costos en la Tabla 4-11.

Las pruebas se ejecutaron aplicando los procedimientos que se indican en el ítem 4.9 – procedimiento general de pruebas del presente capítulo.

Se efectuaron 12 pruebas (2 mediciones por prueba) en ruta utilizando el equipo de medición a bordo Montana System OEM 2100. Las pruebas fueron las siguientes:

- Tres (3) pruebas utilizando diesel Premium.
- Tres (3) pruebas utilizando diesel Premium microemulsionado con 3%V de agua.
- Tres (3) pruebas utilizando diesel Premium microemulsionado con 5%V de agua.
- Tres (3) pruebas utilizando diesel Premium microemulsionado con 8%V de agua.

Se utilizó el ciclo de conducción determinado en el ítem (4.7) del presente capítulo, las horas de circulación fueron escogidas de acuerdo a lo indicado en el ítem (4.8.4) del presente capítulo, la razón principal es que exista menor presencia de vehículos circulando en las avenidas de la ciudad de Quito, y mientras el tráfico lo permita mantener la mayor parte del recorrido las velocidades de circulación entre 19,8 km/h a 49,6 km/h, las horas son 9h30 am, 12h00 pm y 15:30 pm. Se aplicó las condiciones de manejo mostradas en el ítem (4.8.3). Existió ausencia de lluvias según las condiciones ambientales sugeridas en el ítem (4.8.2) del presente capítulo.

Durante el recorrido, el equipo registró los valores de las emisiones de gases contaminantes del motor, emisión de material particulado, consumo de combustible, distancia recorrida, altitud respecto al nivel del mar, tiempo de la prueba, velocidad de recorrido, revoluciones de giro por minuto del motor, presión atmosférica y temperatura del ambiente.

Se efectuaron 20 pruebas de medición de potencia y torque utilizando el dinamómetro de rodillos LPS 3000. Las pruebas fueron las siguientes:

- Cinco (5) pruebas utilizando diesel Premium.
- Cinco (5) pruebas utilizando diesel Premium microemulsionado con 3%V de agua.
- Cinco (5) pruebas utilizando diesel Premium microemulsionado con 5%V de agua.
- Cinco (5) pruebas utilizando diesel Premium microemulsionado con 8%V de agua.

Se efectuaron 20 pruebas de medición de opacidad dinámica utilizando el opacímetro MDO2 LON y el dinamómetro de rodillos LPS 3000. Las pruebas fueron las siguientes:

- Cinco (5) pruebas utilizando diesel Premium.
- Cinco (5) pruebas utilizando diesel Premium microemulsionado con 3%V de agua.
- Cinco (5) pruebas utilizando diesel Premium microemulsionado con 5%V de agua.
- Cinco (5) pruebas utilizando diesel Premium microemulsionado con 8%V de agua.

Se efectuaron 20 pruebas de medición de opacidad por el método de aceleración libre utilizando el opacímetro MDO2. Las pruebas fueron las siguientes:

- Cinco (5) pruebas utilizando diesel Premium.
- Cinco (5) pruebas utilizando diesel Premium microemulsionado con 3%V de agua.
- Cinco (5) pruebas utilizando diesel Premium microemulsionado con 5%V de agua.
- Cinco (5) pruebas utilizando diesel Premium microemulsionado con 8%V de agua.

4.15.1 PROCESAMIENTO DE DATOS

Los datos de emisiones, velocidad, tiempos, distancias de recorrido, etc. de las pruebas en ruta se grabaron por tramos de ruta (Guamaní – La Villaflora, La Villaflora – Hospital Metropolitano, Hospital Metropolitano – El Labrador, El Labrador – El Condado). La información fue grabada en una memoria externa acoplada al equipo Montana System OEM 2100 para su procesamiento y análisis respectivo.

En el Anexo 11 se indica los datos obtenidos en las pruebas de ruta.

Los datos de las pruebas de opacidad dinámica, potencia y torque ejecutados en el dinamómetro de rodillos LPS 3000 y con el opacímetro LON, fueron almacenados en la memoria de la computadora del dinamómetro y luego grabados en una memoria externa para su procesamiento y análisis respectivo.

En los Anexos 13 y 14 se indica los datos de: opacidad dinámica, potencia y torque medidos al motor del vehículo de pruebas, utilizando diesel Premium y diesel microemulsionado con agua.

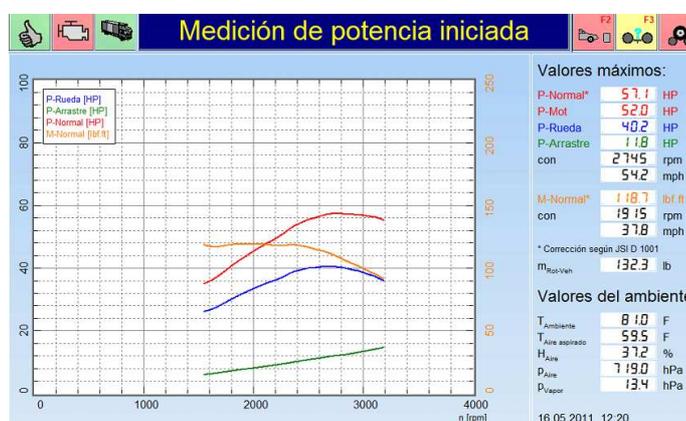


Figura 4-50: Resultados de una prueba de potencia y torque del motor Toyota Hilux 1998 usando diesel microemulsionado con 5% V de agua.¹⁵⁶

Los datos de opacidad estática (método de medición aceleración libre) fueron impresos, posteriormente procesados y analizados. En la figura 4-51, se indica un ejemplo de los datos impresos en las pruebas ejecutadas con diesel Premium (a) y diesel microemulsionado con agua.

¹⁵⁶ Elaborado por: Ing. Alex Guzmán.



Figura 4-51: Resultados de varias pruebas de opacidad método de aceleración libre: (a) con diesel Premium, diesel microemulsionado con 3% V de agua (b), 5% V de agua (c) y 8% V de agua (d).¹⁵⁷

En el Anexo 15 se indica los datos obtenidos en las pruebas de opacidad aplicando el método de aceleración libre.

Al finalizar las pruebas con diesel Premium y con diesel microemulsionado con agua, se realizó la toma de muestras de aceite lubricante del motor para el análisis respectivo. Para determinar el consumo de combustible en función de la distancia recorrida, se realizó la diferencia entre el volumen inicial de combustible al iniciar las pruebas y el volumen del combustible sobrante al finalizar las pruebas. Para este propósito se realizó diariamente la descarga de combustible del tanque del vehículo de pruebas.



Figura 4-52: Descarga de combustible para determinar el consumo de combustible.

¹⁵⁷ Elaborado por: Ing. Alex Guzmán.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS

5.1 RESULTADOS DE POTENCIA Y TORQUE DEL MOTOR

Para la ejecución de las pruebas se utilizó el vehículo Toyota Hilux año de fabricación 1998, motor de 2778 cc., las especificaciones adicionales del vehículo de pruebas se indican en la Tabla 4-15 del capítulo 4.

Para la ejecución de cada una de las pruebas de medición de emisiones de gases contaminantes, de potencia y torque del motor, se utilizó el mismo de combustible diesel Premium. Además este combustible se lo utilizó para obtener el diesel microemulsionado con agua en las diferentes proporciones (3, 5 y 8%V de agua).

5.1.1 RESULTADOS DE POTENCIA Y TORQUE DEL MOTOR FUNCIONANDO CON DIESEL PREMIUM

En la Tabla 5-1 se indica cinco valores máximos de las pruebas de potencia y torque del motor realizadas en el dinamómetro de rodillos MAHA LPS3000, y utilizando para el funcionamiento del motor combustible diesel Premium.

Tabla 5-1: Valores de potencia del motor funcionando con diesel Premium.

Diesel Premium					
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5
POTENCIA MÁXIMA (HP)	53,23	55,70	57,02	58,53	59,05
REVOLUCIONES POTENCIA MÁX. (RPM)	3020	2935	2940	2930	2920
TORQUE MÁXIMO (Nm)	146,70	165,26	177,96	179,37	189,56
REVOLUCIONES TORQUE MÁX. (RPM)	2640	2320	2190	2230	2135

En el Gráfico 5-1, se indica las curvas de potencia máxima del motor de las cinco pruebas realizadas en el dinamómetro de rodillos MAHA LPS3000.

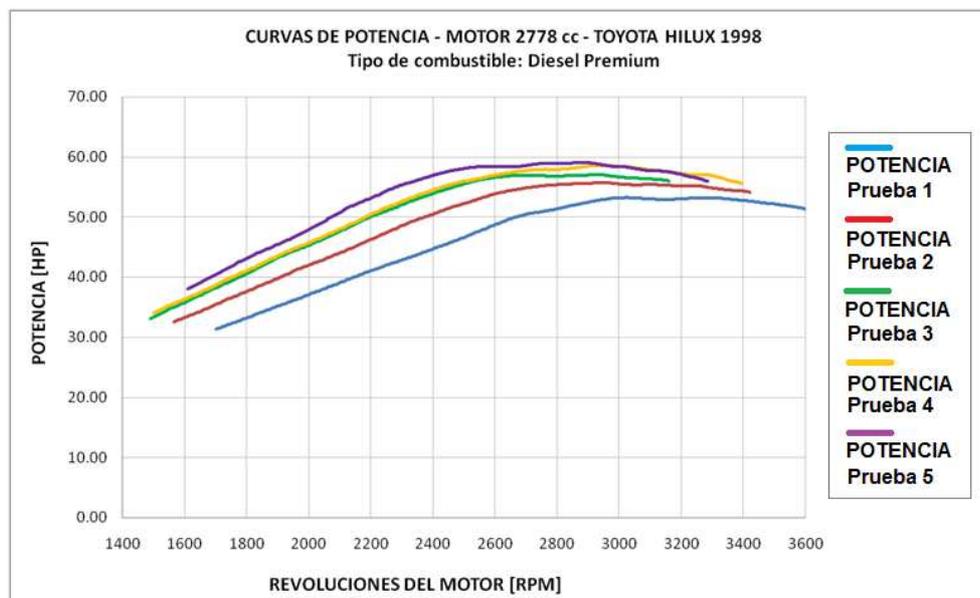


Gráfico 5-1: Curvas de 5 pruebas de potencia del motor funcionando con diesel Premium.¹⁵⁸

El valor promedio de potencia máxima (potencia base) del motor funcionando con diesel Premium es 56,62 HP (42,22 kW) a 2855 rpm.

En el Gráfico 5-2, se indica las curvas de torque máximo del motor de las cinco pruebas realizadas en el dinamómetro de rodillos MAHA LPS3000.

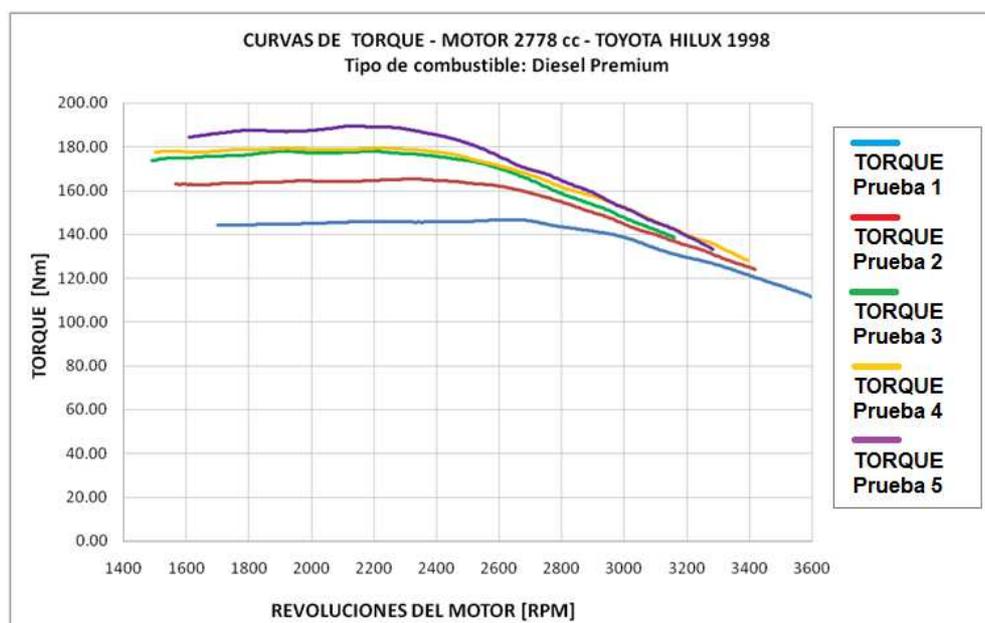


Gráfico 5-2: Curvas de 5 pruebas de torque del motor funcionando con diesel Premium.¹⁵⁹

¹⁵⁸ Elaborado por: Ing. Alex Guzmán

¹⁵⁹ Elaborado por: Ing. Alex Guzmán

El valor promedio de torque máximo del motor funcionando con diesel Premium es 171,44 Nm (126,44 lbf-ft) a 2155 rpm.

5.1.2 RESULTADOS DE POTENCIA Y TORQUE DEL MOTOR FUNCIONANDO CON DIESEL PREMIUM MICROEMULSIONADO CON 3%V DE AGUA

En la Tabla 5-2 se indica cinco valores máximos de las pruebas de potencia y torque del motor realizadas en el dinamómetro de rodillos MAHA LPS3000, y utilizando para el funcionamiento del motor diesel Premium microemulsionado con 3%V de agua.

Tabla 5-2: Valores de potencia del motor funcionando con diesel Premium microemulsionado con 3%V de agua.

Diesel microemulsionado con 3%V de agua					
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5
POTENCIA (HP)	56,02	54,26	57,61	58,36	59,08
REVOLUCIONES POTENCIA MÁX. (RPM)	2590	2680	2680	2735	2790
TORQUE (Nm)	175,35	173,04	183,72	185,94	190,53
REVOLUCIONES TORQUE MÁX. (RPM)	1855	1950	2010	1790	2125

En el Gráfico 5-3, se indica las curvas de potencia máxima del motor de las cinco pruebas realizadas en el dinamómetro de rodillos MAHA LPS3000.

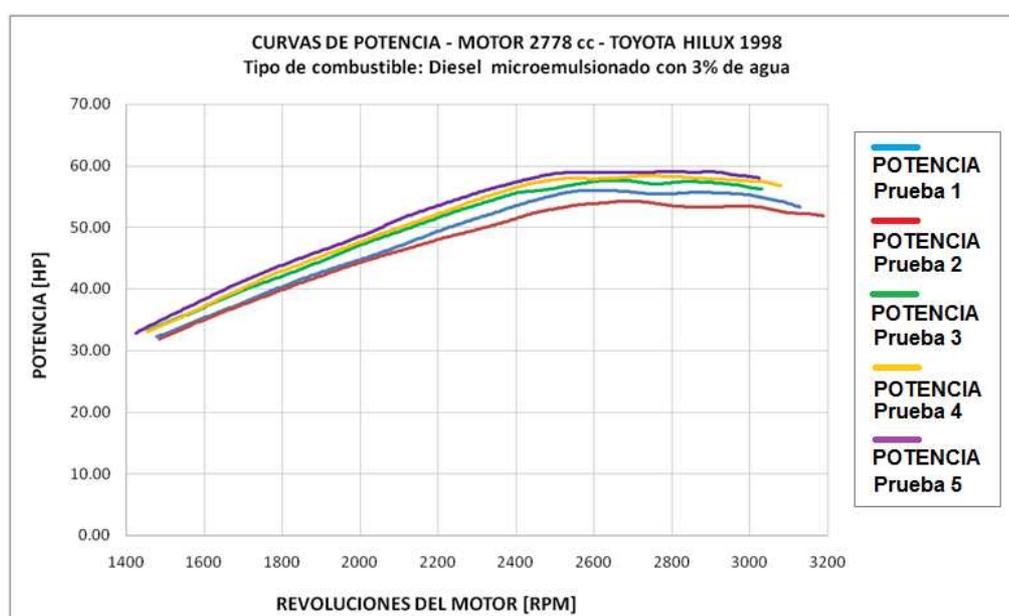


Gráfico 5-3: Curvas de 5 pruebas de potencia del motor funcionando con diesel Premium microemulsionado con 3%V de agua.¹⁶⁰

¹⁶⁰ Elaborado por: Ing. Alex Guzmán

El valor promedio de potencia máxima del motor funcionando con diesel Premium microemulsionado con 3%V de agua es 56,93 HP (42,45 kW) a 2620 rpm.

En el Gráfico 5-4, se indica las curvas de torque máximo del motor de las cinco pruebas realizadas en el dinamómetro de rodillos MAHA LPS3000.

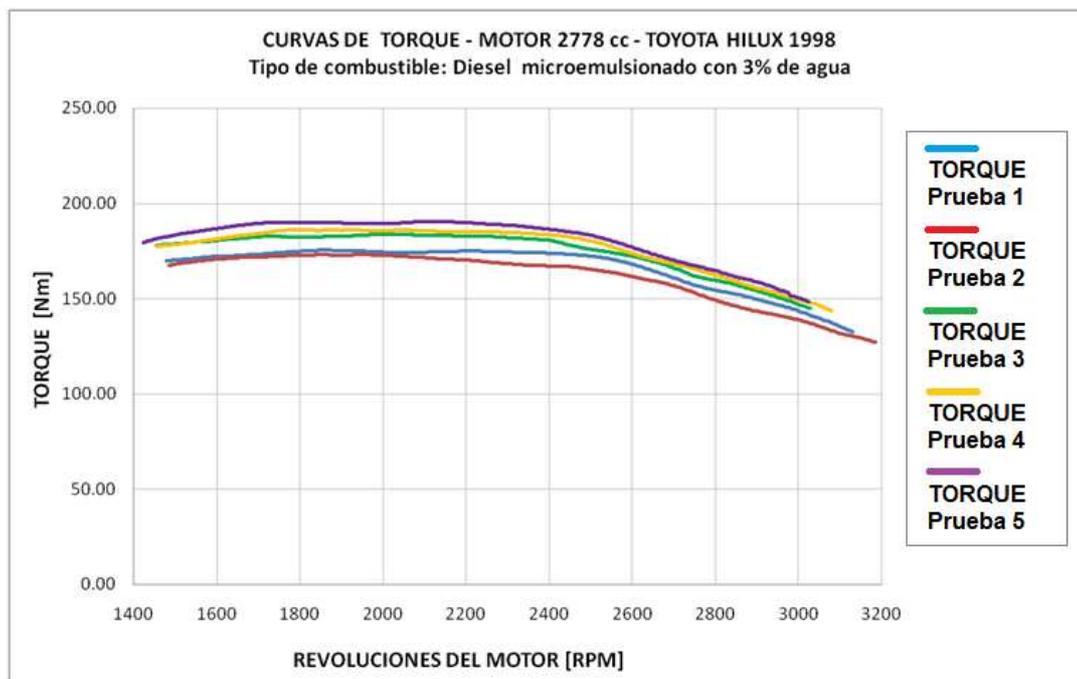


Gráfico 5-4: Curvas de 5 pruebas de torque del motor funcionando con diesel Premium microemulsionado con 3%V de agua.¹⁶¹

El valor promedio de torque máximo del motor funcionando con diesel Premium microemulsionado con 3%V de agua es 181,31 Nm (133,72 lbf-ft) a 1795 rpm.

5.1.3 RESULTADOS DE POTENCIA Y TORQUE DEL MOTOR FUNCIONANDO CON DIESEL PREMIUM MICROEMULSIONADO CON 5%V DE AGUA

En la Tabla 5-3 se indica cinco valores máximos de las pruebas de potencia y torque del motor realizadas en el dinamómetro de rodillos MAHA LPS3000, y utilizando para el funcionamiento del motor diesel Premium microemulsionado con 5%V de agua.

¹⁶¹ Elaborado por: Ing. Alex Guzmán

Tabla 5-3: Valores de potencia del motor funcionando con diesel Premium microemulsionado con 5%V de agua.

Diesel microemulsionado con 5%V de agua					
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5
POTENCIA (HP)	51,99	54,14	56,05	57,06	57,22
REVOLUCIONES POTENCIA MÁX. (RPM)	2745	2775	2790	2685	2570
TORQUE (Nm)	160,91	167,85	172,83	179,41	180,12
REVOLUCIONES TORQUE MÁX. (RPM)	1915	2025	1910	1825	2085

En el Gráfico 5-5, se indica las curvas de potencia máxima del motor de las cinco pruebas realizadas en el dinamómetro de rodillos MAHA LPS3000.

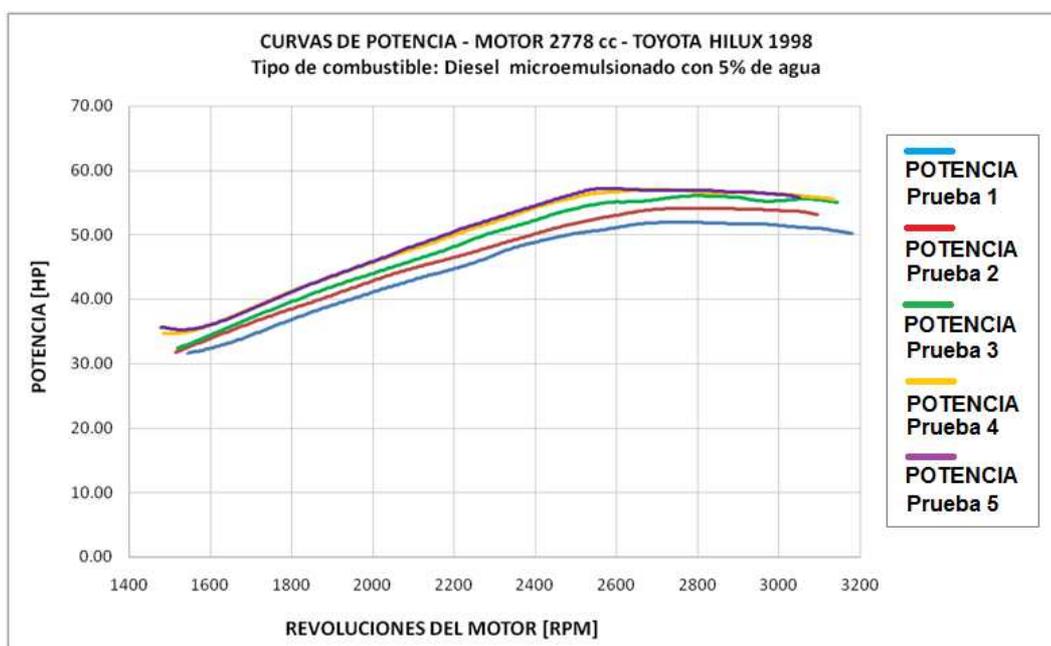


Gráfico 5-5: Curvas de 5 pruebas de potencia del motor funcionando con diesel Premium microemulsionado con 5%V de agua.¹⁶²

El valor promedio de potencia máxima del motor funcionando con diesel Premium microemulsionado con 5%V de agua es 55,18 HP (41,14 kW) a 2720 rpm.

En el Gráfico 5-6, se indica las curvas de torque máximo del motor de las cinco pruebas realizadas en el dinamómetro de rodillos MAHA LPS3000.

¹⁶² Elaborado por: Ing. Alex Guzmán

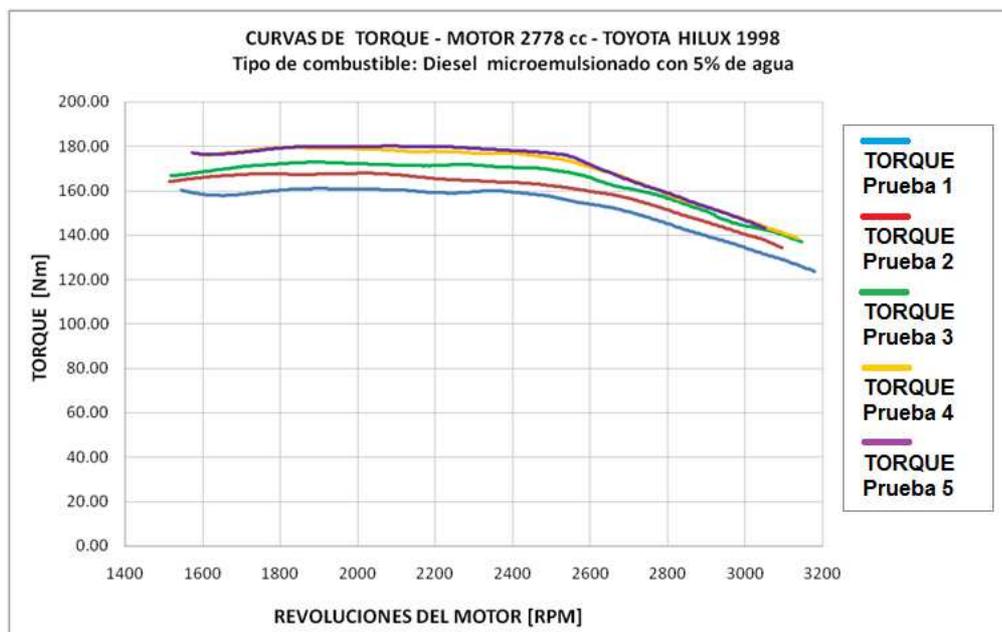


Gráfico 5-6: Curvas de 5 pruebas de torque del motor funcionando con diesel Premium microemulsionado con 5%V de agua.¹⁶³

El valor promedio de torque máximo del motor funcionando con diesel Premium microemulsionado con 5%V de agua es 172,03 Nm (126,88 lbf-ft) a 1865 rpm.

5.1.4 RESULTADOS DE POTENCIA Y TORQUE DEL MOTOR FUNCIONANDO CON DIESEL PREMIUM MICROEMULSIONADO CON 8%V DE AGUA

En la Tabla 5-4 se indica cinco valores máximos de las pruebas de potencia y torque del motor realizadas en el dinamómetro de rodillos MAHA LPS3000, y utilizando para el funcionamiento del motor diesel Premium microemulsionado con 8%V de agua.

Tabla 5-4: Valores de potencia del motor funcionando con diesel Premium microemulsionado con 8%V de agua.

Diesel microemulsionado con 8%V de agua					
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5
POTENCIA (HP)	52,63	48,26	52,51	50,33	49,42
REVOLUCIONES POTENCIA MÁX. (RPM)	3000	2960	3035	2895	2895
TORQUE (Nm)	146,61	140,65	151,94	154,15	154,34
REVOLUCIONES TORQUE MÁX. (RPM)	2120	2060	2980	2050	2005

En el Gráfico 5-7, se indica las curvas de potencia máxima del motor de las cinco pruebas realizadas en el dinamómetro de rodillos MAHA LPS3000.

¹⁶³ Elaborado por: Ing. Alex Guzmán

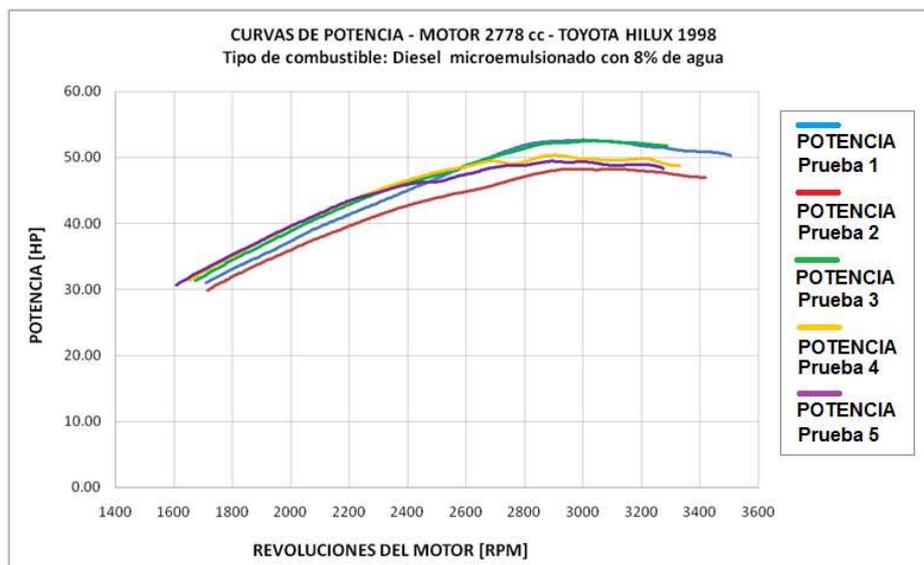


Gráfico 5-7: Curvas de 5 pruebas de potencia del motor funcionando con diesel Premium microemulsionado con 8%V de agua.¹⁶⁴

El valor promedio de potencia máxima del motor funcionando con diesel Premium microemulsionado con 8%V de agua es 50,55 HP (37,69 kW) a 2890 rpm.

En el Gráfico 5-8, se indica las curvas de torque máximo del motor de las cinco pruebas realizadas en el dinamómetro de rodillos MAHA LPS3000.

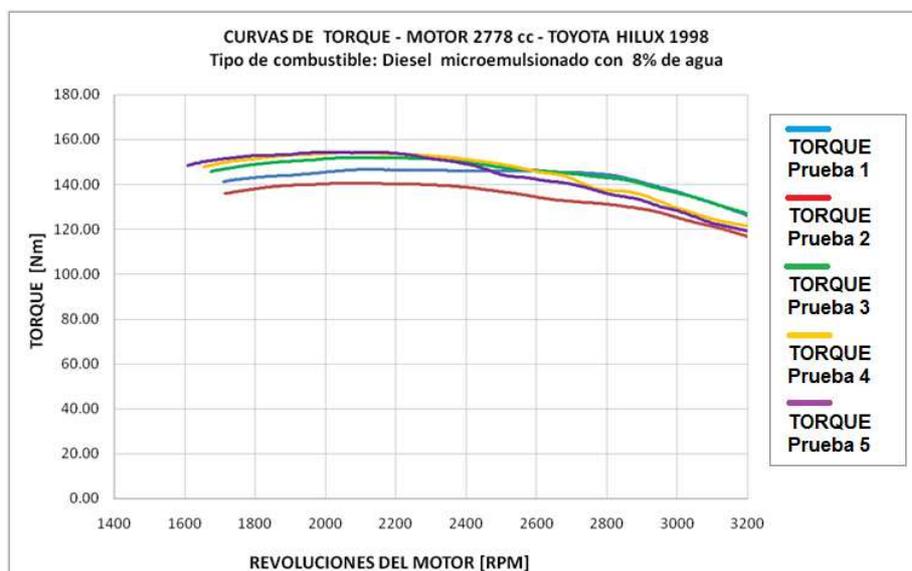


Gráfico 5-8: Curvas de 5 pruebas de torque del motor funcionando con diesel Premium microemulsionado con 8%V de agua.¹⁶⁵

El valor promedio de torque máximo del motor funcionando con diesel Premium microemulsionado con 8%V de agua es 149,50 Nm (110,26 lbf-ft) a 2000 rpm.

¹⁶⁴ Elaborado por: Ing. Alex Guzmán

¹⁶⁵ Elaborado por: Ing. Alex Guzmán

5.1.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE POTENCIA Y TORQUE

En el Gráfico 5-9 se indica las curvas de potencia promedio máxima, medida al motor Toyota Hilux utilizando para el funcionamiento diesel Premium y diesel Premium microemulsionado con agua.

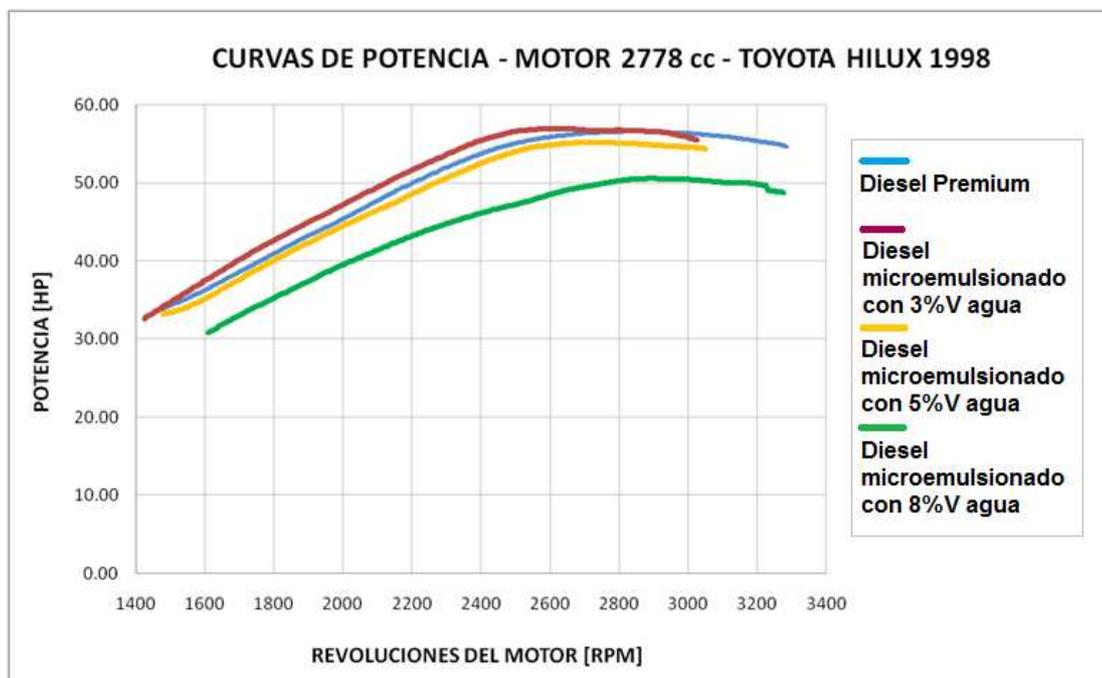


Gráfico 5-9: Curvas de potencia del motor Toyota Hilux.¹⁶⁶

El valor de potencia base del motor utilizando diesel Premium es 56,62HP a 2855rpm.

La potencia del motor que funciona con diesel Premium microemulsionado con 3%V de agua (56,93HP a 2865rpm) en la práctica es igual al valor de potencia base del motor al funcionar con diesel Premium (56,62HP). Teóricamente existe un incremento de 0,31HP equivalente a 0,5% en relación al valor de potencia base.

La potencia del motor que funciona con diesel Premium microemulsionado con 5%V de agua (55,18HP a 2720 rpm), disminuye 1,44HP al valor de potencia base del motor al funcionar con diesel Premium (56,62HP). La disminución de la potencia es 2,5%.

¹⁶⁶ Elaborado por: Ing. Alex Guzmán

La potencia del motor que funciona con diesel Premium microemulsionado con 8%V de agua (50,55HP a 2890 rpm), disminuye 6,07HP al valor de potencia base del motor al funcionar con diesel Premium (56,62HP). La disminución de la potencia es 10,7%.

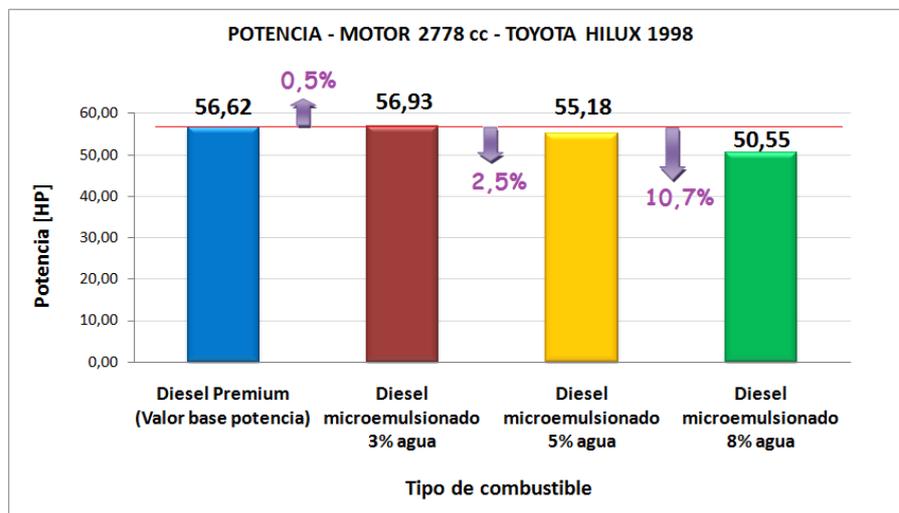


Gráfico 5-10: Potencia del motor ciclo diesel del vehículo Toyota Hilux.¹⁶⁷

En el Gráfico 5-11 se indica las curvas de torque promedio máximo, medida al motor Toyota Hilux utilizando para el funcionamiento diesel Premium y diesel Premium microemulsionado con agua.

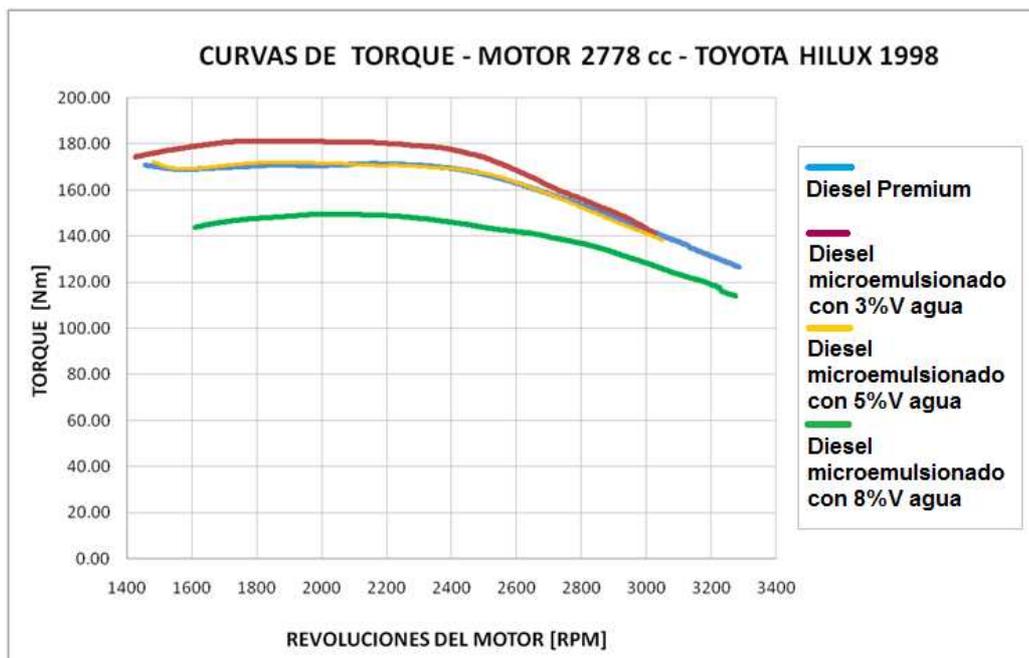


Gráfico 5-11: Curvas de torque del motor Toyota Hilux.¹⁶⁸

¹⁶⁷ Elaborado por: Ing. Alex Guzmán

¹⁶⁸ Elaborado por: Ing. Alex Guzmán

El valor de torque base del motor utilizando diesel Premium es 171,44Nm a 2155rpm.

El torque del motor que funciona con diesel Premium microemulsionado con 3%V de agua (181,31Nm a 1795 rpm), aumenta en 9,87Nm al valor de torque base del motor al funcionar con diesel Premium (171,44Nm). El aumento de torque es 5,8%.

El torque del motor que funciona con diesel Premium microemulsionado con 5%V de agua (172,03Nm a 1865 rpm), aumenta en 0,59Nm al valor de torque base del motor al funcionar con diesel Premium (171,44Nm). El aumento de torque es 0,3%.

El torque del motor que funciona con diesel Premium microemulsionado con 8%V de agua (149,50Nm a 2000 rpm), disminuye 21,94Nm al valor de torque base del motor al funcionar con diesel Premium (171,44Nm). La disminución de la potencia es 12,8%.

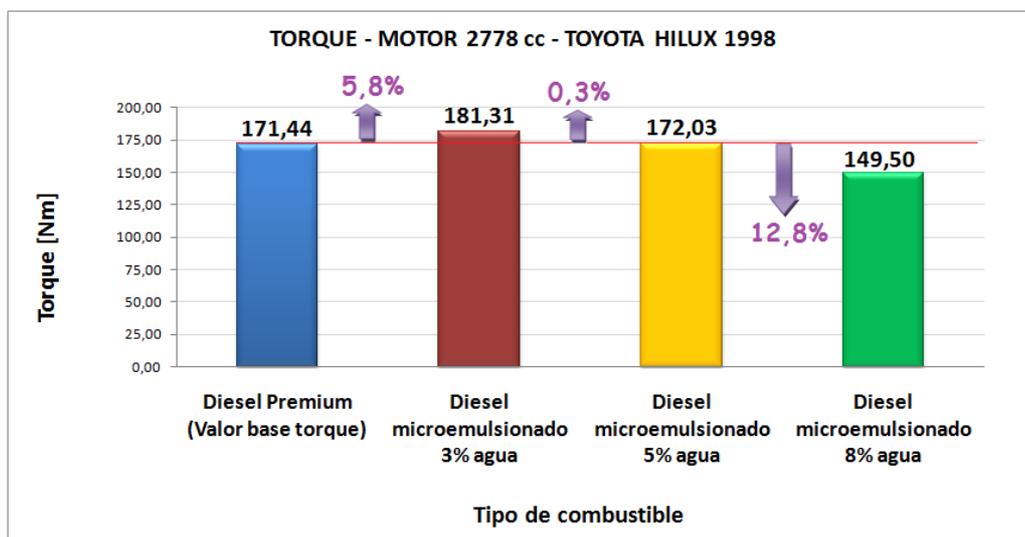


Gráfico 5-12: Torque del motor ciclo diesel del vehículo Toyota Hilux.¹⁶⁹

5.2 RESULTADOS DE OPACIDAD DINÁMICA

En el país no existe una Norma INEN que indique los límites permitidos de opacidad de los motores ciclo diesel, cuya prueba de medición sea ejecutada

¹⁶⁹ Elaborado por: Ing. Alex Guzmán

mediante el método dinámico en un banco de pruebas (dinamómetro). Por tal motivo, para comparar los valores medidos de opacidad dinámica, se utiliza los límites de emisiones de la Norma NTE INEN 2207 (Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de Diesel), cuya prueba es ejecutada mediante el método de aceleración libre. La comparación permite obtener conclusiones relacionadas al estado del motor en lo referente al color del humo emitido. Prácticamente no se debe hacer la comparación con los valores de la Norma indicada, debido a que el método de medición de aceleración libre (prueba estática) es diferente al método de medición de opacidad dinámica.

El valor máximo de opacidad según la Norma NTE INEN 2207 es 60% para vehículos fabricados antes del año 1999.

El valor base de opacidad dinámica del motor utilizando diesel Premium es 20,3%. El valor está bajo el límite permitido por la Norma.

El valor de opacidad dinámica del motor que funciona con diesel Premium microemulsionado con 3%V de agua es 14,8%. El valor de opacidad está bajo el límite permitido por la Norma.

El valor de opacidad dinámica del motor que funciona con diesel Premium microemulsionado con 5%V de agua es 13,4%. El valor está bajo el límite permitido por la Norma.

El valor de opacidad dinámica del motor que funciona con diesel Premium microemulsionado con 8%V de agua es 15,2%. El valor está bajo el límite permitido por la Norma.

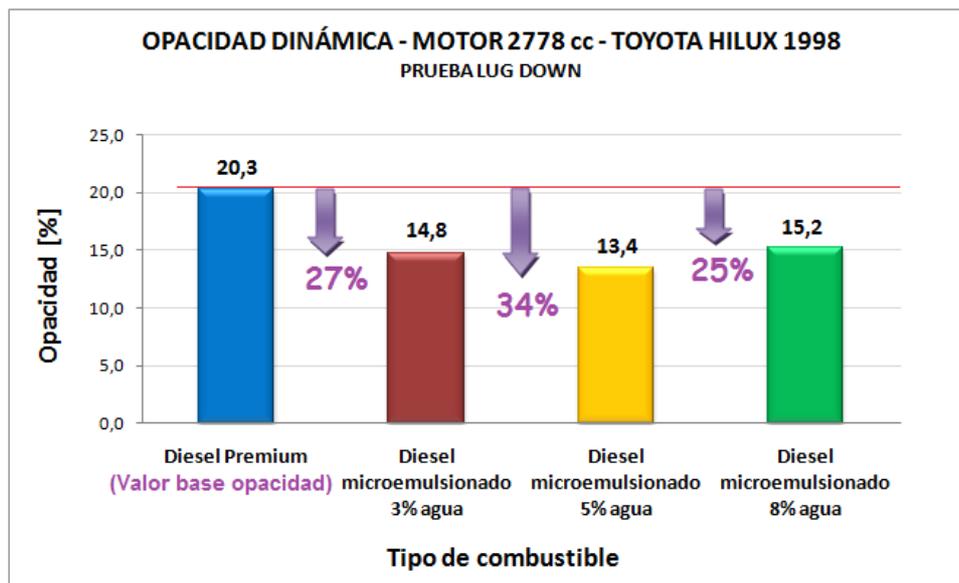


Gráfico 5-13: Opacidad dinámica del motor ciclo diesel del vehículo Toyota Hilux (prueba Lug Down).¹⁷⁰

El valor de opacidad dinámica del motor que funciona con diesel Premium microemulsionado con 3%V de agua, disminuye 27% en relación al valor base de opacidad dinámica.

El valor de opacidad dinámica del motor que funciona con diesel Premium microemulsionado con 5%V de agua, disminuye 34% en relación al valor base de opacidad dinámica.

El valor de opacidad dinámica del motor que funciona con diesel Premium microemulsionado con 8%V de agua, disminuye 25% en relación al valor base de opacidad dinámica.

5.3 RESULTADOS DE OPACIDAD MÉTODO DE ACELERACIÓN LIBRE

El valor máximo de opacidad según la Norma NTE INEN 2207 (Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de Diesel) es 60% para vehículos fabricados antes del año 1999.

¹⁷⁰ Elaborado por: Ing. Alex Guzmán

El valor base de opacidad del motor utilizando diesel Premium es 27,6%. El valor está bajo el límite permitido por la Norma.

El valor de opacidad del motor que funciona con diesel Premium microemulsionado con 3%V de agua es 14,2%. El valor de opacidad está bajo el límite permitido por la Norma.

El valor de opacidad del motor que funciona con diesel Premium microemulsionado con 5%V de agua es 13,8%. El valor está bajo el límite permitido por la Norma.

El valor de opacidad del motor que funciona con diesel Premium microemulsionado con 8%V de agua es 9%. El valor está bajo el límite permitido por la Norma.

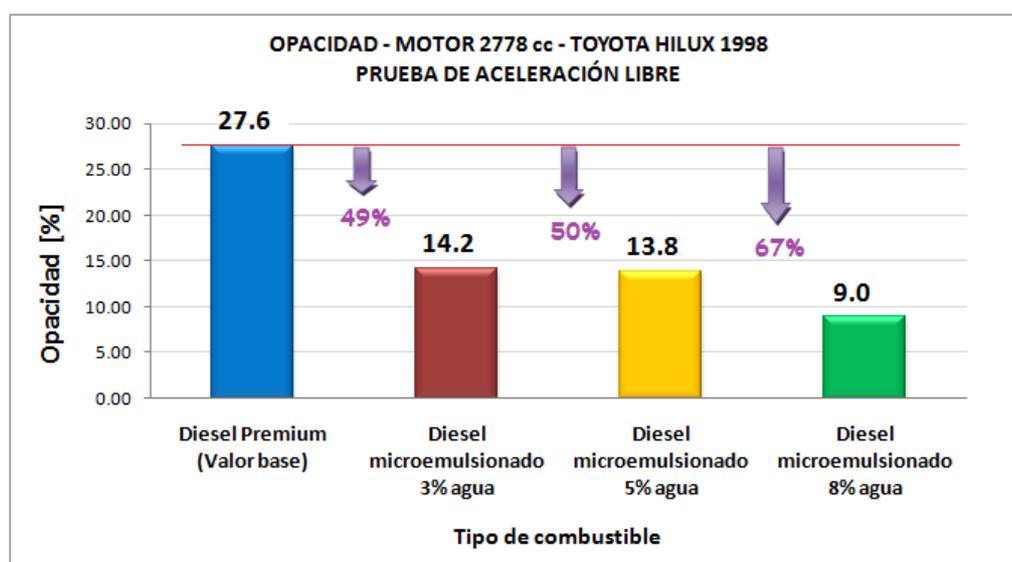


Gráfico 5-14: Opacidad del motor ciclo diesel del vehículo Toyota Hilux (método de aceleración libre).¹⁷¹

El valor de opacidad del motor que funciona con diesel Premium microemulsionado con 3%V de agua, disminuye 49% en relación al valor de base opacidad.

El valor de opacidad del motor que funciona con diesel Premium microemulsionado con 5%V de agua, disminuye 50% en relación al valor base de opacidad.

¹⁷¹ Elaborado por: Ing. Alex Guzmán

El valor de opacidad del motor que funciona con diesel Premium microemulsionado con 8%V de agua, disminuye 67% en relación al valor base de opacidad.

5.4 PRUEBAS EN RUTA CON EQUIPO DE MEDICIÓN A BORDO

Por cada tipo de combustible se desarrollaron 3 pruebas y en cada prueba se ejecutaron 2 mediciones, es decir, por cada tipo de combustible se realizaron 6 mediciones de emisiones de gases contaminantes de NO_x, HC, CO, CO₂ y PM.

5.4.1 ÓXIDOS DE NITRÓGENO (NO_x)

En el Gráfico 5-15 se indica los valores promedio por prueba de emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x) del motor Toyota Hilux obtenidas en el recorrido de la ruta CRCV Guamaní – C.C. El Condado (distancia 30 km), y utilizando para el funcionamiento del motor combustibles diesel Premium y diesel Premium microemulsionado con 3%V, 5%V y 8%V de agua respectivamente. (Ver datos en el Anexo 11).

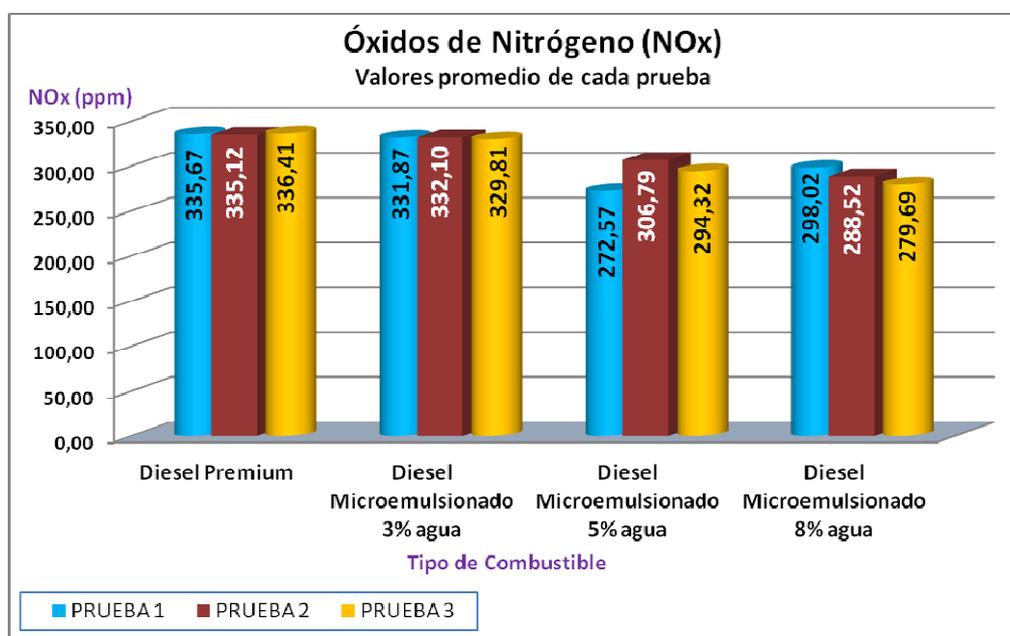


Gráfico 5-15: Valores promedio por prueba de emisiones de NO_x del motor Toyota Hilux.¹⁷²

¹⁷² Elaborado por: Ing. Alex Guzmán

En el Gráfico 5-16 se indica el promedio total de las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx) del motor Toyota Hilux obtenidas en el recorrido de la ruta CRCV Guamaní – C.C. El Condado (distancia 30 km), y utilizando para el funcionamiento del motor combustibles diesel Premium y diesel Premium microemulsionado con 3%V, 5%V y 8%V de agua respectivamente.

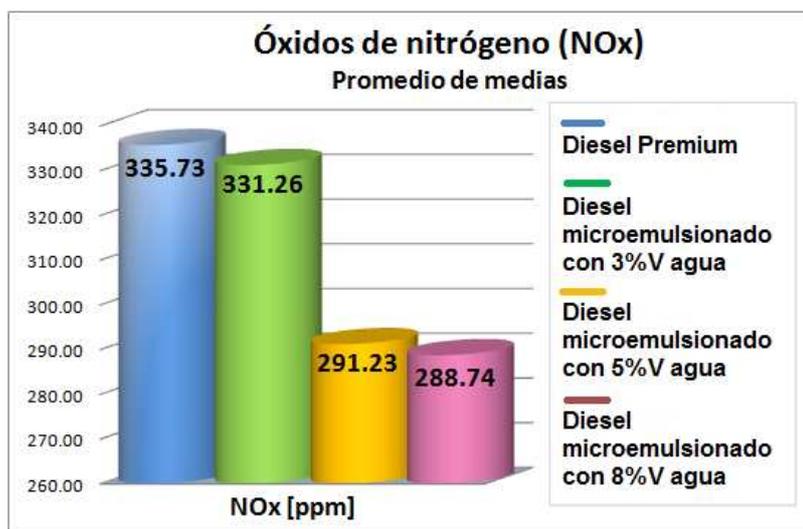


Gráfico 5-16: Valores promedio total de emisiones de NOx.¹⁷³

El valor total de emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx) del motor funcionando con diesel Premium es 335,73 ppm (**valor base de emisión de NOx**).

El valor total de emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx) del motor utilizando para el funcionamiento diesel Premium microemulsionado con 3%V de agua es 331,26 ppm. La emisión de NOx disminuye 1,3% (4,47 ppm) en relación al valor base de emisión de NOx.

El valor total de emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx) del motor utilizando para el funcionamiento diesel Premium microemulsionado con 5%V de agua es 291,23 ppm. La emisión de NOx disminuye 13,3% (44,50 ppm) en relación al valor base de emisión de NOx.

El valor total de emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx) del motor utilizando para el funcionamiento diesel Premium microemulsionado con 8%V de agua es 288,74

¹⁷³ Elaborado por: Ing. Alex Guzmán

ppm. La emisión de NOx disminuye 13,9% (46,99 ppm) en relación al valor base de emisión de NOx.

Tabla 5-5: Porcentaje de disminución de emisiones de NOx del motor Toyota Hilux funcionando con diesel Premium microemulsionado con agua.

TIPO DE COMBUSTIBLE	PROMEDIO DE MEDIAS	
	NOx [ppm]	PORCENTAJE DE DISMINUCIÓN EN RELACIÓN AL VALOR BASE [%]
Diesel Premium	335,73 (Valor base)	-
Diesel Microemulsionado 3%V agua	331,26	1,3
Diesel Microemulsionado 5%V agua	291,23	13,3
Diesel Microemulsionado 8%V agua	288,74	13,9

5.4.2 HIDROCARBUROS NO COMBUSTIONADOS (HC)

En el Gráfico 5-17 se indica los valores promedio por prueba de emisiones de hidrocarburos no combustionados (HC) del motor Toyota Hilux obtenidas en el recorrido de la ruta CRCV Guamaní – C.C. El Condado (distancia 30 km), y utilizando para el funcionamiento del motor combustibles diesel Premium y diesel Premium microemulsionado con 3%V, 5%V y 8%V de agua respectivamente. (Ver datos en el Anexo 11).

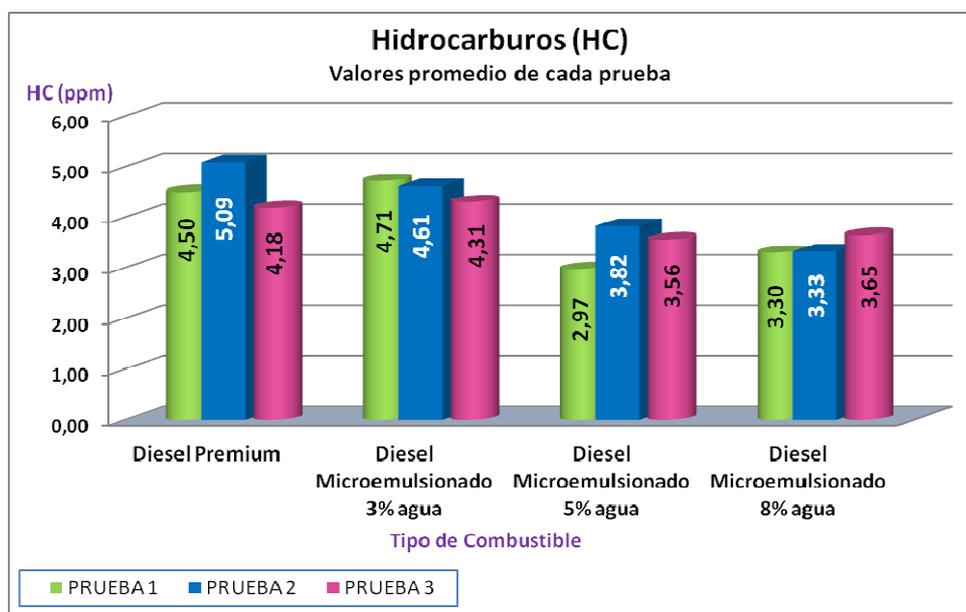


Gráfico 5-17: Valores promedio por prueba de emisiones de HC del motor Toyota Hilux. ¹⁷⁴

En el Gráfico 5-18 se indica el promedio total de las emisiones de hidrocarburos no combustionados (HC) del motor Toyota Hilux obtenidas en el recorrido de la ruta CRCV Guamaní – C.C. El Condado (distancia 30 km), y utilizando para el funcionamiento del motor combustibles diesel Premium y diesel Premium microemulsionado con 3%V, 5%V y 8%V de agua respectivamente.

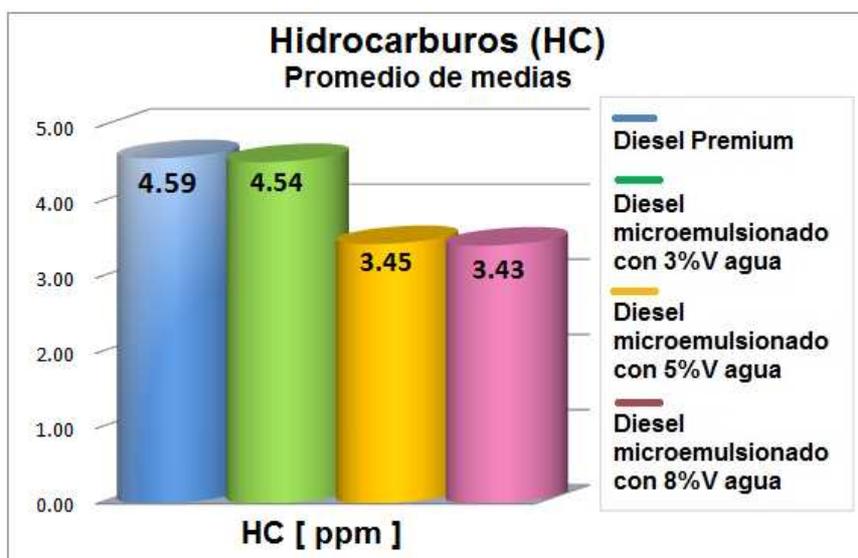


Gráfico 5-18: Valores promedio total de emisiones de HC.¹⁷⁵

El valor total de emisiones de hidrocarburos no combustionados (HC) del motor funcionando con diesel Premium es 4,59 ppm (**valor base de emisión de HC**).

El valor total de emisiones de hidrocarburos no combustionados (HC) del motor utilizando para el funcionamiento diesel Premium microemulsionado con 3%V de agua es 4,54 ppm. La emisión de HC disminuye 0,9% (0,05 ppm) en relación al valor base de emisión de HC.

El valor total de emisiones de hidrocarburos no combustionados (HC) del motor utilizando para el funcionamiento diesel Premium microemulsionado con 5%V de agua es 3,45 ppm. La emisión de HC disminuye 24,8% (1,14 ppm) en relación al valor base de emisión de HC.

El valor total de emisiones de hidrocarburos no combustionados (HC) del motor utilizando para el funcionamiento diesel Premium microemulsionado con 8%V de

¹⁷⁵ Elaborado por: Ing. Alex Guzmán

agua es 3,43 ppm. La emisión de HC disminuye 25,3% (1,16 ppm) en relación al valor base de emisión de HC.

Tabla 5-6: Porcentaje de disminución de emisiones de HC del motor Toyota Hilux funcionando con diesel Premium microemulsionado con agua.

TIPO DE COMBUSTIBLE	PROMEDIO DE MEDIAS	
	HC [ppm]	PORCENTAJE DE DISMINUCIÓN EN RELACIÓN AL VALOR BASE [%]
Diesel Premium	4,59 (Valor base)	-
Diesel Microemulsionado 3%V agua	4,54	0,9
Diesel Microemulsionado 5%V agua	3,45	24,8
Diesel Microemulsionado 8%V agua	3,43	25,3

5.4.3 MONÓXIDO DE CARBONO (CO)

En el Gráfico 5-19 se indica los valores promedio por prueba de emisiones de monóxido de carbono (CO) del motor Toyota Hilux obtenidas en el recorrido de la ruta CRCV Guamaní – C.C. El Condado (distancia 30 km), y utilizando para el funcionamiento del motor combustibles diesel Premium y diesel Premium microemulsionado con 3%V, 5%V y 8%V de agua respectivamente. (Ver datos en el Anexo 11).

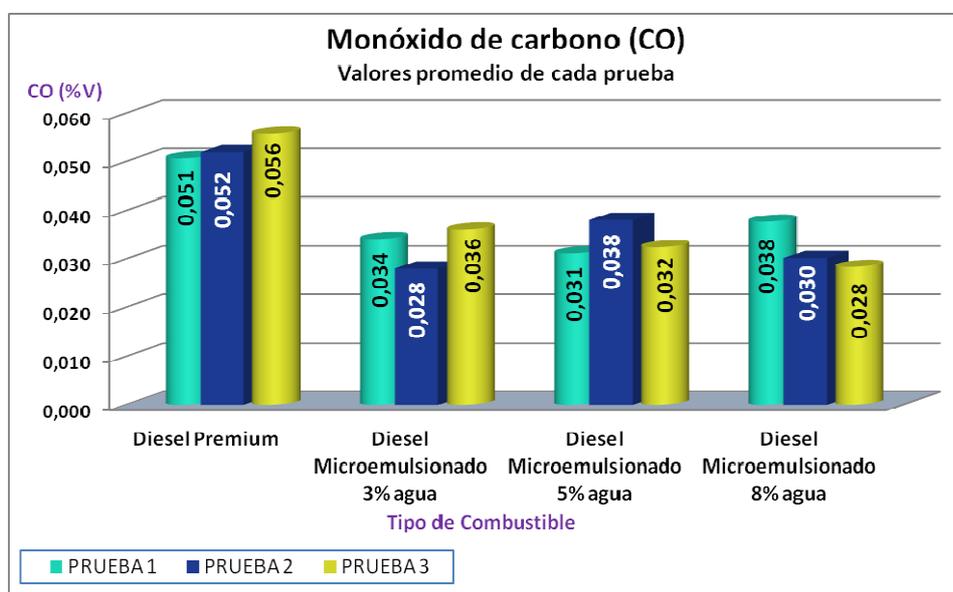


Gráfico 5-19: Valores promedio por prueba de emisiones de CO del motor Toyota Hilux.¹⁷⁶

En el Gráfico 5-20 se indica el promedio total de las emisiones de monóxido de carbono (CO) del motor Toyota Hilux obtenidas en el recorrido de la ruta CRCV

¹⁷⁶ Elaborado por: Ing. Alex Guzmán

Guamaní – C.C. El Condado (distancia 30 km), y utilizando para el funcionamiento del motor combustibles diesel Premium y diesel Premium microemulsionado con 3%V, 5%V y 8%V de agua respectivamente.

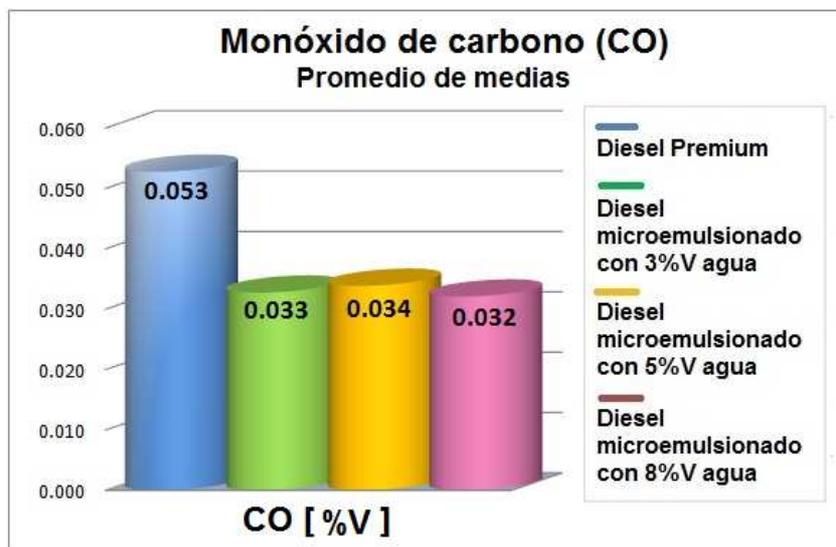


Gráfico 5-20: Valores promedio total de emisiones de CO.¹⁷⁷

El valor total de emisiones de monóxido de carbono (CO) del motor funcionando con diesel Premium es 0,053 %V (**valor base de emisión de CO**).

El valor total de emisiones de monóxido de carbono (CO) del motor utilizando para el funcionamiento diesel Premium microemulsionado con 3%V de agua es 0,033 %V. La emisión de CO disminuye 37,9% (0,020 %V) en relación al valor base de emisión de CO.

El valor total de emisiones de monóxido de carbono (CO) del motor utilizando para el funcionamiento diesel Premium microemulsionado con 5%V de agua es 0,034 %V. La emisión de CO disminuye 35,8% (0,019 %V) en relación al valor base de emisión de CO.

El valor total de emisiones de monóxido de carbono (CO) del motor utilizando para el funcionamiento diesel Premium microemulsionado con 8%V de agua es 0,032 %V. La emisión de CO disminuye 39,2% (0,021 %V) en relación al valor base de emisión de CO.

¹⁷⁷ Elaborado por: Ing. Alex Guzmán

Tabla 5-7: Porcentaje de disminución de emisiones de CO del motor Toyota Hilux funcionando con diesel Premium microemulsionado con agua.

TIPO DE COMBUSTIBLE	PROMEDIO DE MEDIAS	
	CO [%V]	PORCENTAJE DE DISMINUCIÓN EN RELACIÓN AL VALOR BASE [%]
Diesel Premium	0,053 (Valor base)	-
Diesel Microemulsionado 3%V agua	0,033	37,9
Diesel Microemulsionado 5%V agua	0,034	35,8
Diesel Microemulsionado 8%V agua	0,032	39,2

5.4.4 DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂)

En el Gráfico 5-21 se indica los valores promedio por prueba de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) del motor Toyota Hilux obtenidas en el recorrido de la ruta CRCV Guamaní – C.C. El Condado (distancia 30 km), y utilizando para el funcionamiento del motor combustibles diesel Premium y diesel Premium microemulsionado con 3%V, 5%V y 8%V de agua respectivamente. (Ver datos en el Anexo 11).

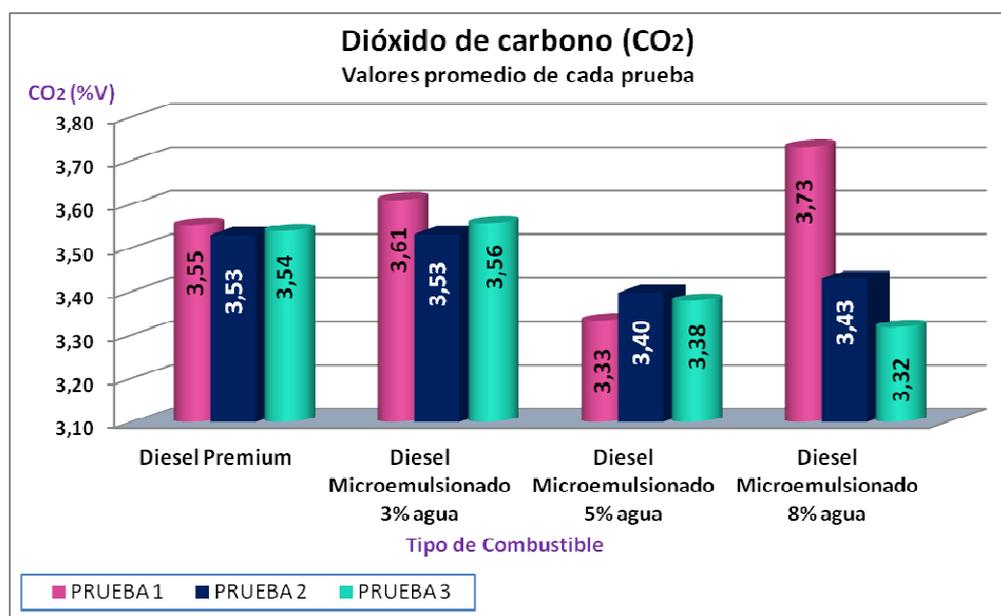


Gráfico 5-21: Valores promedio por prueba de emisiones de CO₂ del motor Toyota Hilux. ¹⁷⁸

En el Gráfico 5-22 se indica el promedio total de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) del motor Toyota Hilux obtenidas en el recorrido de la ruta CRCV Guamaní – C.C. El Condado (distancia 30 km), y utilizando para el funcionamiento

del motor combustibles diesel Premium y diesel Premium microemulsionado con 3%V, 5%V y 8%V de agua respectivamente.

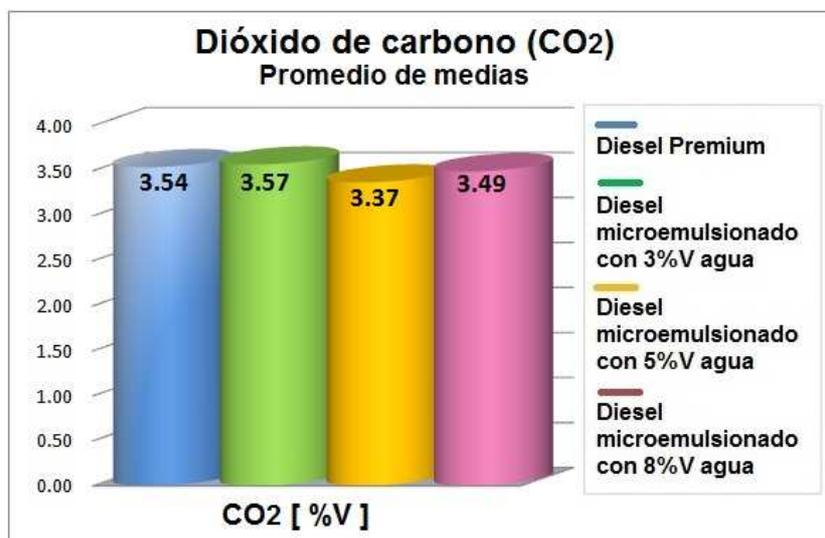


Gráfico 5-22: Valores promedio total de emisiones de CO₂.¹⁷⁹

El valor total de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) del motor funcionando con diesel Premium es 3,54 %V (**valor base de emisión de CO₂**).

El valor total de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) del motor utilizando para el funcionamiento diesel Premium microemulsionado con 3%V de agua es 3,57 %V. La emisión de CO₂ aumenta 0,7% (0,03 %V) en relación al valor base de emisión de CO₂.

El valor total de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) del motor utilizando para el funcionamiento diesel Premium microemulsionado con 5%V de agua es 3,37 %V. La emisión de CO₂ disminuye 4,8% (0,17 %V) en relación al valor base de emisión de CO₂.

El valor total de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) del motor utilizando para el funcionamiento diesel Premium microemulsionado con 8%V de agua es 3,49 %V. La emisión de CO₂ disminuye 1,3% (0,05 %V) en relación al valor base de emisión de CO₂.

¹⁷⁹ Elaborado por: Ing. Alex Guzmán

Tabla 5-8: Porcentaje de disminución de emisiones de CO₂ del motor Toyota Hilux funcionando con diesel Premium microemulsionado con agua.

TIPO DE COMBUSTIBLE	PROMEDIO DE MEDIAS	
	CO ₂ [%V]	PORCENTAJE DE DISMINUCIÓN EN RELACIÓN AL VALOR BASE [%]
Diesel Premium	3,54 (Valor base)	-
Diesel Microemulsionado 3% agua	3,57	-0,7 (aumenta)
Diesel Microemulsionado 5% agua	3,37	4,8
Diesel Microemulsionado 8% agua	3,49	1,3

Teóricamente al disminuir las emisiones de CO y HC las emisiones de CO₂ se incrementan. Sin embargo, existe variación en los resultados de las mediciones que se indican en la Tabla 5-8, la variación en las mediciones se debe a circunstancias de tipo aleatorio [ver ítem 4.12.1.1 (variación y errores en las mediciones) del capítulo 4]. Además, la disminución de la emisión de CO₂ utilizando diesel microemulsionado con 5%V y 8%V de agua, puede suponerse, debido a que un volumen determinado de agua (H₂O) reemplaza en el mismo valor a un volumen de combustible diesel, por lo que la cantidad de carbono total que contiene el combustible microemulsionado es menor en relación a la cantidad de carbono del combustible diesel puro.

5.4.5 MATERIAL PARTICULADO (PM)

En el Gráfico 5-23 se indica los valores promedio por prueba de emisiones de material particulado (PM) del motor Toyota Hilux obtenidas en el recorrido de la ruta CRCV Guamaní – C.C. El Condado (distancia 30 km), y utilizando para el funcionamiento del motor combustibles diesel Premium y diesel Premium microemulsionado con 3%V, 5%V y 8%V de agua respectivamente. (Ver datos en el Anexo 11).

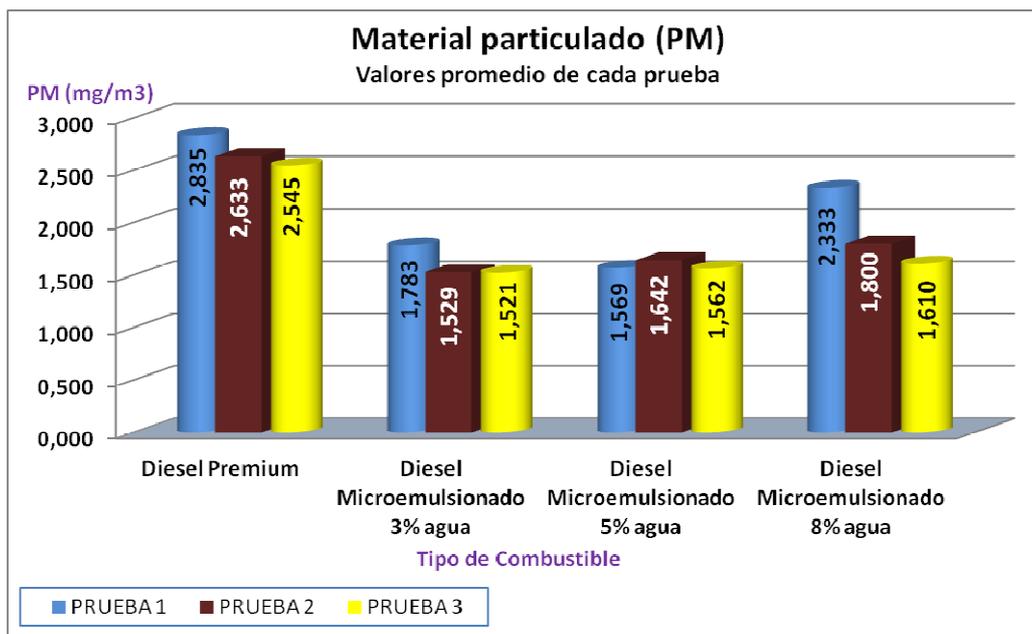


Gráfico 5-23: Valores promedio por prueba de emisiones de PM del motor Toyota Hilux.¹⁸⁰

En el Gráfico 5-24 se indica el promedio total de las emisiones de material particulado (PM) del motor Toyota Hilux obtenidas en el recorrido de la ruta CRCV Guamaní – C.C. El Condado (distancia 30 km), y utilizando para el funcionamiento del motor combustibles diesel Premium y diesel Premium microemulsionado con 3%V, 5%V y 8%V de agua respectivamente.

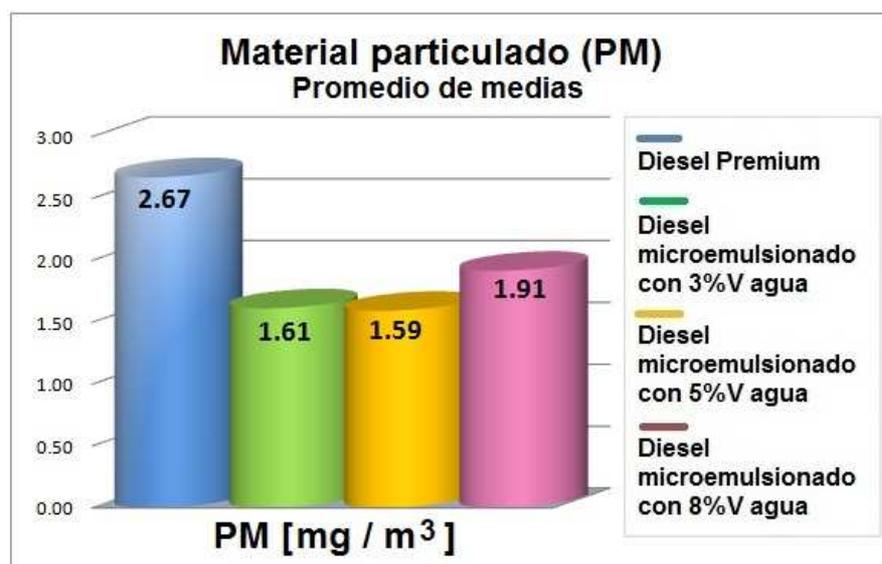


Gráfico 5-24: Valores promedio total de emisiones de PM.¹⁸¹

¹⁸⁰ Elaborado por: Ing. Alex Guzmán

¹⁸¹ Elaborado por: Ing. Alex Guzmán

El valor total de emisiones de material particulado (PM) del motor funcionando con diesel Premium es 2,67 mg/m³ (**valor base de emisión de PM**).

El valor total de emisiones de material particulado (PM) del motor utilizando para el funcionamiento diesel Premium microemulsionado con 3%V de agua es 1,61mg/m³. La emisión de PM disminuye 39,7% (1,06 mg/m³) en relación al valor base de emisión de PM.

El valor total de emisiones de material particulado (PM) del motor utilizando para el funcionamiento diesel Premium microemulsionado con 5%V de agua es 1,57mg/m³. La emisión de PM disminuye 41,2% (1,10 mg/m³) en relación al valor base de emisión de PM.

El valor total de emisiones de material particulado (PM) del motor utilizando para el funcionamiento diesel Premium microemulsionado con 8%V de agua es 1,91mg/m³. La emisión de PM disminuye 28,3% (0,76 mg/m³) en relación al valor base de emisión de PM.

Tabla 5-9: Porcentaje de disminución de emisiones de PM (mg/m³) del motor Toyota Hilux funcionando con diesel Premium microemulsionado con agua.

TIPO DE COMBUSTIBLE	PROMEDIO DE MEDIAS	
	PM [mg/m ³]	PORCENTAJE DE DISMINUCIÓN EN RELACIÓN AL VALOR BASE [%]
Diesel Premium	2,67 (Valor base)	-
Diesel Microemulsionado 3%V agua	1,61	39,7
Diesel Microemulsionado 5%V agua	1,57	41,2
Diesel Microemulsionado 8%V agua	1,91	28,3

5.4.5.1 Cantidad total de emisión de PM

La cantidad total de material particulado (PM) que emite el motor Toyota Hilux en el recorrido de 30 km utilizando diesel Premium es 839,48 mg (**valor base de emisión de PM**).

La cantidad total de emisiones de material particulado (PM) del motor utilizando para el funcionamiento diesel Premium microemulsionado con 3%V de agua es 653,76mg. La emisión de PM disminuye 22,1% (185,72 mg) en relación al valor base de emisión de PM.

La cantidad total de emisiones de material particulado (PM) del motor utilizando para el funcionamiento diesel Premium microemulsionado con 5%V de agua es 631,91mg. La emisión de PM disminuye 24,7% (207,57 mg) en relación al valor base de emisión de PM.

La cantidad total de emisiones de material particulado (PM) del motor utilizando para el funcionamiento diesel Premium microemulsionado con 8%V de agua es 736,79mg. La emisión de PM disminuye 12,2% (102,69 mg) en relación al valor base de emisión de PM.

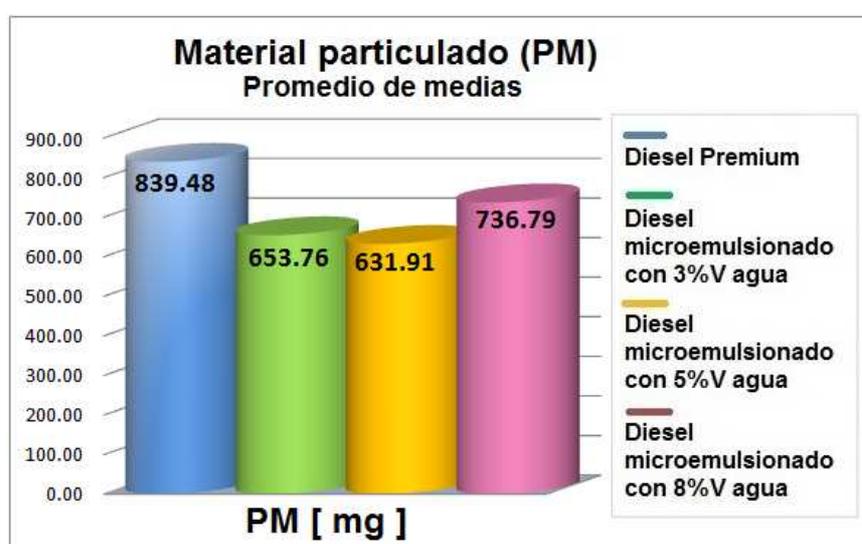


Gráfico 5-25: Cantidad total de emisiones de PM (mg) del motor Toyota Hilux.¹⁸²

En la tabla 5-10 se indica los valores totales de material particulado emitido por el motor en el recorrido de la ruta CRCV Guamaní – CC. El Condado.

Tabla 5-10: Porcentaje de disminución de emisiones de PM (mg) del motor Toyota Hilux funcionando con diesel Premium microemulsionado con agua.

TIPO DE COMBUSTIBLE	PROMEDIO DE MEDIAS	
	PM [mg]	PORCENTAJE DE DISMINUCIÓN EN RELACIÓN AL VALOR BASE [%]
Diesel Premium	839,48 (Valor base)	-
Diesel Microemulsionado 3%V agua	653,76	22,1
Diesel Microemulsionado 5%V agua	631,91	24,7
Diesel Microemulsionado 8%V agua	736,79	12,2

¹⁸² Elaborado por: Ing. Alex Guzmán

5.5 GRÁFICOS DE CONTROL DE MEDIAS Y RANGOS DE LA EMISIÓN DE GASES CONTAMINANTES MEDIDOS EN LAS PRUEBAS EN RUTA

Como indican los ítems 4.3.1.2 (Confiabilidad) y 4.12.1 (Gráficos de control de calidad) del capítulo 4, es necesario verificar la confiabilidad de los datos obtenidos en la medición en ruta de las emisiones de NO_x, HC, CO, CO₂ y PM. Se aplican las gráficas de control para medias (\bar{X}) y rangos (R) para establecer la repetibilidad y reproducibilidad del método de medición. La variación de las mediciones es inevitable, los gráficos de control permiten determinar cuando ésta variación supera los límites aceptables (rangos de confianza) y analizar si el proceso de medición se ejecutó correctamente y no existen errores de causa asignable, y que la diferencia entre las mediciones se debe a causas aleatorias.

5.5.1 PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LOS GRÁFICOS DE CONTROL

Aplicando el siguiente procedimiento se elaboran las gráficas de control para las emisiones de gases contaminantes de NO_x, HC, CO, CO₂ y PM:

1. Con los valores de las emisiones contaminantes medidas, elaborar los gráficos de emisiones en función del tiempo de medición para observar el comportamiento dinámico de las mismas (variación de valores).
2. Se calcula el promedio de medias ($\bar{\bar{X}}$) y rangos (\bar{R}) de los datos de cada una de las pruebas de medición de emisiones en ruta.

Se utiliza los promedios debido a que no se puede comparar las mediciones de los contaminantes en un mismo instante ya que varía la velocidad de respuesta del equipo, el lugar de toma de datos en ese tiempo en que se quiere analizar va a ser diferente de un día a otro por las condiciones de tráfico y otros factores que se presentan durante el recorrido.

3. Con las ecuaciones Ec. 4-9 y Ec. 4-10 se calcula los límites superior (UCL_x) e inferior (LCL_x) para los gráficos de control de medias (\bar{X}).
4. Con las ecuaciones Ec. 4-11 y Ec. 4-12 se calcula los límites superior ($UCLR$) e inferior ($LCLR$) para los gráficos de control de rangos (R).

5. Asignar el valor del número de muestras (k) [número de pruebas] y el tamaño de las muestras (n) [número de mediciones por prueba] ejecutadas.

Se ejecutaron tres (3) pruebas con cada tipo de combustible y por cada prueba se realizaron dos (2) mediciones de emisiones de gases NO_x, HC, CO, CO₂ y de material particulado PM. Entonces, el número de muestras tomadas (k) es igual a 3, y el tamaño de muestras (n) es igual a 2.

6. Se escoge los valores de las constantes A₂, D₃ y D₄, estas dependen de “ n ” y se obtienen de la tabla del Anexo 10 (Factores para cálculos de gráficos de control por variables).

Ecuaciones de límites para medias	Ecuaciones de límites para rangos	Constantes de muestras	Factores para cálculos de gráficos de control	
$UCL_x = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R}$	$UCL_R = D_4 \bar{R}$	k (# de muestras) = 3	$D_3 = 0$	$A_2 = 1,58$
$LCL_x = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}$	$LCL_R = D_3 \bar{R}$	n (tamaño muestral) = 2	$D_4 = 3,267$	

Tabla 5-11: Ecuaciones y constantes para cálculo de límites superior e inferior de gráficos de control.

5.5.2 ELABORACIÓN DE GRÁFICOS DE CONTROL

A continuación se indica un ejemplo de elaboración de gráficos de control del gas contaminante NO_x, medido cuando el motor utilizó para su funcionamiento diesel Premium. Los gráficos se elaboran siguiendo el procedimiento indicado en el ítem (5.5.1) del presente capítulo.

Los valores de NO_x utilizados en la elaboración de los gráficos de control se indican en las gráficas 5-26 (prueba 1- medición 1), 5-27 (prueba 2 – medición 1) y 5-28 (prueba 3 – medición 1). Se calcula el promedio de medias ($\bar{\bar{X}}$) y rangos (\bar{R}) de los datos.

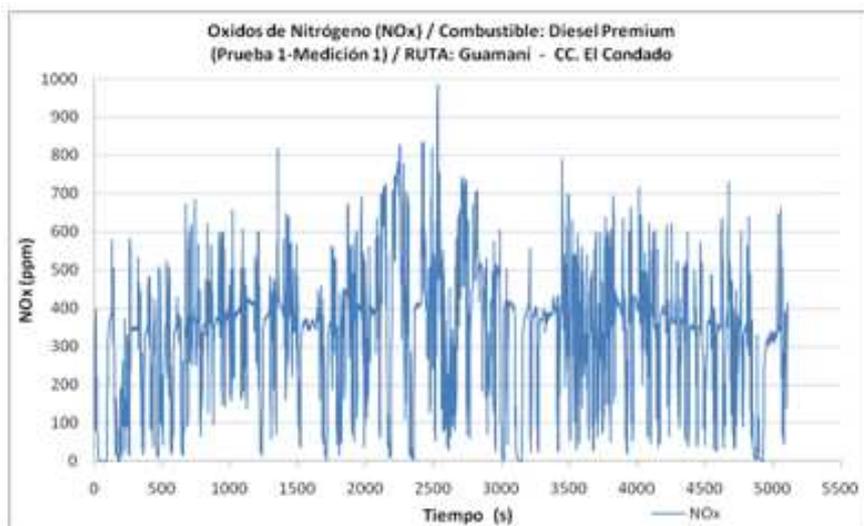


Gráfico 5-26: Valores de NOx utilizados en las gráficos de control: prueba 1- medición 1 – Diesel Premium.

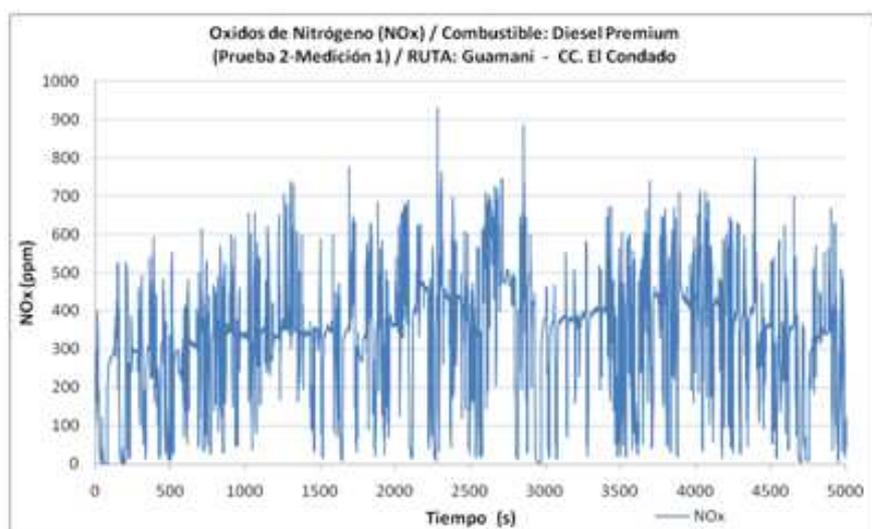


Gráfico 5-27: Valores de NOx utilizados en las gráficos de control: prueba 2- medición 1 – Diesel Premium.

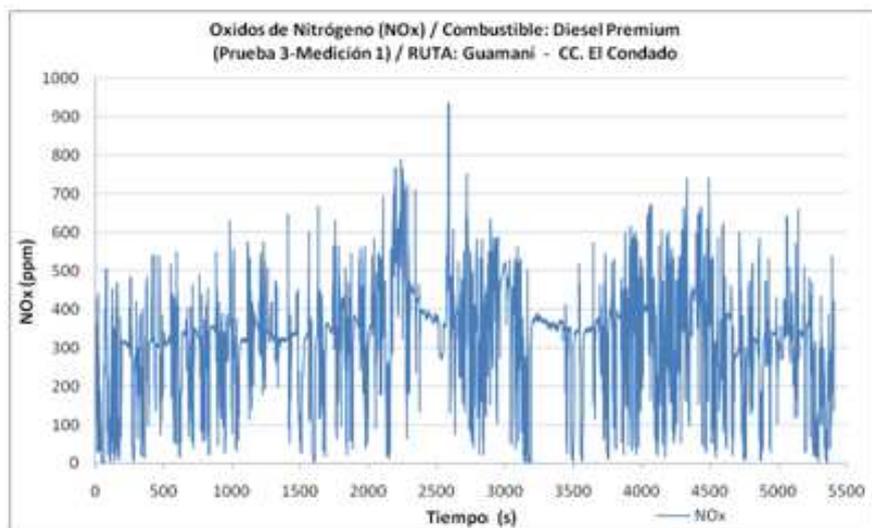


Gráfico 5-28: Valores de NOx utilizados en las gráficos de control: prueba 3- medición 1 – Diesel Premium.

En la Tabla 5-12 se indica los valores promedios de los datos óxidos de nitrógeno (NOx) de cada prueba ejecutada en la ruta CRCV Guamaní – CC. El Condado.

Tabla 5-12: Promedios de medias y rangos para los gráficos de control del NOx.

DIESEL PREMIUM - RUTA: CRCV GUAMANÍ - CC. EL CONDADO						
NOx (ppm)	PROMEDIO MEDICIÓN 1	PROMEDIO MEDICIÓN 2	MEDIA (\bar{X})	PROMEDIO DE MEDIAS ($\bar{\bar{X}}$)	RANGO (R)	PROMEDIO DE RANGOS (\bar{R})
PRUEBA 1	334,777	336,569	335,673	335,735	1,793	3,086
PRUEBA 2	332,312	337,938	335,125		5,627	
PRUEBA 3	337,325	335,487	336,406		1,839	

Con los promedios calculados, se elabora los gráficos de control para establecer la repetibilidad y reproducibilidad del método aplicado en la medición de las emisiones contaminantes.

Tamaño muestral

Para este caso los valores son:

k (# de muestras) = 3	n (tamaño muestral) = 2
-----------------------	-------------------------

De la tabla del Anexo 10 se obtienen los valores de las constantes (con n = 2)

$D_3 = 0$	$A_2 = 1,58$	$D_4 = 3,267$
-----------	--------------	---------------

Con las ecuaciones Ec. 4-11 y Ec. 4-12 se calcula los límites superior (UCL_R) e inferior (LCL_R) para los gráficos de control de rangos (R).

$$UCL_R = D_4 \bar{R} = 3.267 \times 3.086 = 10.082 \text{ ppm}$$

$$LCL_R = D_3 \bar{R} = 0 \times 3.086 = 0.00 \text{ ppm}$$

Con las ecuaciones Ec. 4-9 y Ec. 4-10 se calcula los límites superior (UCL_x) e inferior (LCL_x) para los gráficos de control de medias (\bar{X}).

$$UCL_x = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} = 335.735 + 1.58 \times 3.086 = 340.611 \text{ ppm}$$

$$LCL_x = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} = 335.735 - 1.58 \times 3.086 = 330.859 \text{ ppm}$$

En la Tabla 5-13 se indica los límites superior e inferior de los gráficos de control para medias y rangos NOx de cada prueba ejecutada.

Tabla 5-13: Límites superior e inferior de medias y rangos para los gráficos de control del NOx.

DIESEL PREMIUM - RUTA: CRCV GUAMANÍ - CC. EL CONDADO				
NOx (ppm)	LÍMITES PARA MEDIAS		LÍMITES PARA RANGOS	
	límite superior (UCL _x)	límite inferior (LCL _x)	límite superior (UCL _R)	límite inferior (LCL _R)
		340,611	330,859	10,082

Gráfico para rangos

El gráfico de control para rangos del NOx, indica que los rangos calculados están dentro de los límites de control, entonces no existen errores de causa asignable.

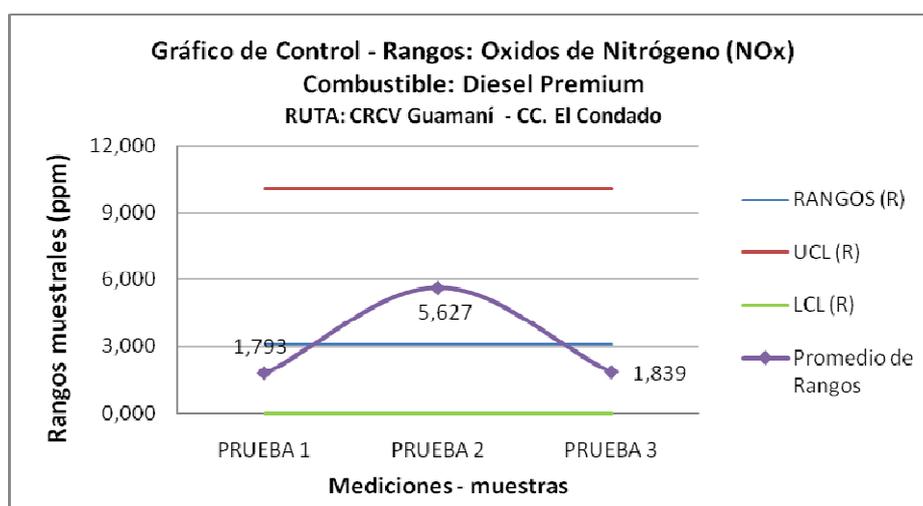


Gráfico 5-29: Gráfico de control para rangos del NOx – Diesel Premium.¹⁸³

Gráfico para medias

El gráfico de control para medias del NOx, indica que las medias calculadas están dentro de los límites de control, entonces no existen errores de causa asignable.

¹⁸³ Elaborado por: Ing. Alex Guzmán

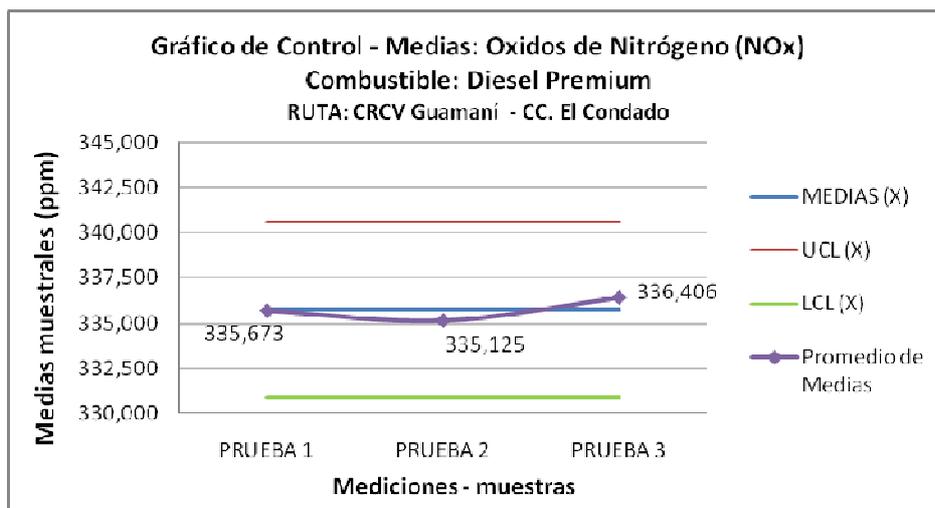


Gráfico 5-30: Gráfico de control para medias del NOx – Diesel Premium.¹⁸⁴

En el Anexo 12, se indica los valores promedio calculados y los gráficos de control para medias () y rangos (), de los datos de cada una de las pruebas de medición de emisiones contaminantes en ruta de NOx, HC, CO, CO₂ y PM.

Analizados los gráficos de control de las emisiones de gases NOx, HC, CO, CO₂ y PM del motor, utilizando para su funcionamiento diesel Premium y diesel microemulsionado con 3%V, 5%V y 8%V de agua, se observa que todas las mediciones se encuentran dentro de los intervalos de confianza de medias () y rangos (). Los datos obtenidos en las mediciones de emisiones son confiables, y las diferencias existentes en las mediciones entre cada una de las pruebas se debe a errores de tipo aleatorio.

5.6 EVALUACIÓN EN EL RENDIMIENTO DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE

El rendimiento de consumo de combustible de acuerdo a los reportes del número de galones de combustible consumidos diariamente en la ejecución de las pruebas es el siguiente:

- Utilizando diesel Premium es 32,39 km/gal (valor base de rendimiento).
- Utilizando diesel Premium microemulsionado con 3%V de agua es 32,92 km/gal.

¹⁸⁴ Elaborado por: Ing. Alex Guzmán

- Utilizando diesel Premium microemulsionado con 5%V de agua es 32,00 km/gal.
- Utilizando diesel Premium microemulsionado con 8%V de agua es 30,55 km/gal.

El consumo de combustible se calcula utilizando la ecuación Ec.1-3 (ítem 1.3.2 - consumo de combustible) del capítulo 1.

Tabla 5-14: Consumo de combustible utilizando diesel Premium y diesel microemulsionado con agua.

Tipo de combustible	Consumo de combustible [l/km]
Diesel Premium	0,117
Diesel microemulsionado con 3%V agua	0,115
Diesel microemulsionado con 5%V agua	0,118
Diesel microemulsionado con 8%V agua	0,124

El rendimiento de consumo de combustible es similar al utilizar diesel Premium y diesel microemulsionado con 3%V y 5%V de agua, como se muestra en el Gráfico 5-31. Ver datos de distancias recorridas y consumo de combustible en el Anexo 16.

El rendimiento de consumo de combustible utilizando diesel microemulsionado con 8%V de agua, disminuye en 5,5% en relación al rendimiento de consumo de combustible utilizando diesel Premium.

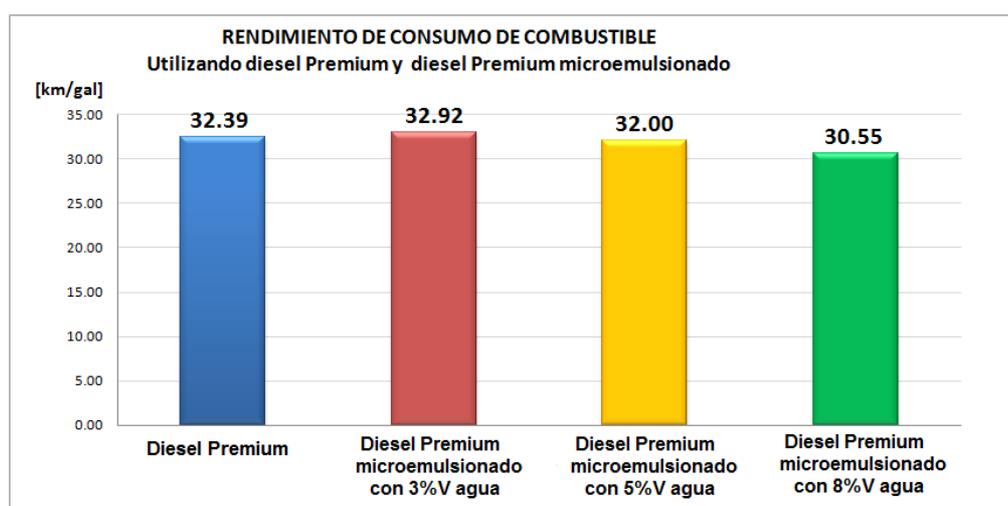


Gráfico 5-31: Distancia recorrida por el vehículo de pruebas Toyota Hilux utilizando un galón de combustible (rendimiento de consumo de combustible).¹⁸⁵

¹⁸⁵ Elaborado por: Ing. Alex Guzmán

5.7 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS DE ACEITE DEL MOTOR

La distancia total de recorrido del vehículo de pruebas Toyota Hilux por la ejecución de medición de potencia, torque, opacidad dinámica y medición de emisiones en ruta fue 2469 km, de los cuales la distancia recorrida del vehículo utilizando diesel Premium fue 648 km y utilizando diesel Premium microemulsionado con agua (3%V, 5%V y 8%V de agua) fue 1821 km.

Las muestras de aceite se tomaron a los 648 km de recorrido del vehículo con el motor funcionando con diesel Premium y a los 1821 km de recorrido utilizando diesel Premium microemulsionado con agua.

El aceite multigrado utilizado para lubricar el motor del vehículo de pruebas fue el SAE 15W40, la viscosidad cinemática a 100°C del aceite es 15,5 cSt y tiene un Número Base Total (TBN) de 10. Las características adicionales se indican en el Anexo 17.

En la Tabla 5-15 se indica que el motor del vehículo de pruebas Toyota Hilux se diseñó para operar con aceite que tenga una viscosidad entre 12,5 cSt y 16,3 cSt.

Tabla 5-15: Viscosidad del aceite requerido por el diseño del motor.

Viscosidad cinemática del aceite a temperaturas operacionales (100°C) requeridas por el diseño del motor	Viscosidades SAE para escoger
5.6 cSt – 9.6 cSt	0W-20, 5W-20, 20
9.3 cSt – 12.5 cSt	0W-30, 5W-30, 10W-30, 30
12.5 cSt – 16.3 cSt	0W-40, 5W-40, 10W-40, 15W-40 , 40
16.3 cSt – 21.9 cSt	0W-50, 5W-50, 10W-50, 15W-50, 20W-50, 25W-50, 50
Fuente: 2009 Widman International SRL	

Los parámetros que se analizaron en el aceite son la viscosidad cinemática a 100°C (cSt), Número Base Total TBN (adimensional), contenido de metales (ppm) y presencia de agua (%V). Ver reporte de resultados en el Anexo 17.

En la Tabla 5-16 se indica los resultados de viscosidad y TBN de los análisis de las muestras de aceite 15W40 del motor de pruebas Toyota Hilux.

Tabla 5-16: Resultados de viscosidad y TBN del análisis de aceite SAE 15W40.

Número del laboratorio	Tipo de combustible utilizado en el motor	Tipo de aceite	Viscosidad cinemática a 100°C (cSt)	Número Base Total (TBN)
2796	Diesel Premium	15W40	15.10	10.66
2797	Diesel Premium microemulsionado con agua	15W40	13.96	10.79

5.7.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE VISCOSIDAD CINEMÁTICA

La viscosidad cinemática del aceite a 100°C del motor funcionando con diesel Premium es 15,10 cSt. Se encuentra dentro del límite de viscosidad del aceite requerida por el diseño del motor.

La viscosidad cinemática del aceite a 100°C del motor funcionando con diesel Premium microemulsionado con agua es 13,96 cSt. Se encuentra dentro del límite de viscosidad del aceite requerida por el diseño del motor.

Si suponemos que la disminución de la viscosidad del aceite es lineal con respecto a la distancia recorrida del vehículo, entonces la viscosidad del aceite del motor funcionando con diesel microemulsionado con agua será aceptable solamente hasta cuando la distancia máxima recorrida sea 3500 km. Mientras el valor de viscosidad cinemática del aceite SAE 15W40 esté en el rango 12,5 cSt y 16,3 cSt, el desgaste del motor es mínimo. Cuando la viscosidad del aceite está encima o debajo de ese rango, el motor tendrá desgaste prematuro adicional.

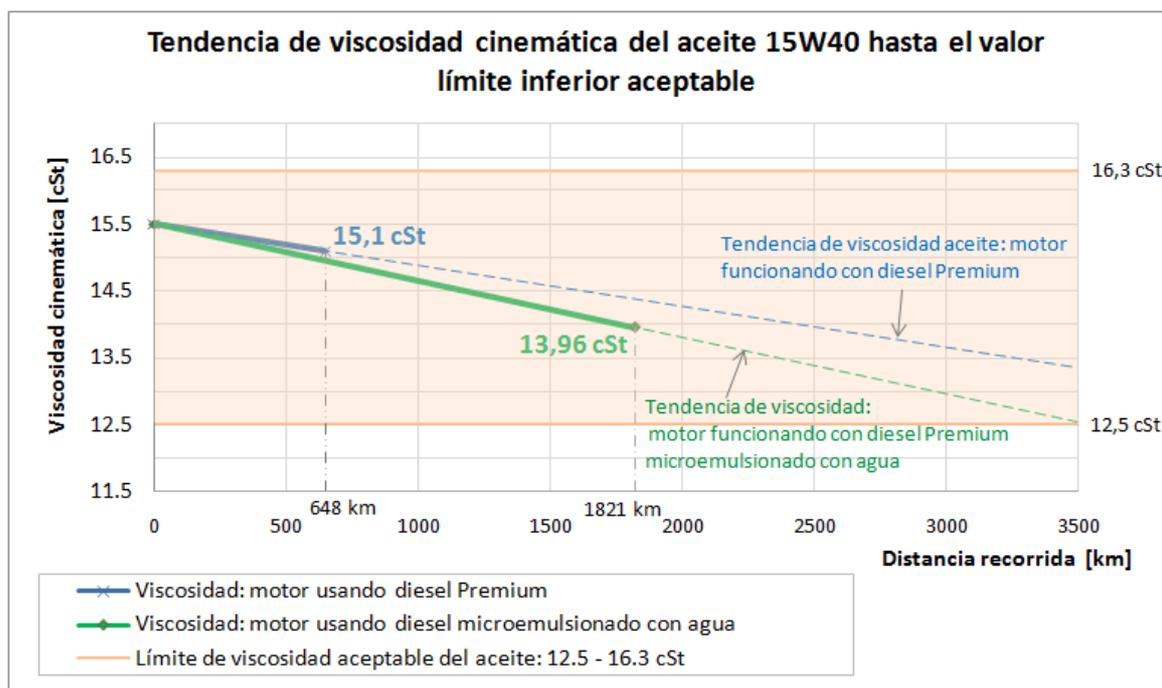


Gráfico 5-32: Tendencia del valor de viscosidad del aceite hasta llegar al valor límite inferior aceptable.¹⁸⁶

En una misma distancia recorrida, el valor de viscosidad del aceite del motor funcionando con diesel microemulsionado con agua disminuye aproximadamente 0,35 (35%) veces más que la viscosidad del aceite del motor funcionando solamente con diesel Premium.

5.7.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE NÚMERO TOTAL BASE (TBN)

El TBN del aceite del motor funcionando con diesel Premium es 10,66. No existe variación con respecto al TBN del aceite nuevo que es igual a 10.

El TBN del aceite del motor funcionando con diesel Premium microemulsionado con agua es 10,79. No existe variación con respecto al TBN del aceite nuevo que es igual a 10.

5.7.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE METALES DE DESGASTE

Los metales que el laboratorio analizó en el aceite del motor Toyota Hilux según la Norma ASTM D6595 (Método de prueba estándar para la determinación de metales de desgaste y contaminantes de los aceites lubricantes usados) son:

¹⁸⁶ Elaborado por: Ing. Alex Guzmán

Cr, Ni, Cu, Sn, Al, Pb, Fe y Si. La cantidad total de metales que contiene el aceite analizado es el siguiente:

El aceite del motor funcionando con diesel Premium tiene una cantidad total de metales de desgaste de 24 ppm (1 ppm de Cu, 3 ppm de Al, 7 ppm de Fe y 13 ppm de Si).

El aceite del motor funcionando con diesel Premium microemulsionado con agua tiene una cantidad total de metales de desgaste de 32 ppm (1 ppm de Cr, 1 ppm de Ni, 1 ppm de Cu, 3 ppm de Al, 2 ppm de Pb, 10 ppm de Fe y 14 ppm de Si).

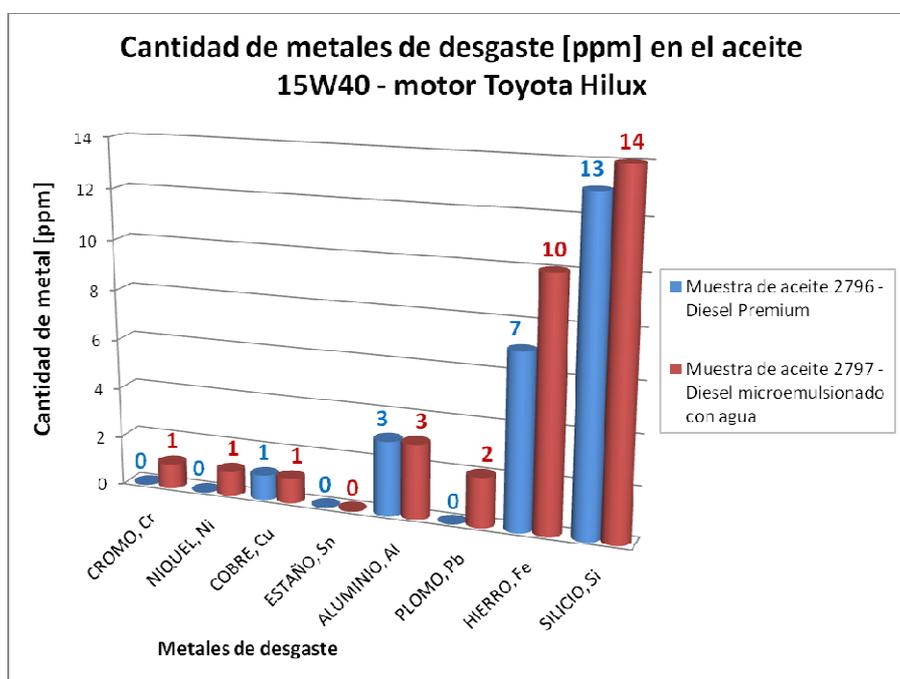


Gráfico 5-33: Cantidad de metales de desgaste en el aceite del motor usando diesel Premium y diesel microemulsionado con agua.¹⁸⁷

Las cantidades de metales de desgaste presentes en las dos muestras de aceite usado del motor Toyota Hilux están bajo los límites permitidos. Ver valores límites de presencia de metales en el Anexo 17 (Niveles límites de metales de desgaste en el aceite usado).

En la Tabla 5-17 se indica el origen de las partículas metálicas que contiene el aceite analizado SAE 15W40 analizado.

¹⁸⁷ Elaborado por: Ing. Alex Guzmán.

Tabla 5-17: Posible origen de las partículas metálicas del aceite SAE 15W40.

Metales contaminantes de desgaste	Origen de las partículas
Aluminio	Pistones y cojinete de árbol de levas, cojinete de bomba de aceite.
Níquel	Pistones y cojinetes.
Cromo	Paredes de camisas de cilindros y rines de pistones, válvulas de escape, cigüeñal.
Cobre	Bujes ó cojinetes, bomba de aceite, pasador de biela, balancín, eje de leva, bomba de inyección de combustible, engranajes de distribución.
Estaño	Cojinetes, cañerías del lubricante.
Plomo	Revestimiento de cojinetes de bancada y de biela, revestimiento de cojinetes de árbol de levas.
Hierro	Rines de pistones, muñones de cigüeñal, mecanismos de distribución, camisas de cilindros, engranajes, eje de levas, pasadores de biela, bomba de aceite, tren de válvulas, compresor de aire, seguidor de levas.
Silicio	Entrada de tierra, grasa con contenido de sílice, aditivo antiespumante.

Debido a la diferencia de distancias de recorrido del vehículo en las que se tomaron las muestras de aceite, es posible que el número total de metales de desgaste del aceite del motor utilizando diesel Premium sea igual u sobrepase el número de partículas metálicas contenidas en el aceite del motor utilizando diesel microemulsionado con agua (DMA).

5.7.4 ANÁLISIS DE DILUCIÓN DE AGUA EN EL ACEITE

Como regla general el contenido de agua en el aceite usado del motor no debe superar un 0.5%V.¹⁸⁸

Tabla 5-18: Resultados de presencia de agua del análisis de aceite SAE 15W40.

Número del laboratorio	Tipo de combustible utilizado en el motor	Tipo de aceite	Apariencia	Presencia de agua (%V)
2796	Diesel Premium	15W40	Negro	Negativo
2797	DMA	15W40	Negro	Negativo

No existe presencia de agua en el aceite del motor utilizando diesel Premium. No existe presencia de agua en el aceite del motor utilizando para su funcionamiento diesel Premium microemulsionado con agua. Ver resultados en el Anexo 17.

¹⁸⁸ MANTENIMIENTO DE MOTORES MEDIANTE ANÁLISIS DE ACEITE;
<http://www.scribd.com/doc/51471814/Mantenimiento-de-motores-mediante-analisis-de-aceite>

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- El combustible diesel que se expende en el país tiene altos contenidos de azufre (entre 500 a 7000ppm), por lo que no permite la incorporación al país de vehículos cuyos motores dispongan de tecnologías avanzadas para el control de emisiones de gases contaminantes y de material particulado.
- El diesel microemulsionado con agua está constituido por una suspensión de micropartículas líquidas de agua (fase dispersa) dentro de combustible líquido diesel (fase continua), la homogeneidad y duración en el tiempo dependen de las características químicas del aditivo emulsificador.
- Conforme se incrementa el porcentaje en volumen del agua para mezclarlo con diesel, el combustible diesel adquiere una apariencia de color blanco sin alterar las demás propiedades del combustible.
- La potencia y torque máximo del motor que utiliza diesel microemulsionado con 3%V de agua aumentan (potencia: 0,5% y torque 5,8%), en relación al valor nominal cuando el motor funciona con diesel Premium.
- La potencia máxima del motor que utiliza diesel Premium microemulsionado con 5%V de agua disminuye 2,5%. No existe variación en el valor del torque máximo en relación al torque nominal cuando el motor funciona con diesel Premium.
- Utilizando diesel Premium microemeulsionado con 8%V de agua, la potencia y torque máximo del motor disminuyen (potencia: 10,7% y torque 12,8%), en relación al valor nominal cuando el motor funciona con diesel Premium.
- La opacidad dinámica del motor utilizando diesel Premium microemulsionado con agua disminuye 29% (valor promedio), en relación a la opacidad dinámica medida al motor funcionando con diesel Premium.

- La opacidad del motor medida con el método de aceleración libre utilizando diesel Premium microemulsionado con agua disminuye 55% (valor promedio), en relación al valor de opacidad medida al motor funcionando con diesel Premium.
- Al incrementar la cantidad de agua de la microemulsión, la eficiencia de reducción del material particulado (PM) generado por el motor aumenta, por lo tanto disminuye el valor de opacidad medida.
- Al incrementar la cantidad de agua de la microemulsión, la eficiencia de reducción de óxidos de nitrógeno (NO_x) generado por el motor aumenta. La emisión (NO_x) del motor que utiliza diesel Premium microemulsionado con agua disminuye 14% (valor promedio), en relación a la emisión de (NO_x) medidos al motor funcionando con diesel Premium.
- La emisión de hidrocarburos no combustionados (HC) del motor que utiliza diesel Premium microemulsionado con agua disminuye 25% (valor promedio), en relación a la emisión de (HC) medidos al motor funcionando con diesel Premium.
- La emisión de monóxido de carbono (CO) del motor que utiliza diesel Premium microemulsionado con agua disminuye 38% (valor promedio), en relación a la emisión de (CO) medidos al motor funcionando con diesel Premium.
- La emisión de dióxido de carbono (CO₂) del motor que utiliza diesel Premium microemulsionado con agua disminuye hasta 4% (valor promedio), en relación a la emisión de (CO₂) medidos al motor funcionando con diesel Premium.
- La emisión de material particulado (PM) del motor que utiliza diesel Premium microemulsionado con agua disminuye 40% (valor promedio), en relación a la emisión de (PM) medidos al motor funcionando con diesel Premium.
- Los promedios de las mediciones de emisiones de gases contaminantes se encuentran dentro de los límites de confianza de los gráficos de control, por lo que se garantiza la repetibilidad y la reproducibilidad del método de medición en ruta.

- El rendimiento de consumo de combustible es similar al utilizar diesel Premium y diesel microemulsionado con 3%V y 5%V de agua. A largo plazo el ahorro de combustible es notorio cuando a un volumen determinado de combustible diesel se le resta una cantidad pequeña de diesel para remplazarlo por agua y aditivo emulsificante, significando un ahorro económico a largo plazo para el usuario.
- El rendimiento de consumo de combustible utilizando diesel microemulsionado con 8%V de agua, disminuye en 5,5% en relación al rendimiento de consumo de combustible utilizando diesel Premium. Es decir, que para recorrer una longitud de 30.1 km se necesitó más combustible en relación al volumen de diesel Premium utilizado.
- La viscosidad del aceite usado del motor que funcionó con diesel Premium microemulsionado con agua se mantiene dentro de los rangos de viscosidad aceptable de diseño del motor, y del valor de viscosidad que indica el fabricante del aceite.
- En una misma distancia recorrida, el valor de viscosidad del aceite usado del motor que funciona con diesel microemulsionado con agua disminuye aproximadamente 0,35 (35%) veces más que la viscosidad del aceite usado del motor funcionando solamente con diesel Premium. Es decir, aumenta la proporción de degradación del aceite especialmente al finalizar el intervalo recorrido para el cambio de aceite.
- El Número Base Total (TBN) del aceite usado del motor funcionando con diesel Premium microemulsionado con agua es similar al TBN del aceite usado del motor que utiliza diesel Premium. Además, no existe variación con respecto al TBN del aceite nuevo.
- La utilización de diesel microemulsionado con agua no genera dilución de agua en el aceite del motor (presencia nula).
- La cantidad de metales de desgaste presentes en el aceite analizado del motor funcionando con diesel microemulsionado con agua están dentro de los límites permisibles.

- Las microemulsiones más idóneas que se puede utilizar en el motor diesel para circular en la ciudad de Quito son: diesel microemulsionado con 3%V y 5%V de agua.
- En cuanto al comportamiento dinámico del vehículo con el uso de diesel microemulsionado con 3%V y 5%V de agua y diesel Premium no se notó diferencia apreciable.
- El comportamiento dinámico del vehículo usando diesel microemulsionado con 8%V de agua se notó que existe una disminución de la velocidad de circulación al desplazarse por pendientes de alto grado de inclinación (grado 6: +5% a +10% de pendiente), por lo que fue necesario realizar el cambio de marcha en la transmisión a una más fuerte. En vías planas y pendientes no muy pronunciadas no se notó diferencia apreciable.
- Todas las microemulsiones de diesel con agua reducen significativamente las emisiones de partículas sólidas (opacidad), CO, CO₂, NO_x y HC; mantiene limpios los elementos de los sistemas de gases de escape y, en general, mejora todos los índices de emisiones de los motores.
- Debido al incremento volumétrico por la adición de agua y aditivo emulsificante al combustible diesel, el azufre disminuye y por lo tanto aunque no se midió es de suponer que los óxidos de azufre (SO_x) de los gases de combustión disminuyeron.
- El diesel microemulsionado con agua puede ser utilizado en motores diesel con sistemas de inyección de combustible de alta presión, dentro de las ciudades en vehículos de transporte urbano, transporte estudiantil, vehículos de reparto, flotas de recolectores de desechos, fuera de las ciudades en transporte pesado, maquinaria agrícola, equipo de minería, y construcción, equipo naviero entre otros. El motor no necesita ser modificado para utilizar el combustible microemulsionado con agua.

6.2 RECOMENDACIONES

- Para cumplir los límites permisibles de las normas ambientales de emisiones como por ejemplo la EURO IV y EURO V, se debe disminuir la cantidad máxima de azufre del diesel (<50ppm) que se expende en el país.
- Con los resultados obtenidos de la utilización de combustibles diesel microemulsionado, se recomienda realizar el cambio de aceite del motor y filtro de aceite cada 3500 km de recorrido.
- El análisis de aceite debe ejecutarse en forma continua para establecer un historial del grado real de desgaste del motor que opera con diesel microemulsionado con agua, especialmente debido a que las características de desgaste varían mucho aún en motores de la misma marca y modelo.
- Para garantizar la estabilización de la mezcla diesel-agua (combustible microemulsionado) es necesario incorporar un sistema de recirculación, especialmente cuando los tiempos de almacenamiento son prolongados como de 2 a 6 meses.
- Antes de cargar por primera vez al vehículo con diesel microemulsionado con agua se sugiere revisar el estado del tanque y lavarlo. Una vez cargado realizar revisiones periódicas del sistema de alimentación de combustible y verificar que estos no presenten daños ni fugas.
- Desde la primera vez que se carga al vehículo con diesel microemulsionado con agua se sugiere realizar una verificación del estado de los filtros de combustible cada 300 km de recorrido hasta que la emisión de material particulado (humo negro) desaparezca, la microemulsión actúa como un detergente que limpia los elementos mecánicos que tienen depósitos de carbón.

BIBLIOGRAFÍA

- CARDENAS EDWIN, KASLIN JORGE; Caracterización tecnológica del parque automotor del Distrito Metropolitano de Quito y propuesta para la reforma de la normativa ecuatoriana de emisiones en fuentes móviles terrestres; EPN; Quito, 2007.
- ALBÁN EDWIN, LÓPEZ JONNY; Desarrollo y validación de un método para la determinación de factores de emisión vehicular mediante pruebas a bordo en la ciudad de Quito; Tesis Facultad de Ingeniería Mecánica; Escuela Politécnica Nacional; Quito; 2010.
- URVINA VICTOR; Determinación de los factores reales de emisión de los motores ciclo Otto en la ciudad de Quito; Tesis Facultad de Ingeniería Mecánica; Escuela Politécnica Nacional; Quito; 2008.
- MUÑOZ EDGAR; Desarrollo de un método para determinar factores de emisión en vehículos livianos a gasolina de Quito. Tesis Facultad de Ingeniería Mecánica; Escuela Politécnica Nacional; Quito; 2005.
- CHALÁ FRNKLIN, ÑACATO JAIME; Estudio Comparativo del uso de biocombustible y gasolina en motores de ciclo Otto; EPN; Quito; 2008.
- CORPAIRE; Plan de manejo de la calidad del aire del DMQ 205-2010; Quito 2005.
- CORPAIRE; Informativo sobre el aire puro de Quito, Quito, 2008.
- CORPAIRE; Inventario de emisiones del Distrito Metropolitano de Quito, Quito, 2007.
- FUNDACIÓN NATURA; Incremento de enfermedades respiratorias en escolares de Quito por contaminación atmosférica de origen vehicular, Quito; Octubre 2000.
- ESCOBAR J.; Actualización del Inventario de Contaminantes Atmosféricos en la Región metropolitana; DICTUC; Santiago; 2005.
- ORTEGA GARCÍA J. A.; Autobuses escolares y motores diesel: contaminación atmosférica, exposición pediátrica y efectos adversos en la salud humana; Grupo de Trabajo de Salud Medioambiental de la Sociedad Valenciana de Pediatría; Valencia; 2000.

- HUERTAS J., MENDOZA J.; Uso de la Información Recolectada en Verificentros para Estimar Emisiones Vehiculares; TECNOLOGICO DE MONTERREY; México; 2008.
- SABARATO R., SABARATO V., ORTEGA J.; Predicción y Evaluación de Impactos Ambientales Sobre la Atmósfera; UNC; Córdoba; 2007.
- BLUMBERG K., WALSH M., PERA CH.; Gasolina y Diesel de Bajo Azufre, la Clave para Disminuir las Emisiones Vehiculares; New York; 2003.
- IHMEA; Comparación de la Normatividad Nacional e Internacional en Materia de Calidad del Aire, Fuentes Fijas, Fuentes Móviles, Ruido y Calidad de Combustibles; Bogotá D.C.; 2005.
- GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL; Campaña de Monitoreo Ambiental a Distancia de Vehículos; México; 2006.
- HERZ H., El Impacto Ambiental de la Revisión Técnica Vehicular; Su Aporte en el Control de Emisiones Vehiculares Contaminantes; Apoyo técnico GTZ; Costa Rica; 2005.
- ARIAZ PAZ; Manual de Automóviles; Editorial Dossat S.A.; España; 1990.
- DOMÍNGUEZ PRIETO G.; Evaluación del desgaste en el sistema de alimentación del motor diesel utilizando el emulsor agua diesel de uso inmediato; Trabajo de Diplomado; Facultad Ingeniería Mecánica; Universidad Central de las Villas UCLV; Cuba; 1996.
- ALVARADO SONIA; Modelación de las emisiones del parque automotor en la ciudad de Cochabamba; Bolivia; 2005.
- OCAMPO BARRERA RENE; Combustión de emulsiones de agua en combustóleo y perspectivas de aplicación en México; 1998.
- NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1489:89; Productos derivados del Petróleo – Diesel.
- PÁEZ CARLOS; Minimización de las emisiones atmosféricas provenientes del tráfico vehicular en Quito: pasado, presente y futuro; CORPAIRE; 2006.
- BEHREND, O., SCHUBERT, H; Influencia de la viscosidad de fase continua en la emulsificación por ultrasonido, en: Ultrasonidos Sonochemistry; 2000.
- GONCALVES DAVID; Evaluación en Banco de Microemulsiones de Agua en Diesel en un Motor DDC 1991 Serie 60; San Cristóbal Venezuela; 2006.

- SAYEL M. FAYYAD; Experimental Emulsified Diesel and Benzen Investigation; Mayo 2010.
- LIF ANNA; Water in diesel emulsions and related systems; Chalmers University of Technology; 2006.

CONSULTAS WEB

- <http://www.jaon.es/epoch/aquazole/Aquazole2002.pdf>
- <http://www.cepis.org.pe/bvsci/E/fulltext/3encuent/lubrizol.pdf>
- <http://www.cuencaire.org.ec/Cuencaire/Archivos/Proyecto+pruebas+con+hidrodiel.pdf>
- <http://www.italolatina.com/>
- <http://www.jaon.es/epoch/epoch.pdf>
- <http://www.epochemulsions.com/epoch.htm>
- <http://www.ucentral.edu.co/CIFI/boletin/VIGILANCIA-CIENTIFICA%202.pdf>
- http://www.arb.ca.gov/fuels/diesel/altdiesel/a_spataru.pdf#search=%22emulsified%20diesel%22
- <http://www.epa.gov/otaq/retrofit/techlist-lubrizol.htm>
- <http://www.emfuel.com/elib/elib011.pdf>
- http://www.hielscher.com/es/oil_nox_reduction.htm
- <http://www.maxwellsci.com/print/rjaset/v2-268-273.pdf>
- http://petrophase2010.com/P1-14_Basha.pdf
- http://www.eurojournals.com/ejsr_43_4_13.pdf
- <http://www.kanagawa-u.ac.jp/13/pressrelease/pdf/060727.pdf>
- <http://www.laccei.org/LACCEI2009-Venezuela/p240.pdf>
- <http://www.hull.ac.uk/scg/paunov/paunov06536-9.pdf>
- <http://www.authorstream.com/Presentation/aSGuest54570-439278-microemulsion/>
- <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/5510/Capitulo2.pdf>
- http://depa.pquim.unam.mx/amyd/archivero/FirpEmuls1_5374.pdf
- http://www.firp.ula.ve/archivos/tesis/08_PG_Velazquez.pdf
- http://campus.usal.es/~licesio/Sistemas_Coloidales/SC03_2008.pdf
- <http://www.scribd.com/doc/17610455/Introduccion-a-Las-Emulsiones>
- http://www.firp.ula.ve/archivos/pdf/06_ACIS_Lif_diesel_emulsion.pdf
- <http://cabierta.uchile.cl/revista/22/articulos/pdf/rev4.pdf>
- <http://www.icp.csic.es/cyted/Monografias/Monografias1998/A4-115.pdf>
- http://ciruelo.uninorte.edu.co/pdf/ingenieria_desarrollo/8/analisis_comparativo_de_motores.pdf
- <http://www.dieselnet.com/standards/cycles/>
- <http://www.scarabaeus-emulsion.cl/Informe-de-investigacion.pdf>
- <http://www.widman.biz/Seleccion/viscosidad.html>
- http://www.vibratec.net/pages/tecnico5_anaaceites.html

ANEXOS