

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA: INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ

**Tesis previa a la
Obtención del Título de:
Ingeniero Mecánico Automotriz**

**“Determinación de las Causas del Desgaste Prematuro de los
Catalizadores del Vehículo Hyundai Santa Fe a Diesel del Año
2008”**

Autores:

**Washington Rigael Cajas Quisatasig
Wilson Mauricio Loarte Cabrera**

Director:

Ing. Paúl Méndez

CUENCA – ECUADOR

2012

Yo, Ing. Paúl Méndez certifico que bajo mi dirección el proyecto de tesis fue realizado por los señores:

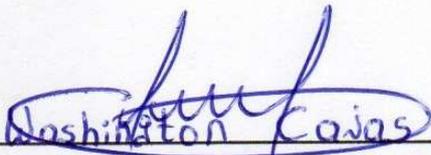
- **Washington Rigael Cajas Quisatasig.**
- **Wilson Mauricio Loarte Cabrera.**



Ing. Paúl Méndez
DIRECTOR DE TESIS

DECLARACIÓN

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, nos corresponde exclusivamente y autorizamos a la Universidad Politécnica Salesiana el uso de la misma para fines académicos”



Washington Rigael Cajas Quisatasig



Wilson Mauricio Loarte Cabrera

DEDICATORIA

Esta tesis dedico especialmente a mis padres Segundo Cajas A. María QuisatasigO. que me dieron la vida y han estado conmigo en todo momento. Gracias por todo papá y mamá por darme una carrera para mi futuro y por creer en mí aunque hemos pasado momentos difíciles siempre han estado apoyándome y brindándome todo su amor, por todo eso les agradezco de todo corazón el que estén conmigo a mi lado.

Los quiero con todo mi corazón y este trabajo que me llevo un año y medio en hacerlo es para ustedes, por ser el último de sus hijos aquí esta los que ustedes me brindaron, solamente les estoy devolviendo lo que ustedes me dieron en un principio.

A mis hermanos Rosa, Bolívar, Giovanna, Esperanza Cajas. Gracias por ayudarme al comienzo de esta carrera que ha sido larga en mi vida profesional.

Washington Rigael Cajas
Quisatasig.

DEDICATORIA

Esta tesis esta dedicada principalmente a Dios ya que gracias a él, que me dio la vida he logrado cumplir uno de mis sueños, en el ámbito profesional, y de manera especial a mis padres Manuel Loarte P. y Vitalina Cabrera A. Quienes han sido un pilar fundamental en mi trayectoria de crecer, en todos los aspectos, para sí culminar mis estudios universitarios, ya que con su apoyo moral, económico y humanístico, ha logrado darme su mano para salir adelante con éxito, a mi hermana Yuri Loarte Cabrera, ya que me apoyo en cada momento de mi carrera para seguir adelante en mis estudios.

También dedico esta tesis a una persona que forma parte de mi vida a mi esposa Susana Ramos y mi hijo que me han apoyado en todo momento, con sus consejos y opiniones, los cuales me sirvieron de mucho para culminar esta tesis.

MAURICIO LOARTE C.

Agradecimiento

A Dios por darnos sabiduría, el conocimiento y la constancia para culminar nuestros estudios universitarios.

A mis padres que día a día me dieron su apoyo incondicional a pesar de la distancia que nos encontrábamos, han sido mi pilar para la culminación de mis estudios.

A mis hermanos que aportaron un granito de arena para la culminación de mi carrera además por la confianza que depositaron en mí.

Washington Rigael Cajas
Quisatasig.

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a Dios por iluminarme y guiarme en todo momento, a mis padres un agradecimiento muy especial por todo el apoyo incondicional a lo largo mi carrera universitaria, agradezco a mi hermana por apoyarme incondicional en cada momento, agradezco a mi esposa por todo su apoyo y comprensión a lo largo de mi carrera.

Y finalmente agradezco a todas las personas que me apoyaron para lograr la culminación de esta tesis previa a la obtención del título de Ingeniero en Mecánica Automotriz.

MAURICIO LOARTE C.

ABSTRAC

TEMA: “DETERMINACIÓN DE LAS CAUSAS DEL DESGASTE PREMATURO DE LOS CATALIZADORES DEL VEHÍCULO HYUNDAI SANTA FE A DIESEL DEL AÑO 2008”

Washington Rigael Cajas Quisatasig

Wilson Mauricio Loarte Cabrera

En la actualidad los vehículos son la principal causa de contaminación ambiental, debido a esto agencias de protección ambiental se han visto en la necesidad de obligar a las empresas fabricantes de vehículos que desarrollen sistemas que disminuyan la contaminación y así poder reducir el impacto ambiental, uno de los sistemas más importantes y efectivo es el convertidor catalítico que tiene como misión disminuir los elementos contaminantes contenidos en los gases de escape de un vehículo mediante la técnica de la catálisis, es decir se trata gases de poca estabilidad molecular dañinos para el cuerpo humano y el medio ambiente para convertirlos en gases inofensivos y agua, sin embargo en nuestra ciudad este sistema se ve afectado y deteriorado por algunos factores como: mal combustible, la cantidad de aire que tenemos debido a la altura en la ciudad de Cuenca, temperatura de funcionamiento del motor, degradación hidrolítica del aceite, entre otros.

El convertidor catalítico oxidante llega a ser un dispositivo indispensable en todos los vehículos que no debe ser eliminado cuando se produce su deterioro sino reemplazado, pero en la ciudad de Cuenca debido a su deterioro prematuro es decir a los 60000 km de uso se lo elimina, es por esto que se da el interés de estudiar cuales son los factores que permiten que se dé el deterioro prematuro del catalizador oxidante.

Para el desarrollo de este proyecto se realizó como primer punto la determinación de si el catalizador del Hyundai Santa Fe es oxidante o de tres vías, ya que no se tenía la

información técnica, para la comprobación de este punto se realizó un análisis de gases con y sin catalizador para observar si los NO_x variaban en un porcentaje alto lo que nos permitiría entender que es un catalizador de tres vías pero como el índice de variación era de apenas el 15% se concluyó que era un catalizador oxidante, también con los valores de esta prueba se determinó la eficiencia del catalizador teniendo un valor de eficiencia del 85% de disminución de gases contaminantes con el catalizador instalado en el vehículo.

Como segundo punto se realizó pruebas puntuales para determinar cuál es el índice de influencia de cada factor, los factores que se analizaron son: la temperatura de funcionamiento del motor influye en un 10%, la degradación del aceite aumenta en un 29% las emisiones contaminantes, el uso de aditivo disminuye en un 23% las emisiones, y la altura de nuestra ciudad nos da un aumento de 25% de emisiones, al tomar en cuenta todos estos factores sabemos que del 100% de los gases de escape de un vehículo a diesel el 87% de estos gases pueden ser eliminados si se trabajara en condiciones óptimas, es decir si el vehículo alcanza su temperatura ideal de funcionamiento antes de arrancar, que el aceite sea cambiado antes de que se dé la degradación hidrolítica, que el diesel que se usa tenga un índice de cetanos de 50 unidades y una cantidad de azufre máxima de 300 ppm y que el vehículo ruede a nivel del mar.

Luego de determinar los índices de influencia de cada factor realizamos un análisis de desgaste normal y desgaste prematuro, para este análisis a los valores de gases contaminantes de las pruebas realizadas en la Ciudad de Cuenca se disminuye el 87% de ese valor y realizamos un análisis en condiciones normales de funcionamiento, mientras que para el análisis del desgaste prematuro se toma los mismos datos pero sin disminuirles el 87% ya que estos datos son con los que trabaja realmente este vehículo constantemente en la ciudad de Cuenca, y se logra determinar que el convertidor oxidante trabaja correctamente hasta los 60000 km, en función de estos datos también podemos dar la conclusión final de que los factores puntuales analizados anteriormente son los causantes del deterioro prematuro, ya que al aumentar las emisiones contaminantes se aumenta directamente las partículas de hollín que producen el taponamiento del catalizador ya que el desgaste del catalizador no es por pérdida de eficiencia o de sectores activos sino por taponamiento en la tobera de entrada como se demostró en el capítulo cuatro.



ÍNDICE

CAPITULO I.....	1
FUNCIONAMIENTO Y CARACTERISTICAS DE LOS CATALIZADORES DIESEL...	1
1.1 MISION DEL CATALIZADOR.....	1
1.2 FUNCIONAMIENTO DEL CATALIZADOR DIESEL	1
1.3 UBICACIÓN.....	4
1.4 CONCEPTO GENERAL DE CONVERTIDOR CATALÍTICO.	4
1.4.1 Definición de catálisis:	7
1.4.1.1 Reacción química del catalizador oxidante	13
1.4.1.2 Las principales características que distinguen a un catalizador son:.....	16
1.4.1.3 Optimización de un catalizador	19
1.4.2 Tipos de catalizadores	20
1.4.2.1 Catalizador oxidante	20
1.4.2.1.1 Tamaño y cantidad de los materiales catalizantes en el catalizador oxidante.	23
1.4.2.2 Catalizador de dos vías o doble cuerpo	24
1.4.2.3 Catalizador de tres vías.....	24
1.4.2.3.1 Proceso químico interno del convertidor catalítico de tres vías.	25
1.4.2.3.1.1 Etapa de reducción	25
1.4.2.3.1.2 Etapa de oxidación	25
1.4.2.3.2 Tipos de catalizadores de tres vías	25
1.4.2.3.2.1 Catalizador de tres vías con toma de aire:	25
1.4.2.3.2.2 Catalizador de tres vías sin toma de aire:	26
1.4.2.3.2.2.1 Sistema de control de los convertidores catalíticos de tres vías.	26
1.4.2.4 Sonda lambda	26
1.4.2.5 Estudio de los metales preciosos del catalizador y sus efectos secundarios	27
1.4.2.5.1 Paladio	27
1.4.2.5.1.1 Efectos del Paladio sobre la salud	29
1.4.2.5.1.2 Medidas de Primeros Auxilios	29
1.4.2.5.2 Platino.....	30



1.4.2.5.2.1 Las virtudes del platino	30
1.4.2.5.3 Rodio	31
CAPITULO II.....	33
PRINCIPALES CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS PRODUCIDOS POR LOS MOTORES DIESEL	33
2.1 FUENTES FIJAS:	33
2.2 FUENTES MOVILES:.....	34
2.2.1 El proceso de combustión.....	34
2.2.2 Combustión Completa del Diesel	34
2.2.3 Combustión incompleta del Diesel.....	35
2.3 COMBUSTIÓN DE LOS MOTORES DIESEL.....	36
2.3.1 Etapa 1 (Retardo a la inflamación).....	36
2.3.2 Etapa 2 (Combustión incontrolada).....	37
2.3.3 Etapa 3 (Combustión controlada).....	37
2.4 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA COMBUSTIÓN DE LOS MOTORES DIESEL.	40
2.4.1 Formación de la mezcla aire combustible en los motores diesel.....	40
2.4.2 Transcurso de la combustión.	40
2.4.3 Propiedades de los combustibles.	40
2.4.4 Propiedades de los combustibles de Ecuador: NTE INEN 1 489:99	41
2.4.4.1 Volatilidad:	43
2.4.4.2 Peso específico:	43
2.4.4.3 Viscosidad:	44
2.4.4.4 Poder calorífico:	44
2.4.4.5 Consumo de aire:.....	44
2.4.4.6 Fluidez y punto de congelación.	45
2.4.4.7 Cetanaje.	45
2.4.4.8 Todos estos factores antes analizados influyen en que se produzca más o menos gases contaminantes dependiendo de la calidad del diesel.	46
2.5 LOS PRINCIPALES CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EMITIDOS POR LOS VEHÍCULOS.	47
2.5.1 Los componentes principales	47
2.5.2 Los componentes secundarios	48
2.5.3 Reacción general.....	49



2.5.3.1 Los hidrocarburos:	49
2.5.3.2 Óxidos de Nitrógeno NO _x	50
2.5.3.3 Formación de los Óxidos de Nitrógeno:.....	51
2.5.3.4 Monóxido de carbono CO:	51
2.5.3.5 Dióxido de azufre SO ₂	52
2.5.3.6 Humos Negros:	52
2.5.3.7 Oxidantes:.....	53
2.7 EFECTOS DE LOS CONTAMINANTES EN EL HOMBRE Y ECOSISTEMA. ..	54
2.7.1 Monóxido de carbono.....	55
2.7.2 Óxidos de nitrógeno	55
2.7.3 Hidrocarburos	55
2.7.4 Dióxido de Azufre	55
2.7.5 Humos negros y partículas.	55
2.7.6 Dióxido de carbono	56
2.8 MEDIDAS EN EL DISEÑO DEL MOTOR DEL HYUNDAI PARA DISMINUIR LAS EMISIONES CONTAMINANTES.	56
2.8.1 Diseño de la cámara de combustión.	56
2.8.2 Inyección de combustible y ángulo de avance a la inyección del combustible..	56
2.8.3 Retroalimentación de los gases de escape	57
2.8.4 Relación de compresión.....	58
2.8.5 Calidad de la pulverización y duración de la alimentación de combustible.....	58
2.8.6 Turbulencia.....	58
2.8.7 Recirculación de los gases:.....	58
2.8.7.1 Funcionamiento del sistema de recirculación de gases:	59
2.8.7.2 Las medidas adoptadas para reducir la emisión de NO _x son:	59
2.9 FUNCIONAMIENTO DE LA EGR EN EL HYUNDAI SANTA FE DIESEL.....	59
2.9.1 Disminuir el oxígeno residual	59
2.10 DIESEL ECOLOGICO "PREMIUM"	61
2.10.1 Ventajas del uso del producto.....	63
2.10.2 Características.....	63
2.10.3 Usos	63
CAPITULO 3	64
REALIZAR LAS PRUEBAS RESPECTIVAS PARA DETERMINAR EL DESGASTE PREMATURO DE LOS CATALIZADORES A DIESEL.....	64



3.1 ANÁLISIS DE LA DURACIÓN DEL CATALIZADOR OXIDANTE CON UN DESGASTE NORMAL Y CON UN DESGASTE PREMATURO EN FUNCIÓN DEL KILOMETRAJE.....	64
3.2 ANÁLISIS DEL TIPO DE CATALIZADOR DEL HYUNDAI SANTA FE Y EFICIENCIA DEL MISMO.....	69
3.2.1 Determinación del tipo de catalizador del Hyundai Santa Fe en función de la variación de los óxidos de nitrógeno.	70
3.2.2 Determinación de la eficiencia del catalizador del Hyundai Santa Fe en función de la variación de los Hidrocarburos y Monóxido de carbono.....	70
3.2.2.1 Variación de HC en ralentí.....	71
3.2.2.2 Variación de HC en altas rpm.	72
3.2.2.3 Variación de CO en ralentí.....	73
.....	73
3.2.2.4 Variación de CO en altas rpm.	74
3.3 DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES PUNTUALES QUE PRODUCEN EL DETERIORO PREMATURO DEL CATALIZADOR DEL HYUNDAI SANTA FE. ..	75
3.3.1 Análisis de la influencia del tipo de Diesel utilizado en el Hyundai Santa Fe. ...	77
3.3.2 Análisis de la influencia que tiene la Temperatura de funcionamiento del motor sobre la emisión de gases contaminantes.	79
3.3.2.1 Datos y Análisis de la variación de CO en función de la Temperatura.....	80
3.3.2.2 Datos y Análisis de la variación de NO _x en función de la Temperatura.	82
3.3.3 Análisis de la influencia que tiene la degradación del aceite para la emisión de gases contaminantes.	84
3.3.3.1 Datos y Análisis de la variación de CO en función de la degradación del aceite.....	85
3.3.3.2 Datos y Análisis de la variación de SO ₂ en función de la degradación del aceite.....	86
3.3.4 Análisis de la influencia de un aditivo mejorador de combustible sobre la emisión de gases contaminantes.....	88
3.3.4.1 Datos y Análisis de la variación de CO en función de diesel Premium y diesel Premium+aditivo.....	89
3.3.4.2 Datos y Análisis de la variación de SO ₂ en función de diesel Premium y diesel Premium+aditivo.....	90
3.3.5 Análisis de la influencia de la altura de la ciudad de cuenca sobre la emisión de gases contaminantes.	92
3.3.5.1 Datos y Análisis de la variación de CO en función de la calidad del aire....	92
3.3.5.2 Datos y Análisis de la variación de NO _x en función de la calidad del aire..	94
3.3.5.3 Datos y Análisis de la variación de SO ₂ en función de la calidad del aire...	95



3.4 SEGUIMIENTO DEL HYUNDAI SANTA FE PARA DETERMINAR EL DETERIORO EN FUNCIÓN DEL KILOMETRAJE	97
3.4.1 Método 1 para la obtención de la variación de datos en 5000Km.....	97
3.4.1.1 Datos y Análisis de la variación de CO en función del kilometraje (5000Km)	97
3.4.2 Método 2 para la obtención de la variación de datos en 10000Km.....	100
3.4.2.1 Análisis de la variación de CO en 10000 Km	101
3.4.2.2 Análisis de la variación de HC en 10000 Km	102
3.5 ESTUDIO DE LOS MEDIDORES DE GASES UTILIZADOS	104
3.5.1 Equipo cleanAIR:	104
3.5.2 Pasos a realizar para la Medición de Gases	104
3.5.2.1 INTE INEN 2202:99.....	104
3.5.2.1.1 Objeto.....	105
3.5.2.1.2 Alcance	105
3.5.2.1.3 Procedimiento de Medición.....	105
3.5.3 Equipo TESTO 350M/XL	108
3.5.3.2 Normativa	110
CAPITULO 4	111
ANALISIS DE FALLAS DE LOS CATALIZADORES A DIESEL.....	111
4.1 AVERÍAS DE LOS CATALIZADORES EN CUENCA	111
4.1.1 Indicadores de Avería.....	111
4.2 CAUSAS DE AVERÍA DEL CATALIZADOR.....	112
4.3 ESTUDIO DE LA DESACTIVACIÓN DE LOS CATALIZADORES	113
4.4 ESTUDIO DE LA DESACTIVACIÓN PREMATURA DE LOS CATALIZADORES EN CUENCA	117
4.5 RECOMENDACIONES PARA EVITAR PROBLEMAS CON EL CATALIZADOR	124
CAPITULO 5	125
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	125
5.1 CONCLUSIONES FINALES.	125
5.2 RECOMENDACIONES FINALES	127

**ÍNDICE DE FIGURAS**

FIG. 1.1	ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN
FIG. 1.2	ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE UN CATALIZADOR DE OXIDACIÓN
FIG. 1.3	UBICACIÓN DEL CATALIZADOR EN EL AUTOMÓVIL
FIG. 1.4	INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN UN CATALIZADOR
FIG. 1.5	ESQUEMA DE UN CATALIZADOR.
FIG. 1.6	DIAGRAMA DE LA CATÁLISIS.
FIG. 1.7	DIAGRAMA DE ENERGÍA POTENCIAL PARA UNA REACCIÓN QUÍMICA.
FIG. 1.8	CURVA DE LA ENERGÍA POTENCIAL PARA UN PROCESO CATALÍTICO.
FIG. 1.9	ETAPAS DEL PROCESO CATALITICO.
FIG. 1.10	TEORÍA DE LAS COLISIONES.
FIG. 1.11	REACCIÓN QUÍMICA DEL CATALIZADOR OXIDANTE
FIG. 1.12	REACCIÓN QUÍMICA DEL CATALIZADOR OXIDANTE
FIG. 1.13	CATALIZADOR OXIDANTE
FIG. 1.14	CATALIZADOR OXIDANTE
FIG. 1.15	DIFERENCIAS DE CONTAMINACIÓN ENTRE MOTOR OTTO Y DIESEL
FIG. 1.16	TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE LOS METALES PRECIOSOS
FIG. 1.17	CATALIZADOR DE DOS VÍAS
FIG. 1.18	CATALIZADOR DE TRES VÍAS CON TOMA DE AIRE
FIG. 1.19	DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO DE CATÁLISIS
FIG. 1.20	APLICACIONES DEL PALADIO
FIG. 1.21	REACCIÓN QUÍMICA DEL PLATINO
FIG. 2.1	MODELO DE LA COMBUSTIÓN DIESEL
FIG. 2.2	PROCESO DE COMBUSTIÓN DIESEL
FIG. 2.3	REACCIONES DEL NITRÓGENO
FIG. 2.4	PARTÍCULAS DE HOLLÍN
FIG. 2.5	PORCENTAJE DE EMISIONES DE LOS MOTORES DIESEL
FIG. 2.6	PORCENTAJE DE CONTAMINANTES DE LOS MOTORES DIESEL
FIG. 2.7	VÁLVULA DE CONTROL DE ENTRADA DE AIRE (ACV)
FIG. 2.8	VÁLVULA DE CONTROL DE ENTRADA DE AIRE (ACV)
FIG. 2.9	VÁLVULA DE CONTROL DE ENTRADA DE AIRE (ACV)
FIG.3.1	VARIACIÓN DE CO CON DESGASTE NORMAL Y DESGASTE PREMATURO
FIG.3.2	VARIACIÓN DE HC CON DESGASTE NORMAL Y DESGASTE PREMATURO.
FIG.3.3	VARIACIÓN DE LOS VALORES DE NO _x
FIG.3.4	VARIACIÓN DE LOS VALORES DE HC A 800 RPM
FIG.3.5	VARIACIÓN DE LOS VALORES DE HC EN ALTAS RPM
FIG.3.6	VARIACIÓN DE LOS VALORES DE CO A 800 RPM
FIG.3.7	VARIACIÓN DE LOS VALORES DE CO EN ALTAS RPM



- FIG.3.8** VARIACIÓN DE SO₂ EN RALENTÍ
- FIG.3.9** VARIACIÓN DE SO₂ A 2500 RPM
- FIG.3.10** INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA DEL MOTOR
- FIG.3.11** VARIACIÓN DE CO EN RALENTÍ EN FUNCIÓN DE LA TEMP
- FIG.3.12** VARIACIÓN DE CO A 2500 RPM EN FUNCIÓN DE LA TEMP
- FIG.3.13** VARIACIÓN DE NO_x EN FUNCIÓN DE LA TEMP. EN RALENTÍ
- FIG.3.14** VARIACIÓN DE NO_x EN FUNCIÓN DE LA TEMP. 2500 RPM
- FIG.3.15** VARIACIÓN DE CO EN FUNCIÓN DE LA DEGRADACIÓN DEL ACEITE. RALENTÍ
- FIG.3.16** VARIACIÓN DE CO EN FUNCIÓN DE LA DEGRADACIÓN DEL ACEITE. 2500 RPM
- FIG.3.17** VARIACIÓN DE SO₂ EN FUNCIÓN DE LA DEGRADACIÓN DEL ACEITE. RALENTÍ
- FIG.3.18** VARIACIÓN DE SO₂ EN FUNCIÓN DE LA DEGRADACIÓN DEL ACEITE. 2500 RPM
- FIG.3.19** VARIACIÓN DE CO EN FUNCIÓN DE DIESEL PREMIUM Y D. PREMIUM+ADITIVO. RALENTÍ
- FIG.3.20** VARIACIÓN DE CO EN FUNCIÓN DE DIESEL PREMIUM Y D. PREMIUM+ADITIVO. 2500 RPM
- FIG.3.21** VARIACIÓN DEL DIÓXIDO DE AZUFRE SO₂ EN FUNCIÓN DE D. PREMIUM Y D. PREMIUM+ADITIVO
- FIG.3.22** VARIACIÓN DE CO EN FUNCIÓN DE ALTITUD. RALENTÍ
- FIG.3.23** VARIACIÓN DE CO EN FUNCIÓN DE ALTITUD. 2500 RPM
- FIG.3.24** VARIACIÓN DE NO_x EN FUNCIÓN DE LA ALTITUD
- FIG.3.25** VARIACIÓN DE SO₂ EN FUNCIÓN DE LA ALTITUD.
- FIG.3.26** VARIACIÓN DE CO EN FUNCIÓN DEL KILOMETRAJE (5000 KM) RALENTÍ.
- FIG.3.27** VARIACIÓN DE CO EN FUNCIÓN DEL KILOMETRAJE (5000 KM) 2500 RPM.
- FIG.3.28** VARIACIÓN DE CO EN FUNCIÓN DEL KILOMETRAJE (10000 KM) RALENTÍ
- FIG.3.29** VARIACIÓN DE CO EN FUNCIÓN DEL KILOMETRAJE (10000 KM) A 2500 RPM.
- FIG.3.30** VARIACIÓN DE HC EN FUNCIÓN DEL KILOMETRAJE (10000 KM) RALENTÍ.
- FIG.3.31** VARIACIÓN DE HC EN FUNCIÓN DEL KILOMETRAJE (10000 KM) A 2500 RPM.
- FIG.3.32** ANALIZADOR CLEANAIR
- FIG.3.33** CRV GUAMANI
- FIG.3.34** ELEMENTOS DEL ANALIZADOR CLEANAIR
- FIG.3.35** FAJAS DE SEGURIDAD
- FIG.3.36** VENTILADOR
- FIG.3.37** EQUIPO TESTO 350 M/XL
- FIG.4.1** VELOCIDAD DE SALIDA DE LOS GASES DE ESCAPE
- FIG.4.2** AVERÍAS DE LOS CATALIZADORES
- FIG.4.3** SINTERIZACIÓN DEL CATALIZADOR (SUSTRATO DERRETIDO)
- FIG.4.4** DIAGRAMA DEL PROCESO DE DESACTIVACIÓN DEL CATALIZADOR
- FIG.4.5** TOBERA DE ENTRADA Y SALIDA DEL CATALIZADOR OXIDANTE
- FIG.4.6** TOBERA DE ENTRADA
- FIG.4.7** BOCA DE ENTRADA DE LOS GASES DE ESCAPE AL CATALIZADOR



	OXIDANTE
FIG.4.8	DIFERENCIA DE ACUMULACIÓN DE CARBONILLA ENTRE LA BOCA DE ENTRADA Y SALIDA DEL CATALIZADOR OXIDANTE
FIG.4.9	MALLA DE PROTECCIÓN DEL MONOLITO CERÁMICO
FIG.4.10	DIMENSIONES DEL MONOLITO CERÁMICO
FIG.4.11	CORTES DEL MONOLITO CERÁMICO CADA 4.25 CM
FIG.4.12	PRESENCIA DE CARBONILLA EN LA ENTRADA DEL CATALIZADOR
FIG.4.13	PRESENCIA DE CARBONILLA A 4.25 CM DE PROFUNDIDAD DESDE LA ENTRADA
FIG.4.14	PRESENCIA DE CARBONILLA A 8.5 CM DE PROFUNDIDAD DESDE LA ENTRADA
FIG.4.15	PRESENCIA DE CARBONILLA A 12.75 CM DE PROFUNDIDAD DESDE LA ENTRADA
FIG.4.16	PRESENCIA DE CARBONILLA A LA SALIDA DEL CATALIZADOR (17 CM)
FIG.5.1	TAPONAMIENTO DE LA BOCA DE ENTRADA DEL CATALIZADOR OXIDANTE

**ÍNDICE DE TABLAS**

TAB. 1.1	COMPUESTOS EMITIDOS AL MEDIO AMBIENTE DURANTE LA COMBUSTIÓN
TAB. 1.2	TIPOS DE CATALIZADORES Y SUS USOS.
TAB. 2.1	REQUISITOS DEL DIESEL NO.1.
TAB. 2.2	REQUISITOS DEL DIESEL NO.2.
TAB. 2.3	REQUISITOS DEL DIESEL NO.2 DE BAJO CONTENIDO DE AZUFRE
TAB. 2.4	PRINCIPALES GASES DE ESCAPE
TAB. 2.5	PRINCIPALES REACCIONES QUÍMICAS EN COMBUSTIÓN COMPLETA
TAB. 2.6	NORMATIVA DEL DIESEL PREMIUM
TAB. 3.1	VALORES PARA EL ANÁLISIS DEL DESGASTE DEL CATALIZADOR EN CONDICIÓN NORMAL Y DESGASTE PREMATURO
TAB. 3.2	DURACIÓN DEL CATALIZADOR CON DESGASTE NORMAL
TAB. 3.3	VALORES DE LOS GASES CONTAMINANTES HYUNDAI SANTA FE CON CATALIZADOR
TAB. 3.4	VALORES DE LOS GASES CONTAMINANTES HYUNDAI SANTA FE SIN CATALIZADOR
TAB. 3.5	EFICIENCIA DEL CATALIZADOR OXIDANTE HYUNDAI SANTA FE
TAB. 3.6	VALORES DE SO ₂ EN FUNCIÓN DEL TIPO DE DIESEL.
TAB. 3.7	VALORES DE CO EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA DEL MOTOR
TAB. 3.8	DATOS DE LA VARIACIÓN DE NO _x EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA.
TAB. 3.9	VALORES DE CO EN FUNCIÓN DE LA DEGRADACIÓN DEL ACEITE
TAB. 3.10	VALORES DE SO ₂ EN FUNCIÓN DE LA DEGRADACIÓN DEL ACEITE.
TAB. 3.11	DONDE TENEMOS UNA COMPARACIÓN DE LOS COMBUSTIBLES DIESEL EN VARIOS PAÍSES
TAB. 3.12	DATOS DE LA VARIACIÓN DE CO EN FUNCIÓN DE DIESEL PREMIUM Y DIESEL PREMIUM+ADITIVO
TAB. 3.13	PARÁMETROS DETERMINADOS EN EL MUESTREO DE GASES DE COMBUSTIÓN CON COMBUSTIBLE DIESEL SIN ADITIVO
TAB. 3.14	PARÁMETROS DETERMINADOS EN EL MUESTREO DE GASES DE COMBUSTIÓN CON COMBUSTIBLE DIESEL CON ADITIVO
TAB. 3.15	DATOS DE LA VARIACIÓN DE CO EN FUNCIÓN DE LA ALTITUD.
TAB. 3.16	PARÁMETROS DETERMINADOS EN EL MUESTREO DE GASES DE COMBUSTIÓN A 2560 MSNM
TAB. 3.17	PARÁMETROS DETERMINADOS EN EL MUESTREO DE GASES DE COMBUSTIÓN A 0 MSNM
TAB. 3.18	PARÁMETROS DETERMINADOS EN EL MUESTREO DE GASES DE COMBUSTIÓN A 2560 MSNM
TAB. 3.19	PARÁMETROS DETERMINADOS EN EL MUESTREO DE GASES DE COMBUSTIÓN A 0 MSNM
TAB. 3.20	DATOS DE LA VARIACIÓN DE CO EN FUNCIÓN DEL KILOMETRAJE (HYUNDAI SANTA FE)



TAB. 3.21	DATOS DE LA VARIACIÓN DE CO Y HC EN 10000 KM
TAB. 3.22	TABLA DE DATOS DEL ANALIZADOR DE GASES CLEANAIR
TAB. 3.23	CONDICIONES DE CALIBRACIÓN DEL EQUIPO TESTO 350 XL
TAB. 3.24	LÍMITES PERMISIBLES DE EMISIONES DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA
TAB. 5.1	CUADRO DE VALORES DE AUMENTO Y DISMINUCIÓN DE % DE CO



CAPITULO I

FUNCIONAMIENTO Y CARACTERISTICAS DE LOS CATALIZADORES DIESEL

INTRODUCCION:

En la actualidad los vehículos son la principal causa de contaminación ambiental, debido a esto agencias de protección ambiental tales como la E.P.A.(Agencia de Protección Ambiental de EE.UU), C.A.R.B.(Junta de Recursos del Aire de California), se han visto en la necesidad de obligar a las empresas fabricantes de vehículos que desarrollen sistemas que disminuyan la contaminación y así poder reducir el impacto ambiental, uno de los sistemas más importantes y efectivo es el convertidor catalítico, sin embargo en nuestra ciudad este sistema se ve afectado y deteriorado por algunos factores como: mal combustible, la cantidad de aire que tenemos debido a la altura en la ciudad de Cuenca, mantenimiento del vehículo, entre otros.

En el caso particular de los motores diesel los principales contaminantes que se emanan son las partículas de hollín o material particulado, hidrocarburos no quemados, monóxido de carbono, dióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno.

1.1 MISION DEL CATALIZADOR

El convertidor catalítico tiene como misión disminuir los elementos contaminantes contenidos en los gases de escape de un vehículo mediante la técnica de la catálisis, es decir se trata gases de poca estabilidad molecular dañinos para el cuerpo humano y el medio ambiente para convertirlos en gases inofensivos y agua.

1.2 FUNCIONAMIENTO DEL CATALIZADOR DIESEL

Las mejores condiciones de funcionamiento de los catalizadores suceden a partir de 400°C debido a que a mayor temperatura las reacciones químicas se producen más rápidamente. Un vehículo en condiciones normales de uso, arrancando en frío, alcanza estas condiciones en 2 minutos.

Algunos sistemas de escape pueden tener un catalizador adicional colocado más cerca del motor, esto minimiza el tiempo necesario para llegar a la temperatura ideal de operación, ayudando de esta forma a reducir aún más los gases contaminantes cuando un vehículo arranca.

“Los motores Diesel utilizan un sistema de combustión diferente a los motores a gasolina. Esta combustión ocurre con una mayor proporción de aire, proporcionando de esta forma niveles más bajos de CO, HC, pero niveles más altos de NO_x y partículas de hollín”¹.

A continuación podemos ver la diferencia de contaminación entre un motor Otto y un motor a diesel.

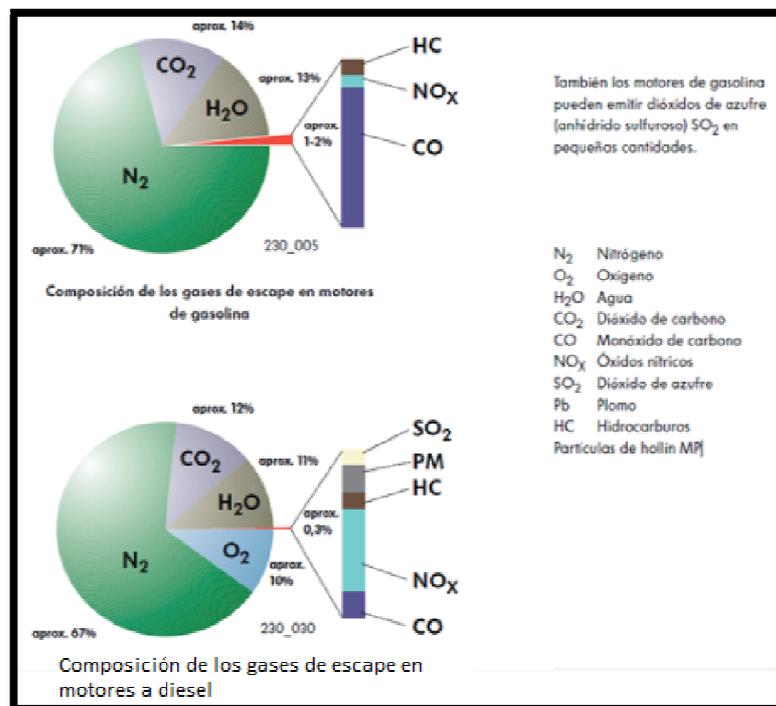


Figura 1.1 Índices de contaminación

Fuente: <http://www.scribd.com/doc/44676235/Emisiones-de-Gases-de-Escape>

Para poder entender de mejor manera presentamos en la tabla 1.1 los valores generales para un motor a diesel y un motor a gasolina de similares características, teniendo en cuenta que

¹Funcionamiento del catalizador diesel. <http://www.oni.escuelas.edu.ar/2001/santa-fe-sur/motor/converti.htm>



el motor está bien regulado, la cantidad de componentes tóxicos que se expulsan durante su funcionamiento puede alcanzar los siguientes valores:

Componentes tóxicos	Motores Diesel	Motores a gasolina
Monóxido de carbono, %	0.5	6
Óxidos de nitrógeno. %	0.45	0.15
Hidrocarburos, %	0.04	0.4
Dióxido de azufre, %	0.04	0.007
Hollín/ mg/l	0.3	0.05

Tabla 1.1 Compuestos emitidos al medio ambiente durante la combustión

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos14/impacto-ambiental/impacto-ambiental.shtml>²

De este modo, la toxicidad de los motores Diesel depende en lo principal del contenido de los óxidos de nitrógeno y el hollín. La toxicidad de los motores de encendido por chispa depende en gran medida de la concentración del monóxido de carbono y de los óxidos de nitrógeno.

Hoy en día podemos notar la creciente entrada de vehículos diesel a nuestra ciudad, los motores diesel con inyección regulada electrónicamente, han convertido al catalizador en un elemento indispensable y obligatorio en cualquier automóvil diesel.³

El convertidor catalítico es un elemento totalmente desconocido por parte del usuario, pero a la final es un dispositivo efectivo, diseñado para reducir las emisiones contaminantes a niveles aceptables.

²<http://www.monografias.com/trabajos14/impacto-ambiental/impacto-ambiental.shtml>

³<http://www.dtforum.net/index.php?topic=59971.0>

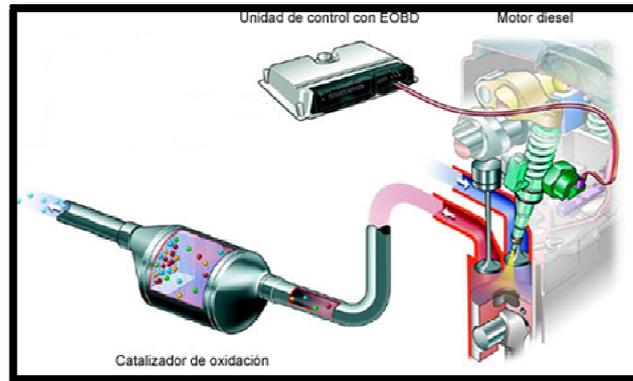


Figura 1.2Esquema de funcionamiento de un Catalizador de Oxidación
Fuente:<http://www.mecanicavirtual.org/emision-gases-escape.php>

1.3 UBICACIÓN

El convertidor catalítico está ubicado en el tubo de escape (fig1.3), cerca del motor la distancia no está específicamente determinada ya que varía dependiendo del fabricante del vehículo, en algunos casos se encuentra en donde termina el múltiple de escape y en otros en la mitad del tubo de escape, pero por lo general se lo instala lo más cerca del múltiple de escape para poder sacar ventaja a la temperatura de los gases de escape ya que ahí los gases mantienen una temperatura elevada.

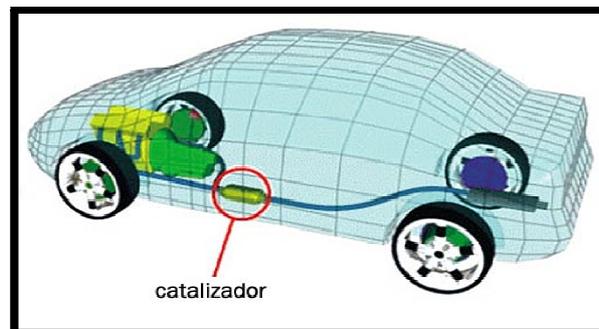


Figura 1.3Ubicación del catalizador en el automóvil
Fuente: <http://www.foroinsurgentesdelared.com/foro/catalizador>

1.4 CONCEPTO GENERAL DE CONVERTIDOR CATALÍTICO.

“El convertidor catalítico es un dispositivo de forma circular por lo general como podemos ver en la figura1.3, el catalizador disminuye casi a cero los elementos nocivos de los gases



de escape del vehículo sea a gasolina o a diesel, en su interior está formado de un panel preferentemente de cerámica, en este panel se han adherido nano partículas de materiales catalizantes o también llamados metales preciosos, los más usados son el Platino, Paladio, Rodio, actualmente también se está usando como material catalizante al iridio, la cantidad de elementos catalizantes usados en un convertidor catalítico está entre 1 y 7,5 g, dependiendo de las dimensiones del convertidor catalítico, todo esto dentro de un envolvente metálico para proteger el panel cerámico de cualquier golpe moderado, de preferencia se construye de acero inoxidable.”⁴

Existen tres tipos de convertidores catalíticos: catalizador oxidante usado generalmente en los vehículos provistos con motores diesel, catalizador de dos vías utilizado en vehículos a gasolina hace unos años atrás y el catalizador de tres vías usado actualmente en todos los vehículos este tipo de catalizador realiza a más de la etapa de oxidación la etapa de reducción donde se transforma los NO_x.

“Debido a la baja temperatura de los gases de escape 300 C, se le llama baja temperatura en comparación de la temperatura necesaria para que se den las reacciones químicas donde el CO y HC se convierten en gases inofensivos, el convertidor catalítico cuenta con elementos catalizadores que logran que las reacciones se lleven a cabo a relativamente bajas temperaturas ya que la energía calorífica pasa al catalizador y eleva su propia temperatura, circunstancia indispensable para que este dispositivo tenga un óptimo rendimiento, que se alcanza entre los 400 y 700⁵ grados centígrados acelerando la velocidad de las reacciones químicas como se puede ver en la gráfica 1.4.”⁶

⁴Concepto general de catalizador. <http://www.dtforum.net/index.php?topic=59971.0;wap2>

⁵Temperatura dentro del catalizador. <http://www.buenastareas.com/ensayo/catalizador/1682919.html>

⁶Temperatura de los gases de escape. <http://webdelautomovil.com/2007/09/controles-de-emision-y-tubo-de-escape-23>

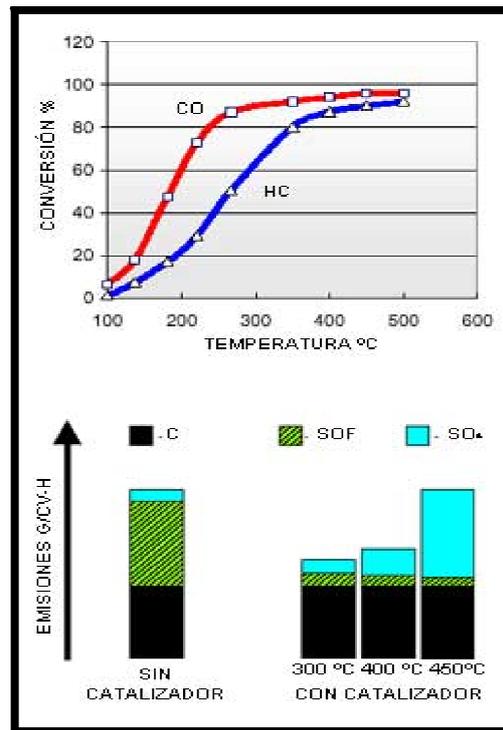


Fig. 1.4 Influencia de la temperatura en un catalizador

Fuente: <http://www.autocity.com/documentostecnicos/?cat=3&codigoDoc=134>

En los catalizadores de una vía y dos vías las reacciones de oxidación se dan por medio del platino y el paladio, en los catalizadores de tres vías la acción reductora se da con la ayuda del rodio.

Los convertidores catalíticos trabajan bajo el principio de la Catálisis, que no es más que la alteración de la velocidad de una reacción química, producida por la presencia de una sustancia adicional, llamada catalizador, que no resulta químicamente alterada en el transcurso de la reacción (figura 1.5).⁷

⁷ Concepto de catalizador <http://www.RedTecnicaAutomotriz.com>

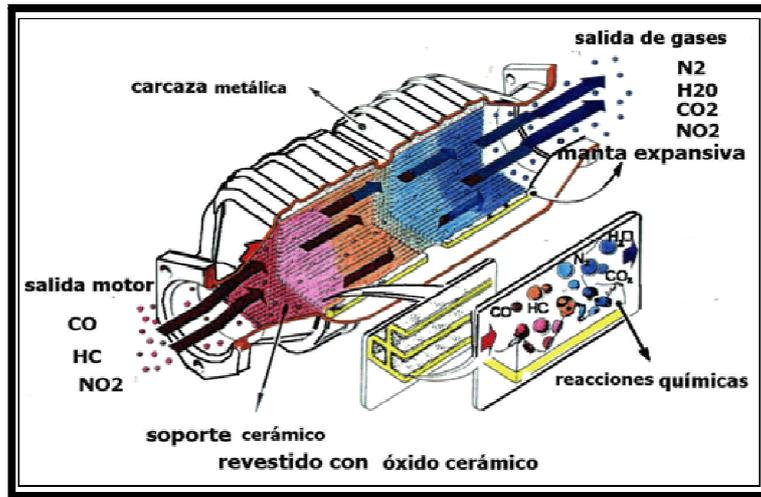


Fig. 1.5 Esquema de un catalizador.
Fuente: www.RedTecnicaAutomotriz.com

1.4.1 Definición de catálisis:

El catalizador funciona proporcionando un camino de reacción alternativo al producto de reacción. La velocidad de la reacción aumenta a medida que esta ruta alternativa tiene una menor energía de activación (fig. 1.6) que la ruta de reacción no mediada por el catalizador.

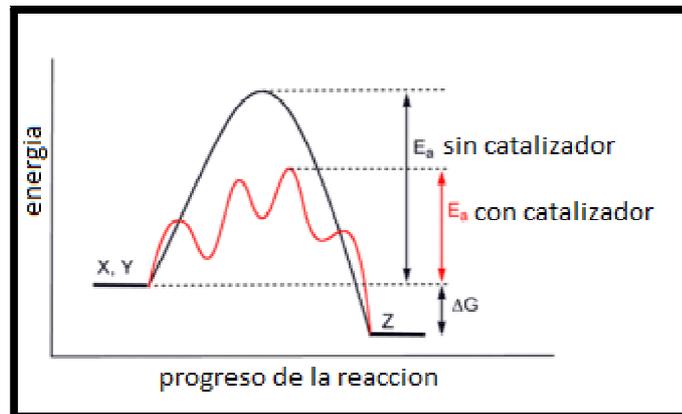


Fig. 1.6 Diagrama de la catálisis.
Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Cat%C3%A1lisis>



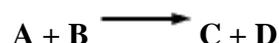
La catálisis agrupa al conjunto de procedimientos y conocimientos que permiten que la velocidad con la que transcurre una reacción se incremente bajo tal condición la catálisis es una rama de la cinética química.

La cinética química se ocupa del estudio dinámico de las reacciones químicas tomando en cuenta el mecanismo en el nivel molecular de tales transformaciones. El concepto de velocidad de reacción traduce la rapidez con la que en un sistema se produce una transformación química. La reacción química global se lleva a cabo a través de etapas las cuales en su conjunto constituyen el mecanismo de reacción. La velocidad se define en términos de parámetros que pueden ser medidos durante la transformación; así, podemos definirla como la variación de la concentración de uno de los reactivos que desaparece, o de uno de los productos que aparece, en el sistema respecto del tiempo.

Para una reacción química del tipo

A, B son los gases reactivos antes de la catálisis

C, D son los productos después de la catálisis



La velocidad de la reacción puede representarse como

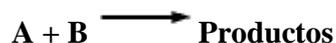
$$v = \frac{dA}{dt} = -\frac{dB}{dt} = +\frac{dC}{dt} = +\frac{dD}{dt}$$

Donde $\frac{dA}{dt}$, $\frac{dB}{dt}$, $\frac{dC}{dt}$ y $\frac{dD}{dt}$ presentan la variación de la concentración de **A**, **B**, **C** o **D** respecto del tiempo y el signo (-) representa la desaparición de reactivos (**A** o **B**) y el signo (+) la aparición de productos (**C** o **D**) que es lo que sucede dentro de un catalizador de oxidación, tomando en cuenta de que los gases salidos del motor están en contacto con los catalizadores solamente de 0,1 a 0,4 segundos.

De manera general, las características de una reacción pueden ser determinadas si se conoce a cada instante la composición química del sistema. En la mayoría de las reacciones, la



velocidad de transformación es proporcional a la concentración de reactivos elevados a una potencia; por ejemplo para la reacción



$$V = k[A]^p[B]^q$$

Donde

k = constante de proporcionalidad (*constante de velocidad*)

p y q = órdenes parciales de reacción

p + q = n = orden global de reacción

Los órdenes de velocidad pueden ser enteros, fraccionarios, positivos, negativos, o aun cero. En general este orden no está relacionado con la estequiometria de la reacción, sino más bien con el mecanismo de la misma.

Para que una reacción química se lleve a cabo, es necesario suministrar una cierta cantidad de energía a las moléculas de reactivo. Esto puede ser representado de la manera siguiente para la reacción anterior (Figura 1.7).

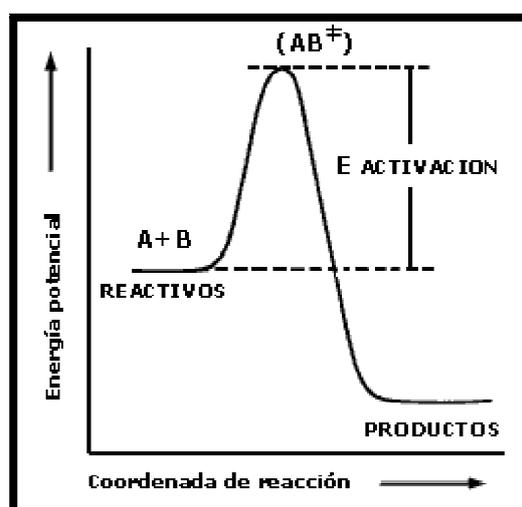


Figura 1.7 Diagrama de energía potencial para una reacción química.

Fuente: http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/059/htm/sec_5.htm



Las moléculas de A y B son "activadas" de manera que se favorezca su combinación para llegar a un cierto "estado de transición" o "complejo activado" (**AB** en el diagrama), el cual al descomponerse puede dar lugar a los productos. La barrera energética que separa los reactivos de los productos se denomina energía de activación. La velocidad de reacción depende de esa energía de activación a través de la constante de velocidad (**k**). Esta constante de velocidad depende también de la temperatura y la forma matemática de representarla es a través de la llamada ley de Arrhenius.

$$k(T) = A \cdot e^{-\frac{E_a}{RT}}$$

Dónde:

$k(T)$: constante cinética (dependiente de la temperatura)

A : factor pre exponencial o factor de frecuencia. Refleja la frecuencia de las colisiones.

E_a : energía de activación, expresada en kJ/mol.

R : constante universal de los gases. Su valor es $8,3143 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$

T : temperatura absoluta [K]

De la ecuación de Arrhenius podemos observar que la dependencia de la velocidad de reacción con respecto a la barrera energética (**Ea**) es inversamente exponencial.

El término **A** o factor pre exponencial comprende el número de choques efectivos entre las moléculas de reactivo encontrando su origen en la teoría cinética de los gases. El término exponencial que incluye la energía de activación en la ecuación anterior es mayor que el término pre exponencial (**A**) siendo por tanto generalmente el factor determinante de la velocidad de una reacción química. En la figura anterior se observa que los productos se encuentran en un nivel energético menor que los reactivos, lo que significa que durante la reacción se ha producido un desprendimiento de energía (generalmente en forma de calor). La reacción en cuestión se denomina entonces exotérmica. Si se hubiera producido el fenómeno inverso la reacción sería endotérmica.

Una reacción puede llevarse a cabo en una, dos o tres etapas denominadas elementales, durante las cuales participan las moléculas de los reactivos. En general, existirá una etapa más lenta que las otras y será ésta la que determine la velocidad global de la

transformación. Catalizar una reacción implica reemplazar este paso por varias etapas más rápidas que se llevan a cabo sólo en presencia del catalizador. Esto significa que la intervención del catalizador abre un camino nuevo a la reacción, compuesto de reacciones elementales con energía de activación menor (Figura 1.8).

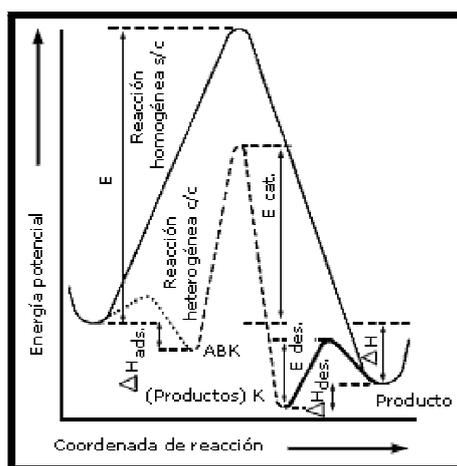


Figura 1.8. Curva de la energía potencial para un proceso catalítico.

Fuente: http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/059/htm/sec_5.htm

Podemos analizar el efecto del catalizador utilizando la teoría de colisiones (aunque no es la única forma):

En la figura 1.7 la reacción sin catalizador entre una molécula gaseosa de A y una de B se lleva a cabo por el camino marcado con una línea continua de manera similar a lo ilustrado en la figura 1.8. Al introducir el catalizador (**K**), A y B interactúan con él, se dice que A y B se adsorben en la superficie, formando un complejo superficial **ABK** inestable (línea punteada). Este complejo superficial reaccionará al suministrarle energía de manera que formará los productos que aún quedan fijos (línea de guiones) sobre la superficie.

Para sacar los productos adsorbidos, es necesario otra pequeña energía que nos conduce al estado final productos + **K** (doble línea). El proceso homogéneo en una sola etapa ha sido substituido por tres etapas que son:

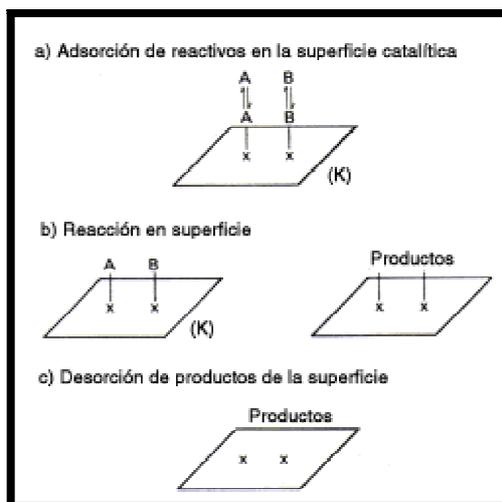


Figura 1.9. Etapas del proceso catalítico.

Fuente: http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/059/htm/sec_5.htm

La capacidad de adsorción de un catalizador está determinada por el tipo de estructura cristalina y los electrones libres en su última capa es por esto que el platino y el paladio son catalizadores por excelencia y trabajan muy bien en los catalizadores para vehículos, los dos tienen la capacidad de adsorber y reaccionar en general con el oxígeno, mientras que el paladio adsorbe los compuestos de HC más fácilmente que el platino, pero no por esto el platino dentro del catalizador no reacciona a veces con los HC, el platino adsorbe los compuestos CO efectivamente.

En el esquema anterior los signos **x** representan los "sitios activos" del catalizador.

En el esquema de la figura 1.9 el aumento en la velocidad de la reacción (número de moléculas de **A** o **B** transformadas por unidad de tiempo) es proporcional a la diferencia entre $E - E_{cat}$.

La teoría de las colisiones explica que la velocidad de una reacción química es función del número de choques que se efectúan entre las moléculas de reactivos con determinada energía. Imaginemos un recipiente cerrado en el cual introducimos dos gases, **A** y **B**, a temperaturas bajas las moléculas se mezclan homogéneamente en función de sus densidades; así si los dos gases son ligeros, como N_2 y O_2 la composición será la misma en cualquier punto. Si calentamos este recipiente las moléculas aumentan su energía y en



consecuencia se llevarán a cabo un mayor número de choques dentro del recipiente. A una temperatura determinada la fuerza y el número de choques es tal que las moléculas de **A** y **B** tenderán a disminuir y a la vez un nuevo tipo de moléculas aparecerán (los productos).

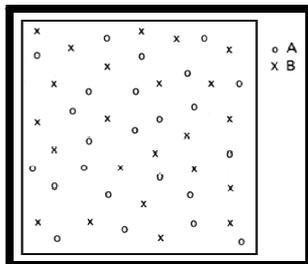


Figura 1.10. Teoría de las colisiones.

Fuente: http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/059/htm/sec_5.htm

El número de moléculas de **A** y **B** o las nuevas que aparecen por combinación de **A** y **B** están ligados a través de la estequiometría y el mecanismo de la reacción.

Entonces la velocidad de aparición (o desaparición de **A** o **B**) de las nuevas moléculas está en función del número de choques entre **A** y **B**, los cuales a su vez dependen de la concentración de **A** y **B**.

1.4.1.1 Reacción química del catalizador oxidante

Como ya antes lo describimos el catalizador oxidante es usado en vehículos con motor a diesel, este tipo de catalizador contiene nano partículas de platino+paladio, el catalizador oxidante tiene la capacidad de realizar solo la etapa de oxidación donde se transforman los hidrocarburos (HC) y los óxidos de carbono (CO).

Se utiliza como elementos catalizantes al platino y al paladio debido a su gran capacidad de ADSORCIÓN (no confundir con absorción), el paladio es capaz de llevar gases moleculares (como el H₂ y el O₂) ha estado atómico (reactivo) sin combinarse con ellos ni formar parte de los compuestos.

El paladio reacciona selectivamente muy bien con los HC, mientras que el platino con el CO.

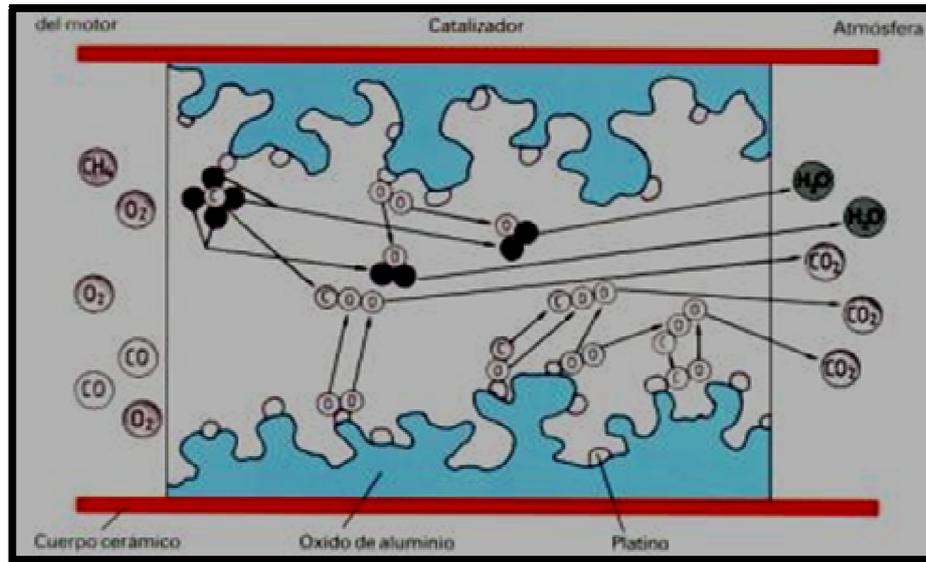


Fig. 1.11 Reacción química del catalizador oxidante

Fuente:<http://www.oni.escuelas.edu.ar/olimpi99/autos-y-polucion/cataliza.htm>

Como podemos ver en la figura 1.11 tenemos las reacciones químicas simplemente aceleradas por los materiales catalizantes ya que la cantidad de gases que entran salen solo que transformados ya que los hidrocarburos reaccionan más rápidamente en contacto con el paladio al adsorberse a su pared y se descomponen en dos partículas de hidrogeno y se suman con una de oxígeno y forman el H₂O, los carbonos libres de los hidrocarburos se suman con los oxígenos libres que vienen en los gases de escape y forman el CO₂ y los óxidos de carbono reaccionan cuando entran en contacto con el platino ya que los adsorbe y les permite reaccionar con el oxígeno O₂ que hay en exceso y forman también CO₂.

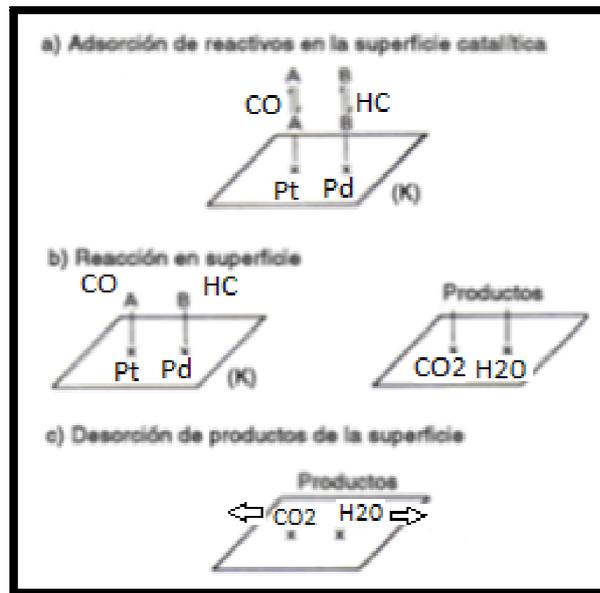


Fig. 1.12 Reacción química del catalizador oxidante
Fuente: Autores

En la figura 1.12 podemos comprobar que el platino y el paladio no aportan ningún elemento lo único que hacen es facilitar la reacción de las moléculas por catálisis es decir aceleran la velocidad de las reacciones químicas, como ya definimos anteriormente el proceso de catálisis implica la presencia de una sustancia que hace parte del sistema y sin embargo la reacción se puede llevar a cabo sin ella, es por esta razón que el elemento catalizador se fragmenta en pequeñas partículas para acelerar el proceso.

En la gráfica 1.11 tenemos:

El metano CH_4 se descompone en C , H_2 , H_2 , El carbono libre se suma con un O_2 y tenemos CO_2

O_2 se descompone en O , O a cada molécula se le suma los H_2 y tenemos H_2O y H_2O

2CO no se descompone solo se suma un oxígeno a cada CO para formar CO_2 y CO_2

Los oxígenos moleculares se ocupan como comodines para poder realizar las reacciones si igualamos las ecuaciones tenemos lo siguiente:

**GASES DE ENTRADA**CH₄

CO, CO

O₂, O₂, O₂,

H = 4

C = 3

O=8

GASES A LA SALIDAH₂O, H₂OCO₂, CO₂, CO₂

H=4

C=3

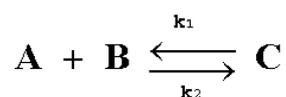
O=8

Otro punto que es muy importante también entender y tener en cuenta, es que las dos funciones de reacción de gases para transformar los HC y los CO requieren metales nobles, la pregunta es pero porque no usar solo un elemento catalizante o bien el platino o bien el paladio, la razón es la siguiente y es que si el catalizador es muy efectivo en una reacción, lo es poco en la otra ya que son catalizadores muy selectivos, por lo cual es necesario el empleo de dos de ellos reaccionando de mejor forma el platino por su capacidad de adsorción con los óxidos de carbono y el paladio con los hidrocarburos.

1.4.1.2 Las principales características que distinguen a un catalizador son:

a) Un catalizador no puede actuar en reacciones termodinámicamente imposibles. Esto literalmente significa que un catalizador no hace milagros. De la misma forma que la termodinámica establece que no puede existir la máquina de movimiento perpetuo, también delimita el campo de acción de los catalizadores.

b) Para una reacción en equilibrio,



El catalizador no modifica el valor de la constante de equilibrio $K_e = \frac{k_1}{k_2}$. Como consecuencia de lo anterior, un aumento de la velocidad en una dirección es acompañado por un aumento similar en la constante de velocidad de la reacción inversa (k_2). En un sentido práctico esto quiere decir que un catalizador de una reacción lo es igualmente para la reacción inversa.



moléculas interaccionan fácilmente con la superficie de esos metales. Para que el fenómeno catalítico ocurra, es necesaria una interacción química entre el catalizador y el sistema reactivos-productos. Esta interacción no debe modificar la naturaleza química del catalizador a excepción de su superficie. Esto significa que la interacción entre el catalizador y el sistema reaccionante se observa en la superficie del catalizador y no involucra el interior del sólido. Este requerimiento nos lleva al concepto de adsorción.

La adsorción de moléculas de una fase fluida (gas o líquido) en la superficie de un sólido está estrechamente ligada a la catálisis heterogénea. Todos los sólidos tienen la propiedad de fijar (adsorber) en su superficie las moléculas, átomos, o iones que se encuentren a su alrededor.

1.4.1.3 Optimización de un catalizador

La optimización de un catalizador requiere de las tres principales características de un catalizador: actividad, selectividad y estabilidad.

La actividad es la consecuencia directa del efecto acelerador, y se define como una velocidad de reacción en moles transformados por segundo y por gramo de catalizador. En el caso de algunos catalizadores se prefiere dar esta velocidad corregida por el área del catalizador o mejor aún normalizada por el número de átomos de catalizador que están en contacto con la reacción.

La selectividad de un catalizador está relacionada con el efecto orientador de la reacción en una dirección preferente. Esta cualidad es debida a que el catalizador abre nuevos caminos de reacción con menor energía de activación, los cuales desembocan en una mayor cantidad del producto o en nuevos productos. Un catalizador es más selectivo mientras da mayor cantidad del producto deseado. La selectividad se puede definir como la cantidad de producto constituido en función de la velocidad total de formación de productos.

La estabilidad de un catalizador es la variable final a optimizar en su aplicación está relacionada directamente con la vida útil del catalizador. La vida de operación de un catalizador debe ser evaluada en función de la cantidad de productos formados, de manera que en el mínimo de tiempo debe permitir amortizar el costo del catalizador y la operación



del proceso. Si bien en las condiciones de uso de los catalizadores en la actualidad casi todos éstos sobrepasan largamente este mínimo de vida útil, se requiere de una serie de prevenciones para evitar que el catalizador se desactive prematuramente.

El fenómeno de la desactivación está íntimamente ligado a la estabilidad del catalizador.⁸

1.4.2 Tipos de catalizadores

Como ya lo indicamos anteriormente los convertidores catalíticos son de tres tipos, según el sistema de funcionamiento: oxidante, de dos vías y de tres vías.

1.4.2.1 Catalizador oxidante

El catalizador oxidante ocupado en vehículos con motores diesel es el más sencillo. Está formado de un sólo monolito cerámico que permite la oxidación del monóxido de carbono y de los hidrocarburos.

Estos catalizadores están constituidos:

- De un monolito cerámico en forma de panal de abeja. En las paredes del monolito cerámico se incrustan los elementos catalizantes, que son el platino y el paladio, este tipo de catalizador tiene un promedio de 200 celdas por pulgada cuadrada Fig. 1.13.

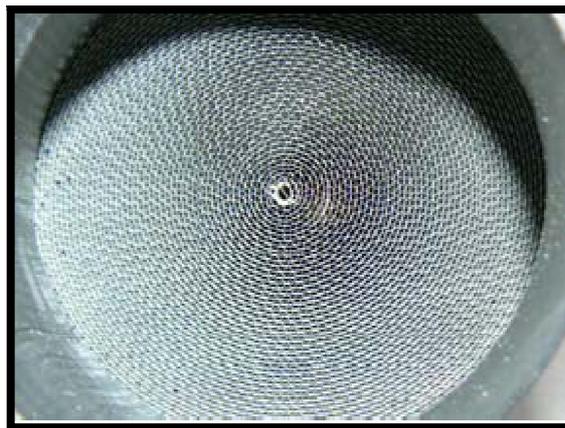


Fig. 1.13 Catalizador oxidante

Fuente: www.semarnat.gob.mx/evaluación%20de%20convertidor%20catalítico%20htm

⁸ Definición de catálisis http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/059/htm/sec_5.htm

- De una malla metálica que permite la sujeción del monolito cerámico en su coquilla de acero inoxidable.
- De una envoltura que incluye los conos de entrada y salida que permiten optimizar la repartición del flujo de los gases de escape como se ve en la Fig. 1.14.



Fig. 1.14 Catalizador oxidante

Fuente:www.semarnat.gob.mx/evaluación%20de%20convertidor%20catalítico%htm.

El catalizador oxidante está diseñado para usarlo en vehículos con motores diesel, las emisiones de los motores diesel no pueden ser tratadas con el catalizador de dos o tres vías, dado que funcionan con exceso de aire. El uso de un sistema de control lambda se descarta por motivos técnicos ya que la sonda se cubriría de hollín debido a la cantidad de humos negros que emiten los motores diesel en su combustión. Se utiliza un catalizador oxidante para reducir los hidrocarburos (HC) y el monóxido de carbono (CO) a dióxido de carbono (CO₂). Sin embargo, no es apropiado para convertir óxidos de nitrógeno.

Como sabemos los motores diesel son menos contaminantes que el motor ciclo Otto y a su vez sus soluciones resultan mucho más sencillas y requieren un análisis menos exhaustivo.

Los fabricantes han trabajado en el diseño del motor para optimizar el proceso de combustión y obtener de esta forma motores con menos emisiones contaminantes que salen por el tubo de escape. Para disminuir la contaminación de los motores diesel se trabaja en el rediseño de cámaras de combustión como las pre cámaras, cámara de turbulencia producen menos óxidos de nitrógeno (NO_x).

El punto de ignición de la inyección del combustible, consigue reducciones sustanciales del NOx. También como en el ciclo Otto, la recirculación de los gases de escape puede reducir la temperatura de combustión bajando las emisiones de NOx.

En general, como vemos en la Fig. 1.15 los motores diesel contaminan menos que un motor a gasolina, a un este con catalizador, con excepción en partículas y óxidos de Nitrógeno.

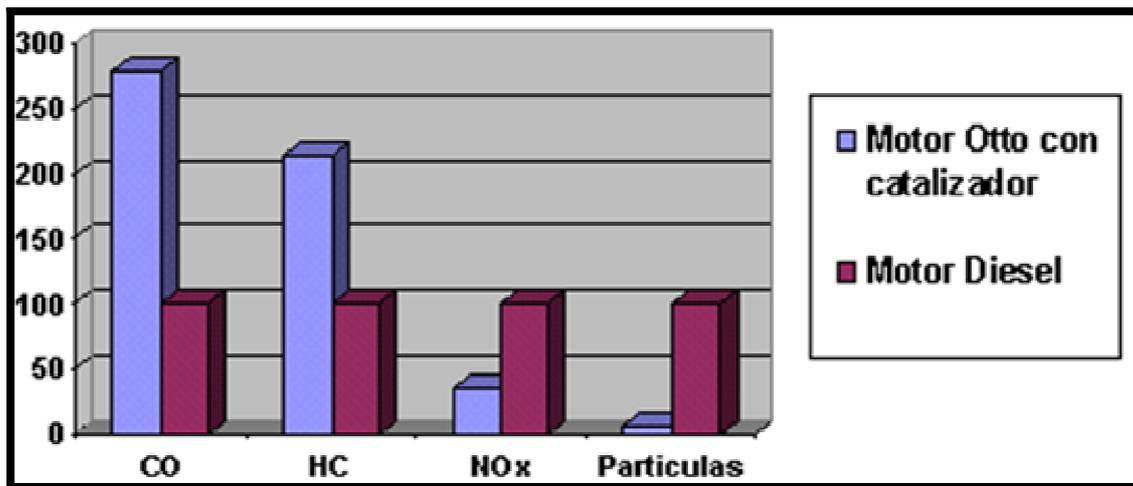


Fig. 1.15 Diferencias de contaminación entre motor Otto y Diesel

Fuente: <http://www.oni.escuelas.edu.ar/olimpi99/autos-y-polucion/cataliza.htm>

Las cantidades mínimas de azufre que tiene el diesel Premium es difícil de tratar ya que este forma óxido de azufre que combinados con vapor de agua genera ácido sulfúrico que es corrosivo debido a este problema el catalizador diesel debe ser capaz de no reaccionar con el dióxido de azufre (SO₂).⁹

Esto se debe a que el azufre se combina directamente con la mayoría de los elementos para formar sulfuros, en presencia de calor se une a todos los metales, con excepción del oro y el platino, el azufre en el aire húmedo y en presencia de vapor de agua se oxida a ácido sulfúrico.



⁹Catalizador oxidante. <http://www.oni.escuelas.edu.ar/olimpi99/autos-y-polucion/cataliza.htm>



El azufre en presencia de algunos oxidantes transforman el azufre en dióxido de azufre, SO_2 , o en ácido sulfuroso, SO_3H_2 , y en una oxidación ulterior en trióxido de azufre, SO_3 , o en ácido sulfúrico, SO_4H_2 . El azufre arde en el aire o en oxígeno y se transforma en SO_2 con indicios de SO_3 .¹⁰

1.4.2.1.1 Tamaño y cantidad de los materiales catalizantes en el catalizador oxidante.

El tamaño de las partículas de los materiales preciosos está en el orden de los 5nm a 10nm, ubicado en forma dispersa como se puede ver en la Fig. 1.16, este tamaño promedio de las partículas de los metales preciosos es el mismo para el catalizador de dos vías como para el de tres vías.

La cantidad de material catalizante depende del tamaño del catalizador que está en función de la cilindrada del motor y de las características internas de construcción, aproximadamente un catalizador posee entre 1 y 7,5 gramos de materiales catalizantes o metales preciosos.¹¹

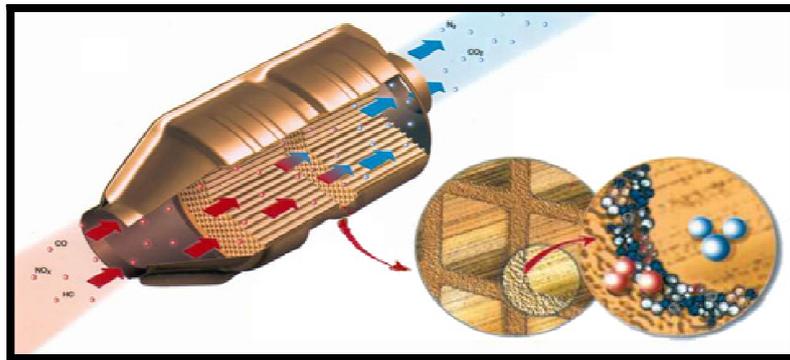


Fig. 1.16 Tamaño de las partículas de los metales preciosos

Fuente: <http://www.universalaet.com/sp/emission-technologies/three-w.htm>

De la eficiencia del convertidor da prueba el hecho de que los gases salidos del motor están en contacto con los catalizadores solamente 0,1 a 0,4 segundos, tiempo durante el cual aproximadamente el 80% de CO y C_xH_y , son eliminados.

¹⁰Ácido sulfúrico. Libro: Química General Moderna Autor: Ibarz Babor

¹¹Tamaño y cantidad de los materiales catalizantes. <http://www.universalaet.com/sp/emission-technologies/three-w.htm>



Por ejemplo, cuando el HC, CO, son calentados en oxígeno a 500 ° C, no hay prácticamente ninguna reacción química entre estos gases. Sin embargo, cuando ellos pasan por un catalizador, ocurre una reacción química y estos gases son convertidos en compuestos inofensivos de CO₂ y H₂O

1.4.2.2 Catalizador de dos vías o doble cuerpo

El catalizador de dos vías, que también se lo conoce como catalizador de doble cuerpo, es en realidad un doble catalizador de oxidación con la diferencia que posee una toma intermedia de aire.

Como podemos ver este catalizador de dos vías trabaja bajo el mismo principio que el de oxidación con la única diferencia que tiene una toma de aire intermedia.

Podemos observar en la Fig. 1.17, el ingreso de los gases contaminantes más abundantes de la combustión como son el CO, HC y NO_x al catalizador, pero al atravesar por el mismo se da una reducción de las moléculas de CO y HC ya que las mismas han sido transformadas en H₂O y CO₂, pero con el NO_x no sucede lo mismo debido a la falta del rodio.

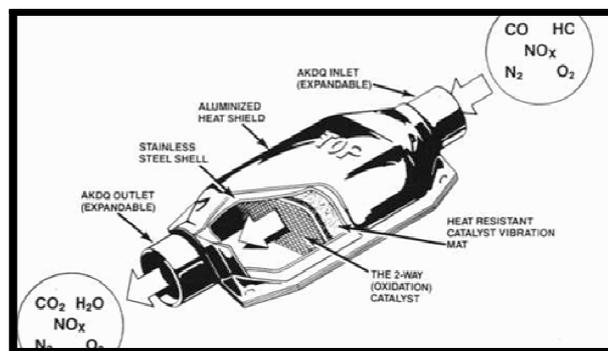


Fig. 1.17 Catalizador de dos vías

Fuente: <http://www.universalaet.com/sp/emission-technologies/three-w.htm>

1.4.2.3 Catalizador de tres vías

El catalizador de tres vías es actualmente la forma de depuración de gases de escape más eficiente, seguro y fiable disponible para motores de gasolina. Como su nombre indica, el



catalizador de tres vías convierte tres contaminantes, concretamente hidrocarburos (HC), monóxido de carbono (CO) y óxidos de nitrógeno (NO_x) en gases menos nocivos.

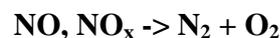
La diferencia específica de este catalizador con el de dos vías y el oxidante es que en la superficie de este monolito se encuentra impregnada a más del Platino (Pt) y Paladio (Pd), que permiten la función de oxidación, el Rodio (Rh), que interviene en la reducción.

1.4.2.3.1 Proceso químico interno del convertidor catalítico de tres vías.

1.4.2.3.1.1 Etapa de reducción

El catalizador de reducción es la primera fase del convertidor catalítico. Utiliza rodio para disminuir las emisiones de NO_x. Cuando una molécula de monóxido o dióxido de nitrógeno entra en contacto con el catalizador, éste atrapa el átomo de nitrógeno y libera el oxígeno, posteriormente el átomo de nitrógeno se une con otro átomo de nitrógeno y se libera. Es decir, descompone los óxidos de nitrógeno en oxígeno y nitrógeno que son los componentes del aire y por lo tanto no son contaminantes.

En forma general la reducción de los óxidos de nitrógeno, NO y NO_x, a nitrógeno:



1.4.2.3.1.2 Etapa de oxidación

Esta etapa es la misma que ya se explicó en el catalizador oxidante.

1.4.2.3.2 Tipos de catalizadores de tres vías

1.4.2.3.2.1 Catalizador de tres vías con toma de aire:

Se trata de un catalizador de tres vías de ciclo abierto (Fig. 1.17). Solamente existe en vehículos de fabricación americana y convierte el CO, HC y NO_x. Precisa una mezcla rica o estequiométrica para funcionar.

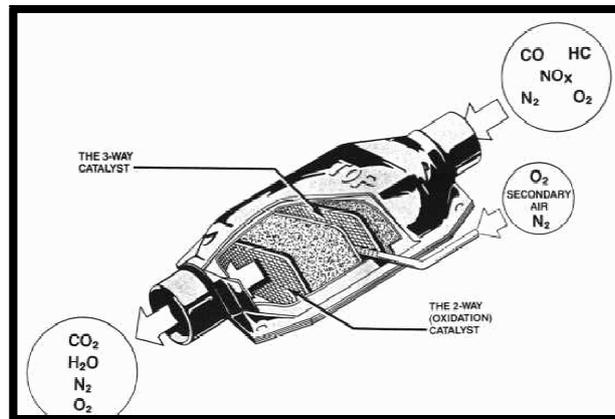


Fig. 1.18 Catalizador de tres vías con toma de aire

Fuente: <http://www.universalaet.com/sp/emission-technologies/three-w.htm>

1.4.2.3.2.2 Catalizador de tres vías sin toma de aire:

Es un catalizador de tres vías con el ciclo cerrado. Transforma los tres gases, CO, HC, y NO_x. Es el empleado actualmente en todos los vehículos europeos y asiáticos, dado que para su funcionamiento necesita mucha precisión en la regulación de la mezcla, debe incorporar una sonda lambda.

1.4.2.3.2.2.1 Sistema de control de los convertidores catalíticos de tres vías.

Todos los vehículos que están dotados de catalizadores de tres vías necesitan ser vehículos completamente electrónicos, donde se pueda variar la mezcla de aire combustible dependiendo del valor que mida el sensor de oxígeno, y mande como información a la computadora para así trabajar en valores de lambda cercanos a uno.

1.4.2.4 Sonda lambda

La sonda lambda envía una señal de salida a la ECU del motor, que controla la mezcla de aire y combustible a través del controlador de la mezcla. Esta regulación en circuito cerrado garantiza una relación óptima entre el aire y el combustible. Simultáneamente, establece la conversión óptima de los gases y mejora la conducción del vehículo.

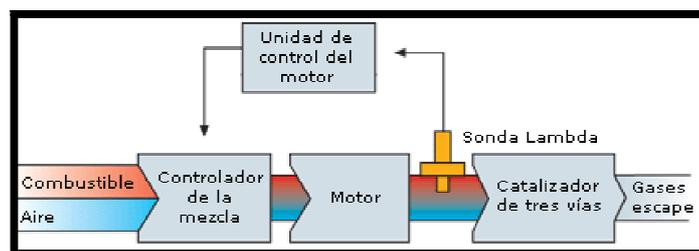


Figura 1.19 Diagrama de bloques del proceso de catálisis

Fuente: <http://es.patents.com/Process-catalyst>

Por otro lado, algunos diseños de convertidores catalíticos tanto de oxidación, dos vías y de tres vías, se genera formación de Ácido Sulfúrico, responsable del mal olor de las emisiones y fácilmente detestable por el usuario. Se forma mediante la remoción del azufre depositado sobre el catalizador, bajo condiciones especiales de regulación del motor: mezcla rica y temperaturas superiores a los 500 ° C. Este problema denominado “contaminación secundaria”. El nivel de emisión de ácido sulfhídrico puede ser acotado a través de los siguientes factores:

- Control de la relación Aire/Combustible, lo que permite eliminar las operaciones del motor en condición de mezcla rica.
- Formulación de los metales empleados en el diseño del convertidor, incorporando retardadores de la reacción de formación del ácido sulfhídrico.

Como se ha detallado precedentemente la mayor eficiencia del convertidor catalítico se obtiene luego de los 350 °C de temperatura y con una relación: Aire/Combustible cercana a la estequiometría (Coeficiente Lambda=1).¹²

1.4.2.5 Estudio de los metales preciosos del catalizador y sus efectos secundarios

1.4.2.5.1 Paladio

Elemento químico, símbolo Pd, número atómico 46 y peso atómico 106.4. Es un metal blanco y muy dúctil semejante al platino, al que sigue en abundancia e importancia.

¹²Sonda lambda de Titanio y de Zirconio. <http://www.todomecanica.com/sonda-lambda-y-sensores.html>



El paladio soportado sobre carbono o alúmina se emplea como catalizador en ciertos procesos químicos en que intervienen reacciones de hidrogenación en fase líquida y gaseosa.

El hidrógeno es absorbido fácilmente por el paladio y se difunde a una velocidad relativamente rápida cuando se calienta debido a su capacidad de adsorción. Esta propiedad se aprovecha en los purificadores de hidrógeno, que dejan pasar este gas, pero no otros.

El sector de catalizadores es el de mayor y más creciente demanda de paladio, con un 49% de la demanda total de paladio.

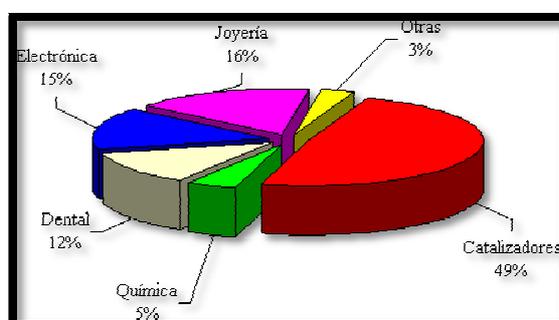


Fig. 1.20 Aplicaciones del paladio

Fuente: <http://www.unctad.org/infocomm/espanol/paladio/utilizacion.htm>

La demanda de paladio para catalizadores comenzó a crecer de forma significativa en los años setenta cuando se aprobó la legislación de aire limpio en Estados Unidos y en Japón. Muchos otros países siguieron esta política desde entonces. Además, durante los años 90, se ha producido una importante ayuda del platino para el paladio en los catalizadores en Estados Unidos, principalmente debido al menor coste relativo y a la mayor eficiencia del paladio. En Europa, el platino se usó más extensamente que el paladio debido a que es un elemento esencial en los más populares coches diesel.

Sin embargo, la sustitución del paladio en catalizadores llevará algún tiempo y solamente podrá afectar a la demanda de paladio a largo plazo. Además, dado que la cantidad de paladio que se necesita por vehículo es bastante pequeña cada coche requiere aproximadamente 5.72 gramos de paladio, los fabricantes de coches pueden fácilmente repercutir el incremento del precio a sus clientes. El valor del paladio que se usa en el



proceso es pequeño en relación con el valor final del producto, mientras que el metal es esencial para su producción. La demanda de paladio en catalizadores seguirá creciendo como respuesta a una legislación internacional cada vez más severa que forzará la imposición de controles más estrictos en las emisiones de hidrocarburos.¹³

1.4.2.5.1.1 Efectos del Paladio sobre la salud

Puede provocar irritación de la piel, los ojos o el tracto respiratorio. Puede causar hipersensibilidad de la piel.

El líquido puede provocar quemaduras en la piel y ojos. Si ingerido, no provocar el vómito, si está consciente darle agua, leche. En caso de contacto, enjuagar los ojos o la piel con abundante agua.

Los compuestos del paladio se encuentran muy raramente. Todos los compuestos del paladio deben ser considerados como altamente tóxicos y carcinógenos. El cloruro de paladio es tóxico, y dañino si es ingerido, inhalado o absorbido a través de la piel. Provoca daños en la médula, hígado y riñones en los animales de laboratorio. Irritante. Sin embargo el cloruro de paladio fue inicialmente prescrito como tratamiento para la tuberculosis en la dosis de 0,065 g por día (aproximadamente 1 mg/k) sin demasiados efectos secundarios negativos

1.4.2.5.1.2 Medidas de Primeros Auxilios

Contacto con los Ojos: inmediatamente lave los ojos con abundante agua por al menos 15 minutos, ocasionalmente levantando los párpados superior e inferior. De atención médica.

Contacto con la Piel: inmediatamente lave la piel con abundante agua por al menos 15 minutos mientras remueve la ropa y zapatos contaminados. De atención médica si irritación se desarrolla o persiste.

Ingestión: Si la víctima está consciente y alerta, de 2-4 tazas de leche o agua. Nunca de nada por la boca a una persona inconsciente. De atención médica.

Inhalación: Remueva de la exposición y mueva al aire fresco inmediatamente. Si no

¹³ Paladio. <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/pd.htm>



respira, de respiración artificial. Si la respiración es difícil, dar oxígeno. De atención médica si tos u otros síntomas aparecen.¹⁴

1.4.2.5.2 Platino

Es un metal noble blanco, blando y dúctil. Los metales del grupo del platino (platino, paladio, iridio, rodio, osmio y rutenio) se encuentran ampliamente distribuidos sobre la tierra, pero su dilución extrema imposibilita su recuperación, excepto en circunstancias especiales. Los metales del grupo del platino se utilizan mucho en el campo de la química a causa de su actividad catalítica y de su baja reactividad.

El platino puede obtenerse en forma esponjosa por descomposición térmica del cloroplatinato de amonio o al reducirlo de una solución acuosa. En esta forma muestra un alto poder de absorción respecto a los gases, especialmente oxígeno, hidrógeno y monóxido de carbono. La alta actividad catalítica del platino está relacionada directamente con esta propiedad. El platino posee una fuerte tendencia a formar compuestos de coordinación.

1.4.2.5.2.1 Las virtudes del platino

Los catalizadores son sustancias que aceleran la velocidad de las reacciones químicas y a ese efecto se le denomina catálisis. A mediados del siglo diecinueve, se dieron cuenta de que algunas reacciones eran más rápidas si se les añadían determinados metales. Uno de los metales que tenía gran influencia era el platino, un costoso material, que hasta ese momento sólo se utilizaba en joyería. Por ejemplo, si se introducen hidrógeno (H_2) y oxígeno (O_2) en un recipiente cerrado, apenas reaccionan, pero si en ese mismo recipiente se coloca un trozo de platino (Pt) se puede apreciar que éste no sólo se calienta, sino que llega a ponerse incandescente y en el recipiente comienzan a condensarse gotas de agua. Si tenemos alguna manera de enfriar el platino para que la mezcla no se quemé, el hidrógeno y el oxígeno seguirán reaccionando y produciendo agua. Lo que realmente sucede es que el platino cambia el modo en que se produce la reacción. Las moléculas de hidrógeno reaccionan con los átomos superficiales del trozo de platino. Esta reacción rompe el enlace de los dos átomos (H-H) que forman la molécula de hidrógeno y forma dos grupos Pt-H. Y resulta que la energía necesaria para activar este proceso es insignificante. Del mismo modo que el

¹⁴ Efectos del paladio sobre la salud http://www.quantyka.com.mx/catalogo/HDSM/Puros/paladio_polvo.htm



oxígeno difícilmente reacciona con el hidrógeno molecular, resulta que lo hace muy fácilmente con los grupos Pt-H para formar agua, siendo también en este caso mínimo la energía necesaria para activar la reacción. En el gráfico se representa el mecanismo de la reacción:

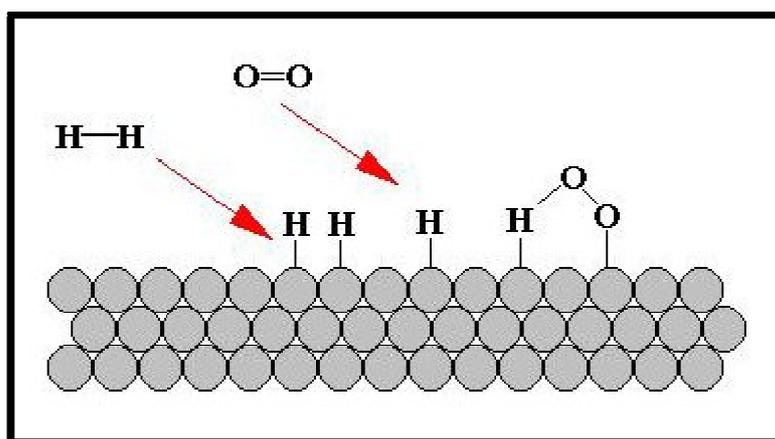


Fig. 1.21 Reacción química del platino

Fuente: <http://www.unctad.org>

El hidrógeno reacciona en presencia de numerosos metales, especialmente del platino, formando hidruros con enlace covalente entre el metal y el hidrógeno. Estos hidruros reaccionan con facilidad con el oxígeno, formando diversas combinaciones en la superficie del metal para finalmente formar agua.

Muchas reacciones químicas en las que el hidrógeno es partícipe pueden acelerarse en presencia de platino, basando esa aceleración, en todos los casos, en la formación de grupos Pt-H.¹⁵

1.4.2.5.3 Rodio

Elemento químico, de símbolo Rh, de número atómico 45 y peso atómico 102,905. El rodio es un metal blanco, duro, considerablemente menos dúctil que el platino o el paladio, pero mucho más dúctil que cualquier otro metal de este grupo.

Se usa principalmente como un elemento de aleación para el platino. Es un excelente catalizador para la hidrogenación y es activo en la reformación catalítica de hidrocarburos.

¹⁵ Platino y sus características <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/pt.htm>



El rodio se emplea también en aplicaciones para contactos eléctricos. Es galvanizado fácilmente para formar superficies duras, resistentes al desgaste y de brillo permanente, utilizadas tanto en contactos eléctricos estacionarios como corredizos, en espejos y reflectores, y como acabado en joyería.

El rodio es resistente a mayor parte de los ácidos comunes, incluida el agua regia, aun a temperaturas moderadas. Lo atacan el ácido sulfúrico caliente, el ácido bromhídrico caliente, el hipoclorito de sodio y los halógenos libres a 200-600°C (390-1110°F).¹⁶

¹⁶ Rodio <http://es.wikipedia.org/wiki/Rodio>



CAPITULO II

PRINCIPALES CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS PRODUCIDOS POR LOS MOTORES DIESEL

INTRODUCCION:

La contaminación del medio ambiente está compuesta de elementos de origen natural y emisiones resultantes de actividades humanas. Los contaminantes atmosféricos pueden ser compuestos gaseosos, líquidos y material particulado. Entre los contaminantes principales tenemos el ozono, los óxidos de azufre y de nitrógeno, monóxido de carbono, dióxido de carbono y compuestos volátiles orgánicos e inorgánicos. El material particulado se caracteriza, a su vez, por partículas suspendidas totales, se llama partículas suspendidas a las partículas: PM10 con un diámetro menor a diez micras estas partículas pueden acceder a la parte superior del tracto respiratorio. Las partículas finas PM2.5 con un diámetro menor a 2,5 micras que llegan hasta los pulmones. Las partículas ultra finas PM100 con un diámetro menor a un nanómetro que pueden llegar hasta la circulación sanguínea.¹⁷ Las emisiones resultantes de actividades humanas a la atmósfera provienen de: las fuentes fijas y las móviles, las cuales se describen a continuación.

2.1 FUENTES FIJAS:

Existen dos tipos de fuentes fijas generadoras de emisiones:

2.1.1 Fuentes puntuales. Derivadas de la generación de energía eléctrica y de actividades industriales.

2.1.2 Fuentes de área. Las fuentes de área incluyen la generación de aquellas emisiones inherentes a actividades y procesos, tales como el consumo de solventes, limpieza de superficies, el tratamiento de aguas residuales, rellenos sanitarios, entre otros.

¹⁷Partículas PM10, PM2.5, PM100 <http://www.solociencia.com/ecologia/05042108.htm>



2.2 FUENTES MOVILES:

La definición de fuente móvil incluye a todos los vehículos automotores, entre ellos tenemos a los aviones, helicópteros, ferrocarriles, tranvías, tracto camiones, autobuses, camiones, automóviles, motocicletas, embarcaciones, equipo y maquinarias no fijas con motores de combustión y similares, que por su operación generen emisiones contaminantes a la atmósfera.

Los motores de combustión interna son los responsables de las emisiones de CO, HC, SO₂, NO_x, humos negros, entre otros, producidos durante la combustión.¹⁸

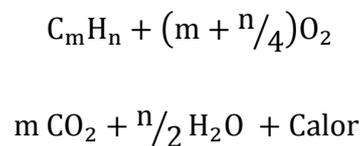
2.2.1 El proceso de combustión

La combustión es una reacción termoquímica entre el oxígeno y el combustible, para formar CO₂ y H₂O, más el consiguiente desprendimiento de calor, si la combustión es completa e ideal.

2.2.2 Combustión Completa del Diesel

La combustión completa del diesel se da cuando existe una cantidad exacta de oxígeno para cierta cantidad de comburente como se expresa a continuación.

Formula de la combustión completa



Ejemplo con un Hexadecano (Diesel) C₁₆H₃₄



Igualando la ecuación tenemos:

¹⁸<http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/396/tipos.html>

**ANTES DE LA COMBUSTION**

C=16

H=34

O=49

DESPUES DE LA COMBUSTION

C=16

H=34

O=49

Ejemplo con un Octano (Gasolina) C_8H_{18}



Igualando la ecuación tenemos:

ANTES DE LA COMBUSTION

C=8

H=18

O=25

DESPUES DE LA COMBUSTION

C=8

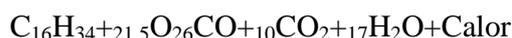
H=18

O=25

2.2.3 Combustión incompleta del Diesel

Por lo general una combustión incompleta del diesel se da cuando la cantidad de oxígeno es menor a la requerida por el comburente para quemarse en su totalidad.

Ejemplo con un Hexadecano (Diesel) $C_{16}H_{34}$



Ejemplo con un Octano (Gasolina) C_8H_{18}



Para que se produzca la reacción de una manera efectiva el combustible debe pasar de estado líquido a gaseoso, lo que le permite mezclarse con el oxígeno. Debido a que el proceso de combustión no es 100 % eficaz parte de los reactivos no se transforman en CO_2 y H_2O si no que se transforman en elementos contaminantes que se emiten al medio ambiente en forma de emisiones. Y como consecuencia parte de la energía química de los reactivos no se transforman en calor.

¹⁹ Combustión completa del diesel Libro: Química General Moderna Autor: Ibarz Babor



2.3 COMBUSTIÓN DE LOS MOTORES DIESEL

En los motores diesel la energía se obtiene por la combustión del diesel al introducirlo en el cilindro finamente pulverizado, directamente en la cámara de combustión, al final de la carrera de compresión, en el momento que se encuentra repleta de aire fuertemente comprimido y caliente. En estas condiciones, se inyecta el diesel a alta presión en la cámara de combustión y tan pronto como las gotas de combustible frío entran en contacto con el aire caliente comienza a elevarse su temperatura y se forma una capa de vapor alrededor de cada una de las gotas. El aire de alrededor, que se ha enfriado, tiende a recuperar su temperatura tomando calor de la masa de aire comprimido, transmitiendo nuevamente este calor a la gota de combustible, que de esta manera sigue calentándose hasta alcanzar su temperatura de inflamación. Cuando esto sucede empieza la combustión y el calor que ahora se produce es transmitido a toda la masa de aire y al combustible que hasta ahora se ha inyectado, evaporándose por completo y produciéndose su inflamación.

De esta manera la combustión puede iniciarse en cualquier punto en que las condiciones sean aptas, es decir, donde la temperatura del aire sea superior a 500 grados centígrados.

La combustión del diesel se realiza en tres etapas:

2.3.1 Etapa 1 (Retardo a la inflamación)

En esta etapa el diesel comienza a entrar en la cámara de combustión. Las gotas están a baja temperatura y se mezclan con el aire, calentándose.

El tiempo que transcurre entre la entrada de las primeras gotas y el inicio de la combustión se denomina retardo a la inflamación, el cual representa el tiempo de giro del cigüeñal que transcurre en el comienzo de la inyección y la inflamación del combustible. Durante este tiempo, el combustible está siendo inyectado continuamente.

El retardo a la inflamación en los motores diesel produce un picado caracterizado similar a la detonación. La magnitud del picado aumenta considerablemente a medida que lo hace el retardo a la inflamación.

El repentino aumento de la presión durante el periodo de combustión incontrolado, produce una onda de impacto que se transmite a través de la cámara de combustión. Cuando esta



onda choca contra el metal de la culata, o de la cabeza del pistón, se escucha un golpeteo metálico, que se conoce como picado.

Para reducir la tendencia a la detonación es necesario que la combustión se inicie con el menor intervalo posible de tiempo con respecto al comienzo de la inyección, para impedir que se acumule en la cámara de combustión una cantidad excesiva de combustible antes de que se inicie la combustión.

El retardo a la inflamación depende en gran medida de la calidad del combustible utilizado. El número de cetano nos da la medida del retardo, que es tanto menor, cuanto mayor sea el NC.)²⁰

2.3.2 Etapa 2 (Combustión incontrolada)

Mientras se da el calentamiento de las primeras gotas, sigue ingresando diesel en la cámara de combustión. Cuando las primeras gotas han alcanzado la temperatura de inflamación se queman, y el aumento de temperatura obtenida desencadena el encendido de todo el combustible acumulado. El aumento elevado de la presión sobre la cabeza del pistón se traduce en un ruido característico de los motores diesel cuya importancia aumenta evidentemente con la rapidez que se produce la inflamación del diesel. Esta etapa se conoce con el nombre de combustión incontrolada y se produce normalmente entre unos grados antes y después del PMS.

2.3.3 Etapa 3 (Combustión controlada)

Al finalizar la etapa 2, el combustible se va quemando a medida que va siendo inyectado en la cámara de combustión. La correcta dosificación de combustible inyectado proporciona un preciso control de la presión en el cilindro.

Aquí está asegurada la inmediata combustión a medida que el combustible va siendo inyectado, debido a la presión y al calor que se genera en la etapa anterior. No obstante

²⁰Tomado de libro: "Técnica del automóvil Sistema de inyección de combustible en los Motores diesel", Alonso Pérez José Manuel. International Thompson Editorial Madrid 2001.

algunas partículas de combustible no encuentran el aire necesario para la combustión en esta etapa y se queman después de que la inyección ha finalizado.²¹

En la figura 2.1 se expone un modelo de combustión donde luego de inyectar el chorro de combustible se forma una zona central de mezcla aire combustible rica que es rodeada uniformemente por una mezcla de aire combustible pobre.

En las fases de la auto inflamación y premezcla del combustible se asume que ocurre una flama de difusión cerca de la región estequiométrica $\phi=1$ entre los límites de la zonas ricas ϕ_R y pobres ϕ_L , en el extremo del chorro. Se asume que el hollín es formado en la estrecha región de mezcla rica al lado de la flama de difusión.²²

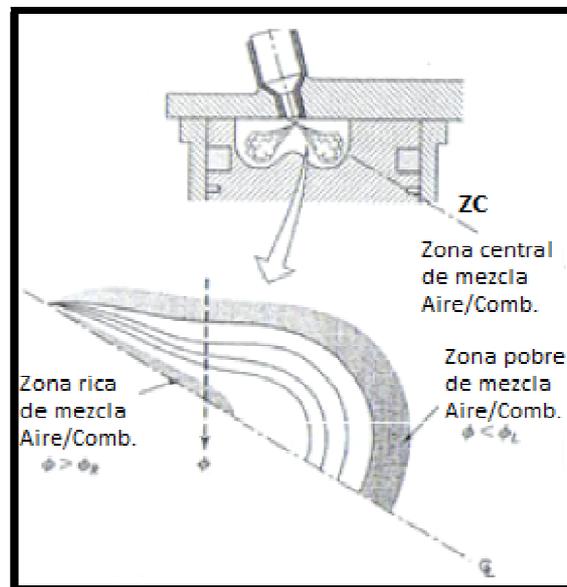


Figura 2.1 Modelo de la combustión diesel

Fuente: Libro. Internal Combustión Engines Applied Thermosciences

Para disminuir el ruido característico de los motores diesel, producido por el comienzo de la combustión (picado), que es perjudicial para los elementos móviles del motor como son el cigüeñal, pistones, rines, cilindros, brazos de biela, se recurre a varios medios de entre los cuales destacaremos:

²¹ Tomado de libro: "Técnica del automóvil Sistema de inyección de combustible en los Motores diesel", Alonso Pérez José Manuel. International Thompson Editorial Madrid 2001.

²² Tomado de libro: Internal Combustión Engines Applied Thermosciences", Ferguson Colin R, y Allan T. Kirkpatric, "secondedition, JhonWiley&Sons, Inc.

- Uso de un combustible con alto índice de cetano (45-50) el cual se inflama fácilmente y a temperatura baja.
- Reducción del volumen de combustible expuesto a la acción de encendido inicial, es decir el combustible que entra en la cámara de combustión hasta que se produce el calentamiento y la inflamación de las primaras gotas.
- Mejora de la turbulencia del aire de admisión, lo que se consigue con una forma adecuada de la cámara de combustión.

Al igual que ocurre en los motores Otto con el salto de la chispa en los diesel se dispone el inicio de la inyección un poco antes de que el pistón alcance el PMS (avance a la inyección) variando este avance en función del régimen del motor. La duración de la misma y, en consecuencia, el volumen del diesel inyectado depende de las condiciones de marcha del motor y son reguladas por la propia bomba de inyección.

En la Figura 2.2 se representa la curva de presión obtenida en la combustión de un motor diesel. La inyección comienza en el punto 1 poco antes de PMS, iniciándose la combustión instantes después en el punto 2. En la segunda etapa (2-3) la combustión se propaga al combustible que ha sido introducido en la primera etapa (1-2), consiguiéndose violentamente el incremento de la presión y la temperatura, que alcanzan valores máximos al final de esta segunda etapa, para descender suavemente en la expansión. En la tercera etapa (3-4) se quema el combustible a medida que el combustible va entrando en la cámara de combustión, y el aumento de presión que ello origina, queda compensado por el aumento del volumen que se produce como consecuencia del descenso del pistón. La línea de trazo representa la línea de compresión obtenido sin inyección de combustible.

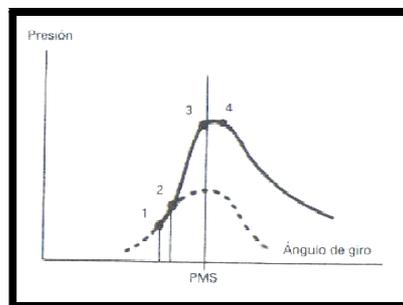


Figura 2.2 Proceso de combustión diesel

Fuente: Libro. Técnica del automóvil Sistema de inyección de combustible en los motores diesel



Con el fin de quemar todo el combustible inyectado cada partícula debe encontrar una cantidad apropiada de oxígeno para lo cual es necesario ingresar en el cilindro una cantidad suficiente de aire, para aumentar las posibilidades de encuentro entre el combustible pulverizado y el oxígeno del aire se permite que la cantidad del aire aspirado supere a la estrictamente necesaria para quemar todo el combustible. El exceso del aire puede cifrarse, por término medio en un 25 %.

2.4 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA COMBUSTIÓN DE LOS MOTORES DIESEL.

2.4.1 Formación de la mezcla aire combustible en los motores diesel.

Los motores diesel trabajan con un combustible que se inflama más difícilmente, preparan la mezcla de aire/combustible hasta el comienzo de la combustión en un tiempo menor y alcanzan así una mezcla menos homogénea. Trabajan siempre con un exceso de aire ($\lambda > 1$). Si el exceso de aire no es suficiente, aumentan las emisiones de hollín, monóxido de carbono (CO) y de hidrocarburos (HC).

2.4.2 Transcurso de la combustión.

El comienzo de la inyección inicia la combustión. Ese comienzo de la combustión influye en el rendimiento del motor. La temperatura de la combustión influye principalmente en la formación de óxidos de nitrógeno (NO_x).²³

2.4.3 Propiedades de los combustibles.

Las propiedades que a continuación se detallan fundamentan una eficiente calidad de combustible.

La estructura y la composición química elemental influyen considerablemente en la duración del periodo de retraso de la inflamación, cuanto mayor sea el contenido de hidrocarburos parafínicos mayor será el número de cetano obteniéndose más corto el periodo de retraso y más suave funcionamiento del motor.²⁴

²³ Tomado de libro: "Manual de la técnica del automóvil, tercera edición, Bosch Robert. Editorial Reverte 1996.

²⁴ Tomado de libro: "Motores del automóvil". Jovaj. M. Edit. Mir. Moscú 1982.

**2.4.4 Propiedades de los combustibles de Ecuador: NTE INEN 1 489:99**

Diesel No.1.: Es el combustible utilizado en máquinas que requieren cambios frecuentes de velocidad y carga, así como también para usos domésticos.

REQUISITOS	UNIDAD	MINIMO	MAXIMO	METODO DE ENSAYO
Punto de inflamación	C	40	-	NTE INEN 1 047
Agua y sedimento	% en vol.	-	0.05	NTE INEN 1 494
Residuo carbonoso sobre el 10% del residuo de destilación	% en peso	-	0.15	NTE INEN 1 491
Cenizas	% en peso	-	0.01	NTE INEN1 492
Temperatura de destilación del 90%	C	-	288	NTE INEN 926
Viscosidad cinemática a 37.8 C	cST	1.3	3.0	NTE INEN 810
Azufre	% en peso	-	0.30	NTE INEN 1 490
Corrosión a la lámina de cobre	-	-	No.2	NTE INEN 927
Índice de cetano calculado	-	40		NTE INEN 1 495

TABLA 2.1 Requisitos del diesel No.1. Fuente NTE INEN 1 489:99

Diesel No.2. Es el combustible utilizado para uso industrial y para motores de combustión interna de auto ignición.



REQUISITOS	UNIDAD	MINIMO	MAXIMO	METODO DE ENSAYO
Punto de inflamación	C	51	-	NTE INEN 1 047
Agua y sedimento	% en vol.	-	0.05	NTE INEN 1 494
Residuo carbonoso sobre el 10% del residuo de destilación	% en peso	-	0.15	NTE INEN 1 491
Cenizas	% en peso	-	0.01	NTE INEN1 492
Temperatura de destilación del 90%	C	-	360	NTE INEN 926
Viscosidad cinemática a 37.8 C	cST	2.5	6.0	NTE INEN 810
Azufre	% en peso	-	0.7	NTE INEN 1 490
Corrosión a la lámina de cobre	-	-	No.3	NTE INEN 927
Índice de cetano calculado	-	45		NTE INEN 1 495

TABLA 2.2 Requisitos del diesel No.2. Fuente NTE INEN 1 489:99

Diesel No.2 de bajo contenido de azufre: Es el combustible utilizado en automotores de diesel, que requieren de bajo contenido de azufre y alta velocidad.



REQUISITOS	UNIDAD	MINIMO	MAXIMO	METODO DE ENSAYO
Punto de inflamación	C	51	-	NTE INEN 1 047
Agua y sedimento	% en vol.	-	0.05	NTE INEN 1 494
Residuo carbonoso sobre el 10% del residuo de destilación	% en peso	-	0.15	NTE INEN 1 491
Cenizas	% en peso	-	0.01	NTE INEN1 492
Temperatura de destilación del 90%	C	-	360	NTE INEN 926
Viscosidad cinemática a 37.8 C	cST	2.5	6.0	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

TABLA 2.3 Requisitos del diesel No.2 de bajo contenido de azufre

Fuente NTE INEN 1 489:99

2.4.4.1 Volatilidad:

Facilidad que este posee de fundirse en el aire, es decir de evaporarse. La volatilidad se determina incrementando la temperatura del líquido hasta lograr la vaporización. Un líquido que se evapora a temperaturas relativamente baja posee una gran volatilidad. Si por el contrario su punto de ebullición es muy alto, el líquido es poco volátil. El diesel es menos volátil que la gasolina. Por tanto la volatilidad influye en la velocidad de formación de la mezcla.

2.4.4.2 Peso específico:

Un bajo peso específico aumenta el consumo de combustible, ya que este es medido en volúmenes en los vehículos (galones por cada 100 km). Los límites superiores de los

Realizado por: Washington Rigael Cajas Quisatasig y Wilson Mauricio Loarte Cabrera



combustibles empleados en los motores de automóviles son respectivamente 0.77 y 0.89 kg/dm³ para la gasolina y el diesel.

El peso específico es importante para el funcionamiento del motor, ya que el combustible debe ser lo suficientemente pesado para conseguir la penetración adecuada en la cámara de combustión. Si el peso específico es demasiado bajo, todo el combustible se inflama nada más al entrar en la cámara de combustión y la fuerza de este se ejerce sobre una pequeña área del pistón, en lugar de sobre toda la superficie de su cabeza.

2.4.4.3 Viscosidad:

La viscosidad tiene relación con el peso específico y afecta directamente al momento de la pulverización del combustible en la cámara de combustión y a los componentes del sistema de inyección. El combustible con una viscosidad alta produce gotitas mayores que son difíciles de quemar concentrando el combustible, mientras que con una viscosidad baja se pulveriza como una niebla fina fácilmente inflamable es decir una correcta dispersión del combustible.

2.4.4.4 Poder calorífico:

El poder calorífico no es más que el valor del contenido de energía del combustible, el cual varía dependiendo de los contenidos de hidrógeno y carbono. Se puede definir también como la cantidad de calor que libera el combustible cuando se ha quemado completamente. Cuanto mayor es la cantidad de hidrógeno, más elevado resulta el poder calorífico.

El poder calorífico se mide generalmente por la cantidad de calor en kilocalorías producidas por un kilogramo de combustible quemado en exceso de oxígeno. A mayor poder calorífico corresponde menor consumo de combustible.

2.4.4.5 Consumo de aire:

Es la cantidad de aire que se necesita para la combustión completa de un carburante, en la gasolina, la relación aire-combustible es de aproximadamente 14,7:1, es decir para una combustión completa de un kilogramo de carburante son necesarios 14,7 kg de aire. Los motores diesel trabajan a la máxima potencia con un exceso de aire del 10 al 15%.



2.4.4.6 Fluidez y punto de congelación.

La fluidez de los combustibles se valora según el poder de filtración o punto de vertido, el cual representa la temperatura más baja, bajo prueba, a la cual el combustible puede fluir por su propio peso. Esta cualidad es un factor importante, dado que es necesario que el combustible fluya libremente a la temperatura más baja posible. La temperatura afecta al diesel más que a la gasolina porque el diesel contiene parafina, que es una sustancia cerosa común entre los combustibles destilados medios y cuando la temperatura desciende comienzan a formarse en el combustible cristales cerosos, cuyo tamaño aumenta con el descenso de temperatura.

En el diesel se tiene mucho cuidado esta propiedad por cuanto a baja temperatura y por segregación de parafina aumenta la resistencia opuesta por los filtros de combustible, de tal modo, que se hace difícil el suministro, por lo cual se recomienda que a partir de -15 grados centígrados se añada una cierta cantidad de petróleo para mejorar la fluidez, pero como en nuestro país no tenemos estos tipos de temperaturas se puede pasar por alto en este estudio.

2.4.4.7 Cetanaje.

En los motores diesel, desde el momento que comienza la inyección de combustible en el cilindro, hasta que se produce su combustión, transcurre un cierto tiempo llamado “retardo a la inflamación” de manera que cuanto mayor sea este, más cantidad de combustible se almacena para inflamarse de golpe, lo que causa un gradiente de presión tan fuerte, que produce un golpeteo característico de estos motores y similar al picado de los motores de encendido por chispa.

La calidad de un combustible diesel es tanto mejor, cuanto menor es el retardo a la inflamación. Si este es muy pequeño, se dice que el combustible posee un buen poder de encendido.

La medida del poder de encendido viene dado por el número de cetano (NC). El cetano es un hidrocarburo parafínicos con óptima facilidad de ignición, al que se le asigna convencionalmente el índice 100. Con él se mezcla el alfa metilnaftaleno, que posee una escasa facilidad de ignición y se le asigna el NC igual a cero. Estos son los combustibles de referencia para determinar el NC de un combustible convencional. El diesel normal tiene un NC comprendido entre 40 y 70.

Realizado por: Washington Rigael Cajas Quisatasig y Wilson Mauricio Loarte Cabrera



La resistencia al picado y el poder de encendido de los combustibles se desarrollan en sentido opuesto. Un combustible antidetonante y apropiado para el motor de gasolina, tiene poco poder de encendido y no es adecuado para motores diesel. Un suficiente poder de encendido del diesel, es la condición previa para una combustión normal y antidetonante en el motor diesel. La detonación se produce aquí cuando el poder de encendido del combustible es inferior al requerido por el motor.

Para aumentar el NC de un combustible pueden añadirse al mismo determinado compuesto de nitrógeno y peróxidos. Para este fin se utiliza en gran escala el nitrato de cicloexanol, que añadido al combustible en un porcentaje del 0.2% eleva el NC en siete unidades.

Los efectos de la calidad de combustible en el motor pueden resumirse de la siguiente manera.²⁵

2.4.4.8 Todos estos factores antes analizados influyen en que se produzca más o menos gases contaminantes dependiendo de la calidad del diesel.

En conclusión entonces el periodo de la combustión ocurre en un tiempo muy corto en torno a las decenas de milisegundos, y está comprendido entre 40° a 50° de giro del cigüeñal (en torno a 20° APMS y 20°-30° DPMS).

Las emisiones de diesel son una mezcla de más de 400 partículas finas diferentes, vapores y materiales orgánicos tóxicos, que resultan cuando se quema el combustible diesel. Más de 40 sustancias químicas de las emisiones de diesel han sido consideradas como contaminantes tóxicos (TAC) en el Estado de California.

En la tabla siguiente se indican los principales productos de los gases de escape:

²⁵ Tomado de libro: "Técnica del automóvil Sistema de inyección de combustible en los Motores diesel", Alonso Pérez José Manuel. International Thompson Editorial Madrid 2001.



GAS	FORMULA QUÍMICA
Monóxido de carbono	CO
Agua	H ₂ O
Hidrogeno	H ₂
Oxigeno	O ₂
Dióxido de carbono	CO ₂
Dióxido de azufre	SO ₂
Óxidos de nitrógeno	NO _x
Aldehídos como el benceno	C ₆ H ₆
Aldehídos como el formaldehido	HCHO
Hidrocarburos	HC
Hidrocarburos aromáticos poli cíclicos	PAH _s
Hollín	PM10 PM2.5

TABLA 2.4 Principales gases de escape

2.5 LOS PRINCIPALES CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EMITIDOS POR LOS VEHÍCULOS.

2.5.1 Los componentes principales

En una combustión completa, ideal o teórica, los gases de escape son nitrógeno, dióxido de carbono y vapor de agua. Ninguno de los cuales es nocivo. El dióxido de carbono CO₂, debe ser analizado detenidamente ya que tiene una creciente importancia por su aportación al efecto de invernadero en grandes cantidades como es en la industria automovilística.

En la tabla 2.5 tenemos las reacciones que corresponden a reacciones completas de combustible diesel.

Es importante hacer notar que las reacciones fueron planteadas para 1 kmol de combustible y se ha utilizado oxígeno puro como comburente.

En la tabla siguiente aparece el dióxido de azufre como producto de la combustión completa del diesel ya que el azufre está presente con un máximo de 500ppm.

Realizado por: Washington Rigael Cajas Quisatasig y Wilson Mauricio Loarte Cabrera



$C + O_2 = CO_2$
$CO + 1/2 O_2 = CO_2$
$H_2 + 1/2 O_2 = H_2O$
$S + O_2 = SO_2$
$SH_2 + 3/2 O_2 = SO_2 + H_2O$
$C_nH_m + (m/4 + n) O_2 = n CO_2 + m/2$ $H_2O + \text{Calor}$
$C_{16}H_{34} + 24.5 O_2 = 16 CO_2 + 17 H_2O + \text{Calor}$

Tabla 2.5 Principales reacciones químicas en Combustión completa

Fuente: <http://materias.fi.uba.ar/6730/Tomo1Unidad2.pdf>

2.5.2 Los componentes secundarios

Debido a diversos factores ya antes mencionados y analizados, la combustión se realiza de manera incompleta, por lo que aparecen otros gases que adquieren importancia por ser nocivos para el planeta y seres vivos.

La combustión de hidrocarburos en aire involucra centenares de reacciones químicas elementales y decenas de especies químicas.

Considerando la riqueza de la mezcla se presentan tres casos:

1. Combustión con exceso de combustible (combustión rica)
2. Combustión estequiométrica
3. Combustión con exceso de aire (combustión pobre)

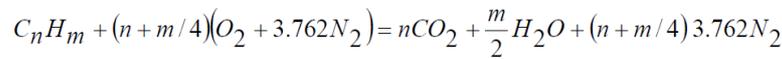
Los productos de la combustión de los hidrocarburos en aire se denominan genéricamente humos, y están constituidos por dióxido de carbono, agua y el nitrógeno del aire, comúnmente denominado balasto. En los casos de combustión rica o pobre aparecerán también entre los productos de combustión el combustible (rica) o el aire (pobre) que haya en exceso.²⁶

²⁶Componentes secundarios: <http://materias.fi.uba.ar/6730/Tomo1Unidad2.pdf>

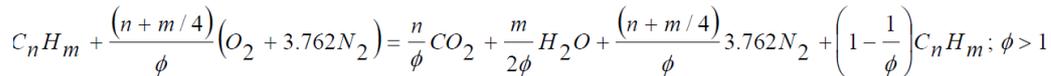


2.5.3 Reacción general

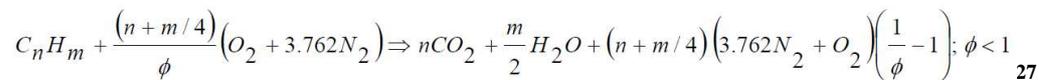
Para el hidrocarburo de composición general C_nH_m describimos la reacción de combustión completa estequiometría:



Para la combustión con exceso de combustible:



Y con exceso de aire

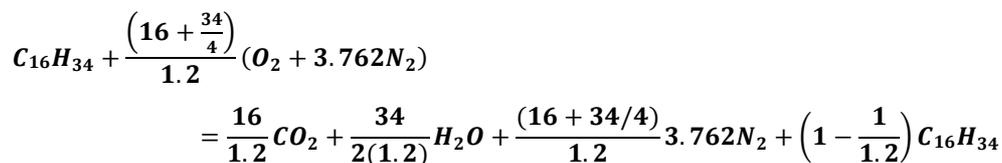
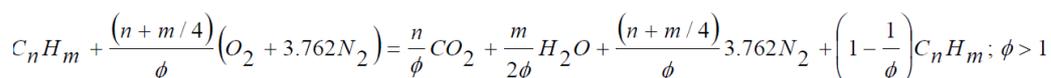


2.5.3.1 Los hidrocarburos:

Este contaminante, en presencia de óxidos de nitrógeno y a la luz del sol forma oxidantes que irritan las mucosas.

Con las relaciones químicas anteriores podemos calcular la composición de los productos de combustión para cualquier valor de la riqueza de mezcla o la fracción de mezcla. A continuación calcularemos la combustión para un diesel hexadecano ($C_{16}H_{34}$) para ver la cantidad de hidrocarburos sin quemar y como se originan.

Para la combustión con exceso de combustible $\phi = 1.2$:



²⁷Reacciones químicas de la combustión <http://materias.fi.uba.ar/6730/Tomo1Unidad2.pdf>



Tenemos 0.16 de $C_{16}H_{34}$ sin quemar lo que origina que salga por el tubo de escape como gas contaminante.

Y con exceso de aire $\phi=0.9$

$$C_nH_m + \frac{(n+m/4)}{\phi}(O_2 + 3.762N_2) \Rightarrow nCO_2 + \frac{m}{2}H_2O + (n+m/4)(3.762N_2 + O_2)\left(\frac{1}{\phi} - 1\right); \phi < 1$$

$$C_{16}H_{34} + \frac{(16 + \frac{34}{4})}{0.9}(O_2 + 3.762N_2) = 16CO_2 + \frac{34}{2}H_2O + \left(16 + \frac{34}{4}\right)(3.762N_2 + O_2)\left(\frac{1}{0.9} - 1\right)$$

$$C_{16}H_{34} + 27.22(O_2 + 3.762N_2) = 16CO_2 + 17H_2O + 10.23N_2 + 2.69O_2$$

Algunos hidrocarburos son cancerígenos debido a que el diesel no es 100% puro en su composición y tiene azufre, aromáticos, cetonas entre otros componentes y es esto lo que origina que en el funcionamiento del motor se tenga más hidrocarburos en los gases de escape. A continuación se consideran los tipos de hidrocarburos.

➤ **Hidrocarburos no quemados:**

- C_nH_m (Parafinas, olefinas, aromáticos)

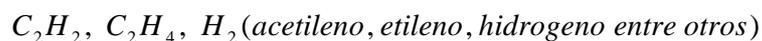
➤ **Hidrocarburos parcialmente quemados:**



- C_nH_mCO (cetonas)



➤ **Productos del craqueo térmico y desintegración (hidrocarburos livianos):**



2.5.3.2 Óxidos de Nitrógeno NO_x

Del nitrógeno del aire y del combustible, el **NO** es un gas incoloro, inodoro e insípido que expuesto al aire se transforma lentamente en NO_2 . El **NO_2** es un gas pardo rojizo, de olor penetrante y muy venenoso. Destruye el tejido pulmonar. El **NO** y **NO_2** se determinan corrientemente juntos y se denominan óxidos de nitrógeno NO_x .



2.5.3.3 Formación de los Óxidos de Nitrógeno:

Los óxidos de nitrógeno se forman debido a que el aire que ingresa al motor está constituido alrededor de un 78 de N_2 que al estar sometido a altas temperaturas y presión reacciona con el oxígeno.

El Nitrógeno tiene las siguientes valencias: +1, +2, +3, +4, +5 que pueden reaccionar con el oxígeno de valencia -2, el nitrógeno forma óxidos neutros gaseosos, dañinos solo con las valencias +2, +4, el nitrógeno con valencia +2 forma el monóxido de carbono, y con valencia +4 forma dióxido de carbono. El nitrógeno con valencias +1, +3, +5, forma anhídridos que no son perjudiciales al ambiente.²⁸

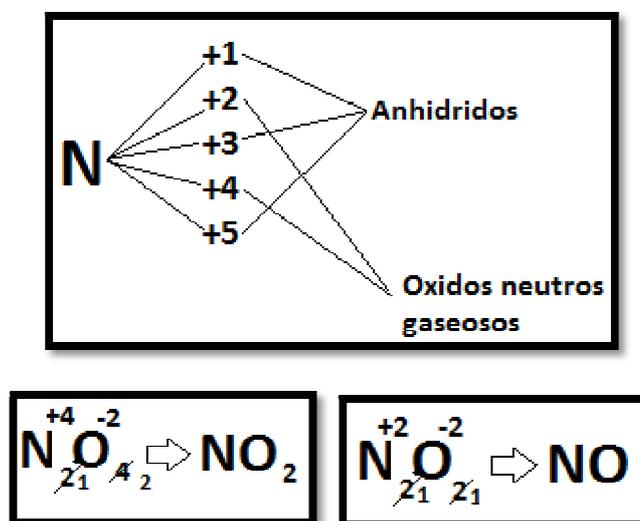


Figura 2.3 Reacciones del nitrógeno
Fuente: Autores

2.5.3.4 Monóxido de carbono CO:

El monóxido de carbono es un gas incoloro, inodoro e insípido. El respirar 30 minutos un aire que contenga un 0,3 % en volumen de CO es mortal. Se puede considerar también como un hidrocarburo parcialmente quemado. Se estima que el 85% del monóxido de carbono proviene de los motores de los vehículos.

El monóxido de carbono al igual que los hidrocarburos se produce en mayor parte cuando la mezcla es muy rica o pobre ejemplo:

²⁸ Óxidos de nitrógeno: Libro: Química General Moderna Autor: Ibarz Babor



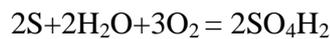
Hexadecano (Diesel) $C_{16}H_{34}$

$C_{16}H_{34} + 21.5O_2 \rightarrow 16CO + 17H_2O + \text{Calor}$, en este ejemplo la cantidad de oxígeno necesario para que la combustión sea completa es de 24,5 y solo tenemos 21,5 por lo tanto tenemos formación de CO.

2.5.3.5 Dióxido de azufre SO_2

Proviene de las impurezas que contiene el combustible, provocando lluvia acida.

Esto se debe a que el azufre se combina directamente con la mayoría de los elementos para formar sulfuros, en presencia de calor se une a todos los metales, con excepción del oro y el platino, el azufre en el aire húmedo y en presencia de vapor de agua se oxida a ácido sulfúrico.



El azufre en presencia de algunos oxidantes transforman el azufre en dióxido de azufre, SO_2 , o en ácido sulfuroso, SO_3H_2 , y en una oxidación ulterior en trióxido de azufre, SO_3 , o en ácido sulfúrico, SO_4H_2 . El azufre arde en el aire o en oxígeno y se transforma en SO_2 con indicios de SO_3 .²⁹

2.5.3.6 Humos Negros:

Comprende todo material, contenido como cuerpo sólido (cenizas, carbono). La inyección de combustible en la cámara de combustión mezcla el combustible con el aire pero esta mezcla no es completa y correcta en todas las zonas de la cámara de combustión y en algunas hay exceso de combustible sometido a altas temperaturas. Debido a la falta de oxígeno en estas zonas se produce una destilación en seco de los hidrocarburos, y a causa de la separación del hidrogeno se produce carbono.

Estos gases se producen por lo general cuando un motor está mal regulado o calibrado. Las partículas sólidas, denominadas comúnmente hollín, constan de un núcleo de carbono puro, al que se hallan adheridos los siguientes componentes

Hidrocarburos (HC).

²⁹Ácido sulfúrico. Libro: Química General Moderna Autor: Ibarz Babor



Agua (H₂O).

Sulfato (SO₄).

Azufre y óxidos metálicos varios.

El núcleo de carbono puro se considera una sustancia inofensiva para la salud, pero algunos compuestos de hidrocarburos se consideran nocivos y otros producen un olor desagradable.³⁰

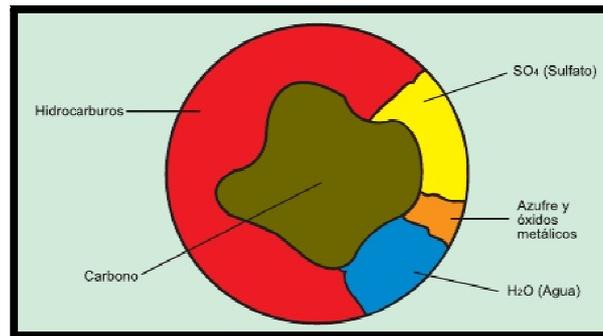


Figura 2.4 Partículas de Hollín

Fuente: <http://www.scribd.com/doc/6560443/Analisis-de-Gases>

2.5.3.7 Oxidantes:

Por efecto de la luz del sol y de los componentes de los gases de escape se generan oxidantes, peróxidos orgánicos, ozonos, nitratos de peroxiacilo.)³¹

2.6 CONTENIDO PROMEDIO DEL PORCENTAJE DE CONTAMINANTES EN LOS MOTORES DIESEL DE LOS GASES DE ESCAPE.

A continuación en la figura 2, se expone los porcentajes de los gases principales y secundarios de un motor de encendido por compresión.

³⁰ Humos negros. <http://www.scribd.com/doc/6560443/Analisis-de-Gases>

³¹ Tomado de libro: "Manual de la técnica del automóvil". Bosch Robert, tercera edición. Editorial Reverte 1996.

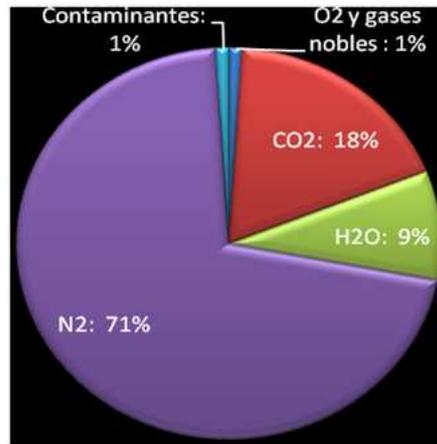


Figura 2.5 Porcentaje de emisiones de los motores diesel
Fuente: Libro. Manual técnica del Automóvil

En la figura 2.4, se estima el 1% de contaminantes, se representan los más importantes y se distribuye de la siguiente manera:

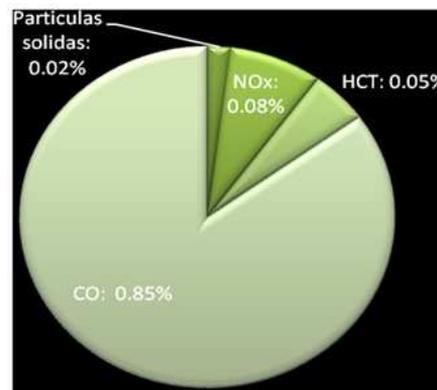


Figura 2.6 Porcentaje de contaminantes de los motores diesel
Fuente: Libro. Manual técnica del Automóvil

Las partículas sólidas constan de C(s) y Óxidos de azufre.³²

2.7 EFECTOS DE LOS CONTAMINANTES EN EL HOMBRE Y ECOSISTEMA.

A continuación se detalla el impacto de los gases de combustión incompleta en el ecosistema.

³² Tomado de libro: “Manual de la técnica del automóvil”. Bosch Robert, tercera edición. Editorial Reverte 1996.



2.7.1 Monóxido de carbono

Este gas al tener un fuerte enlace con el átomo de hierro (cerca de 200 veces más que el átomo de oxígeno) que se encuentra en la hemoglobina de la sangre razón por la cual no permite una conexión con el átomo de oxígeno de la sangre provocando daños cerebrales, agrava problemas cardiacos.

2.7.2 Óxidos de nitrógeno

Los óxidos de nitrógeno provocan irritación de los órganos respiratorios, destruyen el tejido pulmonar, algunos óxidos de nitrógeno bajo la acción de los rayos solares y la humedad producen enrojecimiento, picazón de los ojos y tos, en contacto con la hemoglobina provoca parálisis, dañan la vegetación.

2.7.3 Hidrocarburos

En presencia con los óxidos de nitrógeno y de la luz solar forman productos de oxidación de combustión que irritan los ojos y las mucosas, contribuyen al calentamiento global, los hidrocarburos aromáticos como el benzopireno son cancerígenos, dañan la vegetación

2.7.4 Dióxido de Azufre

Es una niebla contaminante y causa la lluvia acida, destruye la vegetación y produce daño permanente a los pulmones.

2.7.5 Humos negrosy partículas.

A largo plazo producen cáncer, también irritación de la nariz, garganta, daño pulmonar y bronquitis.

El material particulado se caracteriza, a su vez, por partículas suspendidas totales, se llama partículas suspendidas a las partículas: PM10 con un diámetro menor a diez micras estas partículas pueden acceder a la parte superior del tracto respiratorio. Las partículas finas PM2.5 con un diámetro menor a 2,5 micras que llegan hasta los pulmones. Las partículas ultra finas PM100 con un diámetro menor a un nanómetro que pueden llegar hasta la circulación sanguínea



2.7.6 Dióxido de carbono

Es el causante principal del calentamiento global y el problema es que al tratar el monóxido de carbono dentro del catalizador el resultado es dióxido de carbono, he aquí un punto a ser analizado y ver si es viable hacer esto o es mejor dejarlo como dióxido de carbono

2.8 MEDIDAS EN EL DISEÑO DEL MOTOR DEL HYUNDAI PARA DISMINUIR LAS EMISIONES CONTAMINANTES.

2.8.1 Diseño de la cámara de combustión.

La forma de la cámara de combustión influye en la emisión de los gases de escape. Los motores con cámara de combustión subdividida antecámara, cámara de turbulencia expulsan menos óxidos de nitrógeno que los motores con inyección directa. Los motores con cámara de inyección directa consumen menos combustible. Una acertada adecuación del movimiento del aire en la cámara de combustión contra los chorros de combustible favorece la mezcla del aire con el combustible y con ello una mejor combustión para asegurar la inflamación es precisa una temperatura de compresión suficientemente alta.³³

Para conseguir una inflamación adecuada del combustible que se inyecta, es necesario mantener un cierto nivel térmico en la cámara de combustión, teniendo presente que cuando una llama se propaga a lo largo de una pared, cuya temperatura es más baja, se ocasiona una disminución de la temperatura de la llama, creando una disminución en la velocidad de reacción, pudiendo anularse totalmente en la proximidad inmediata de la pared. Y como resultado se obtiene un aumento del porcentaje de HC y CO.³⁴

2.8.2 Inyección de combustible y ángulo de avance a la inyección del combustible

El inicio, el transcurso de la inyección y la pulverización del combustible influyen en la emisión de contaminantes. El inicio de la inyección determina fundamentalmente el inicio de la combustión. Una inyección retardada disminuye la emisión de óxidos de nitrógeno. Una inyección demasiado retardada aumenta la emisión de hidrocarburos y el consumo de combustible. Una variación de 1 grado del cigüeñal sobre el valor nominal del inicio de la

³³ Tomado de libro: "Manual de la técnica del automóvil". Bosch Robert, tercera edición. Editorial Reverte 1996.

³⁴ Tomado de libro: "Técnica del automóvil Sistema de inyección de combustible en los Motores diesel", Alonso Pérez José Manuel. International Thompson Editorial Madrid 2001.



inyección puede elevar la emisión del NO_x o de HC aproximadamente entre un 5 y un 15%. Esta elevada sensibilidad obliga a unos inicios de la inyección muy bien regulados.

El combustible finamente pulverizado favorece a la mezcla del aire con el combustible. Contribuye a la disminución de Hidrocarburos y Hollín (partículas).

La cantidad máxima de combustible, en relación con la cantidad de aire aspirado debe limitarse de modo que el motor no emita hollín. Exige esto un exceso de aire mínimo del 10 al 20%.

Cuando el avance a la inyección es grande aumentan los retrasos de la inflamación ya que la presión y temperatura del aire al instante del inicio de la inyección se reducen. Respectivamente los valores de presión aumentan bruscamente debido al acumulamiento de gran cantidad de combustible en la cámara de combustión hacia el instante de ignición, así como debido a que parte del combustible se quema cerca del PMS a Volumen aproximadamente constante. Para pequeños ángulos de avance a la combustión los retrasos de la inflamación disminuyen, el motor funciona más suave pero su potencia y plenitud de combustión decrecen, ya que la mayor parte del combustible se quema en el proceso de expansión.

Los ángulos óptimos de avance a la inyección dependen de la estructura del motor, de su régimen térmico, de la relación de compresión, de la presión y temperatura del aire a la entrada del cilindro.³⁵

2.8.3 Retroalimentación de los gases de escape

El aire aspirado se mezcla con gases de escape y de esta manera se reduce la concentración de oxígeno y se eleva su calor específico. Ambas influencias reducen la temperatura de la combustión y con ello la formación de óxidos de nitrógeno y reducen además la cantidad de gases de escape expulsados. Si se recupera una cantidad demasiado elevada de gases de escape aumenta la emisión de hollín y monóxido de carbono por la insuficiencia de aire, por ello hay que limitar la cantidad de gas de escape que se recupera de forma que en la cámara de combustión quede aire suficiente para la combustión del combustible inyectado.

³⁵ Tomado de libro: "Motores del automóvil" Jovaj, M. Edit. Mir. Moscú 1982.



2.8.4 Relación de compresión.

A medida que se incrementa la relación de compresión se eleva la temperatura y presión en el aire en el instante del inicio de la inyección. Como consecuencia los retrasos de la inflamación se reducen, la velocidad de crecimiento de presión disminuye y el funcionamiento del motor es más suave. Pero para elevadas relaciones de compresión las presiones en el cilindro resultan más altas, por tanto teniéndose que reforzar los elemento pistón-biela-cigüeñal.

2.8.5 Calidad de la pulverización y duración de la alimentación de combustible

El grado de pulverización mejora al elevar la presión de inyección. Cuando la pulverización es fina se reducen los retrasos de la inflamación, pero disminuye la penetración de los chorros de combustible, lo que en ciertos casos puede empeorar la distribución de combustible entre la masa de aire y por consiguiente una combustión incompleta, por lo que se debe diseñar y calibrar el motor para cierto tipo de pulverización de combustible.³⁶

2.8.6 Turbulencia

Una buena combustión se produce cuando cada gota de combustible que es inyectado, encuentra suficiente cantidad de aire para combinarse con el oxígeno. Con una eficaz turbulencia y exceso de aire en la cámara, aumentan las posibilidades de que esto ocurra. Al subir el régimen de giro del motor crece la turbulencia, pero con ello se incrementa la pérdida de calor a través de las paredes de la cámara de combustión descendiendo la temperatura, lo que a su vez propicia un retardo a la inflamación. Por ello el aumento de la turbulencia debe ser tal, que la disminución consiguiente de la temperatura no sea excesiva.³⁷

2.8.7 Recirculación de los gases:

La recirculación de los gases de escape, debido a la reducción de la temperatura de combustión, tiene un efecto positivo sobre las emisiones de óxidos de nitrógeno.

³⁶ Tomado de libro: "Motores del automóvil" Jovaj. M. Edit. Mir. Moscú 1982.

³⁷ Tomado de libro: "Manual de la técnica del automóvil". Bosch Robert, tercera edición. Editorial Reverte 1996.



Como contrapartida podemos decir que una "relación" demasiado alta de recirculación, puede ser negativa respecto a la vida útil del motor, la cual puede verse disminuida por polución interna y desgaste.

2.8.7.1 Funcionamiento del sistema de recirculación de gases:

La apertura de la válvula del sistema, se realiza a baja y media potencia aproximadamente puesto que para las altas prestaciones de un motor, se necesita una entrada de aire más denso que se mezcle con el combustible, lo que se denomina en automoción aire fresco.

Esto sucedería contando con que la válvula EGR dispusiera de un mando eléctrico, que bajo el mando de la unidad del motor, actuase sobre el vástago de la válvula abriendo y cerrando a esta.

2.8.7.2 Las medidas adoptadas para reducir la emisión de NOx son:

Incorporación de un sistema de recirculación de gases de escape (EGR).

Optimización de las cámaras de combustión y mejoras en el sistema de inyección.

Utilización de filtros acumuladores de NOx³⁸

2.9 FUNCIONAMIENTO DE LA EGR EN EL HYUNDAI SANTA FE DIESEL

En el motor a diesel del vehículo Hyundai Santa Fe con un sistema de inyección CRDI (Inyección Directa de Riel Común), que cumple con las normativas Euro IV, la válvula EGR está enfocada a disminuir la formación de los dos principales contaminantes ambientales de un motor diesel como son los óxidos nitrosos (NOx) y las partículas libres u hollín que no son tratadas con el catalizador oxidante como se explicó anteriormente. Esta reducción de contaminantes lo logra disminuyendo el oxígeno residual y descomponiendo las partículas libres, este ingenioso sistema fue incorporado en el vehículo a partir de año 2006.

2.9.1 Disminuir el oxígeno residual

Al recibir la señal del ECM Modulo de Control electrónico, es decir la computadora que controla todas las gestiones del motor, controla también la válvula EGR, el actuador EGR que es un motor de corriente directa, acciona directamente la válvula EGR, la controla

³⁸<http://www.scribd.com/doc/6560443/Analisis-de-Gases>

completamente abierta o completamente cerrada. El ECM ejecuta un control de realimentación del sistema EGR con la información de la masa del flujo de aire medido la función del MAFS en el motor diesel es distinta que en el motor a gasolina. La cantidad de inyección de combustible se decide mediante la señal MAFS en el motor de gasolina. Cuando aumenta el gas de escape mediante la válvula EGR, éste gas no contiene oxígeno, que fluye a la cámara de combustión, el aire que pasa por MAFS, que si contiene oxígeno, se reduce. Para ello, la señal de salida del MAFS cambia acompañado de la actuación de la EGR, el ECM determina la cantidad de gas del EGR que re circula, también utiliza una válvula solenoide ACV (Válvula de Control de Aire) para restringir la entrada de aire del MAFS

El NO_x se produce a partir de la reacción del nitrógeno con el oxígeno. Por medio del control del gas de la EGR (sin oxígeno) que re circula en la cámara de combustión, si menos aire de admisión de la necesaria fluye en la cámara de combustión, el NO_x disminuye porque no hay oxígeno auxiliar que reaccione con el nitrógeno. También se logra una disminución de otro gas contaminante como es el óxido de azufre SO presente en los combustibles que contienen azufre, éste gas a altas temperaturas y con una gran cantidad de oxígeno forma el trióxido de azufre (SO₃) que al reaccionar con el agua del ambiente forma el ácido sulfúrico (SO₄H₂), causante de la lluvia ácida y nubes contaminantes.

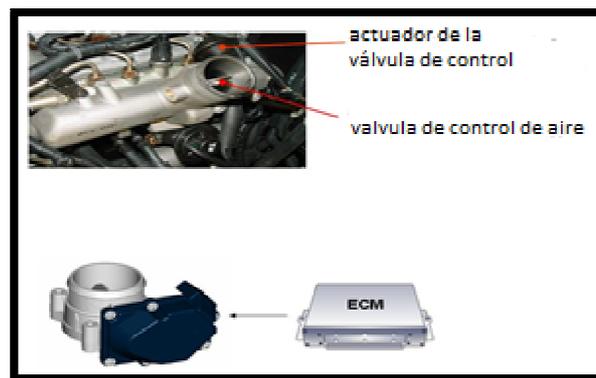


Figura 2.7 Válvula de control de entrada de aire (ACV)

Fuente: <http://www.yoreparo.com>

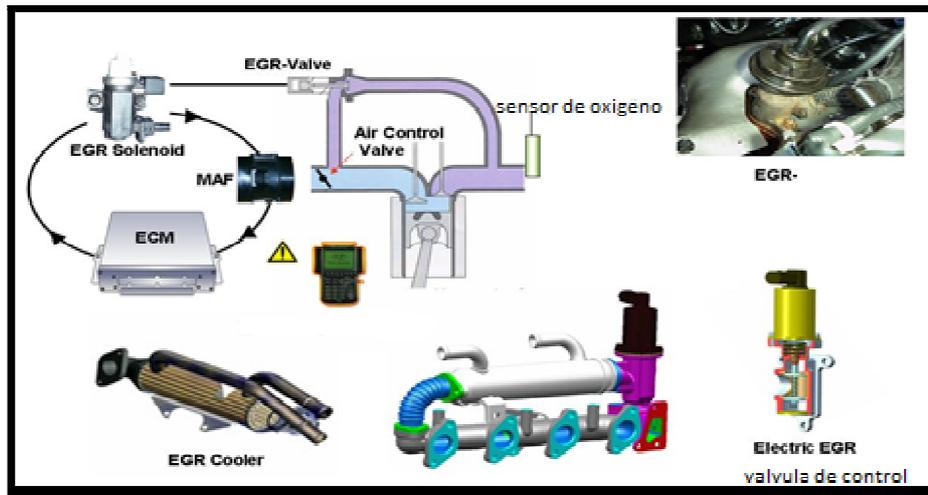


Figura 2.8 Válvula de control de entrada de aire (ACV)

Fuente: <http://www.yoreparo.com>

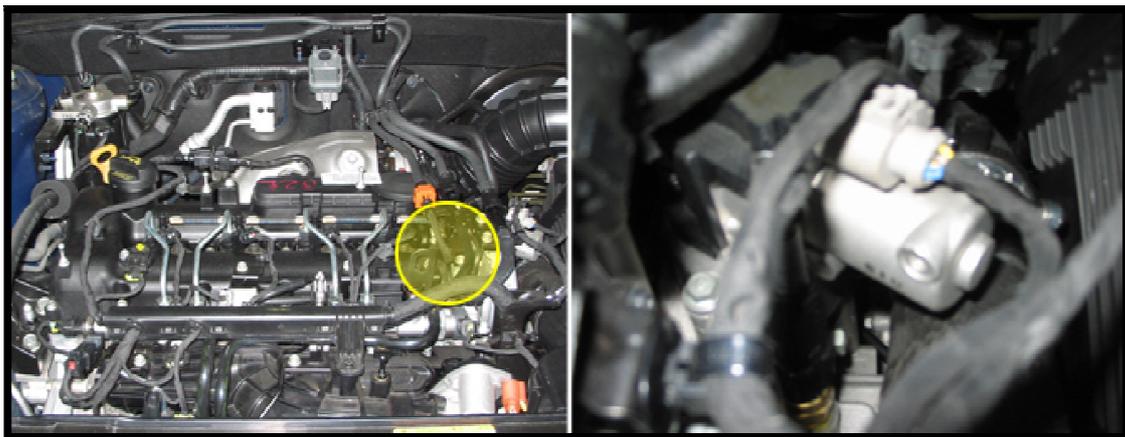


Figura 2.9 Válvula de control de entrada de aire (ACV)

Fuente: <http://www.yoreparo.com>

2.10 DIESEL ECOLOGICO "PREMIUM"

El diesel ecológico Premium es un combustible obtenido de la destilación primaria del petróleo. Es un destilado medio que se encuentra entre el kerex y el aceite lubricante. Sus componentes elementales son el carbono, el hidrógeno y el azufre. El producto ecológico tiene un máximo del 0.05% de azufre, es decir 0.65% menos que el diesel 2.



En nuestro medio existen tres tipos de diesel: Diesel Premium con un máximo de 500 partículas por millón (ppm) de contenido de azufre, Diesel 2 con un máximo de 700 ppm de azufre. El primero está destinado solo para el Distrito Metropolitano de Quito y Cuenca, por requerimiento de los Municipios que lo han conseguido a través de Ordenanzas Municipales y publicadas en Registro oficial y el segundo para el resto del País y el tercero, el Diesel 1 de uso restringido para las industrias que lo requieren con un máximo de 3000 ppm de azufre. Los tres tipos de diesel cumplen estrictamente las normas de calidad establecidas por la norma INEN. A continuación presentamos la normativa del diesel Premium que se distribuye en la ciudad de Cuenca.

Este Diesel de bajo contenido de azufre es el combustible utilizado en automotores de diesel, que requieren de bajo contenido de azufre y alta velocidad.

REQUISITOS	UNIDAD	MINIMO	MAXIMO	METODO DE ENSAYO
Punto de inflamación	C	51	-	NTE INEN 1 047
Agua y sedimento	% en vol.	-	0.05	NTE INEN 1 494
Residuo carbonoso sobre el 10% del residuo de destilación	% en peso	-	0.15	NTE INEN 1 491
Cenizas	% en peso	-	0.01	NTE INEN1 492
Temperatura de destilación del 90%	C	-	360	NTE INEN 926
Viscosidad cinemática a 37.8 C	cST	2.5	6.0	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

TABLA 2.6 Normativa del diesel Premium
Fuente NTE INEN 1 489:99



2.10.1 Ventajas del uso del producto

El menor porcentaje en peso de contenido de azufre en el diesel Premium hace posible:

- Reducir las emisiones gaseosas tóxicas como el dióxido de azufre (SO₂) y trióxido de azufre, (SO₃); gases que cuando entran en contacto con el agua, H₂O, forman la llamada lluvia ácida", cuyo efecto es tóxico y nocivo para los ecosistemas.
- Disminuir el efecto corrosivo en los motores y accesorios metálicos de los vehículos, aumentando la vida útil de los mismos y mejora la calidad del aire.

2.10.2 Características

- Es la fracción más pesada que se obtiene del petróleo por destilación atmosférica, por lo tanto es la fracción que destila entre la temperatura que termina la destilación del Diesel 1 y aquella temperatura hasta la cual se puede calentar el petróleo sin que se produzca rompimiento de moléculas (craqueo).
- Los hidrocarburos presentes en este combustible son de carácter saturado como los parafínicos, nafténicos, así como, aromáticos y de carácter mixto. Tiene resistencia baja al autoencendido, es decir, se enciende por compresión y su tensión superficial baja permite la fácil pulverización en los inyectores, su bajo contenido de azufre admite la utilización de lubricantes con bajo contenido de alcalinidad.
- El Diesel Premium, se obtiene disminuyendo el contenido de azufre del Diesel 2, mediante procesos catalíticos de inyección de Hidrógeno se eliminan los compuestos de azufre. Las demás características son las mismas que las del Diesel 2.

2.10.3 Usos

El Diesel Premium es utilizado en vehículos, que por regulaciones ambientales de control de emisiones, los motores están diseñados para funcionar con combustibles con muy bajo contenido de azufre.³⁹

³⁹ Diesel Premium:

http://www.petrocomercial.com/wps/portal!/ut/p/c0/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os_jQAN9AQzcPIwMLd0NzA08LywAzs1API3czE_2CbEdFALHuqZc!/



CAPITULO 3

REALIZAR LAS PRUEBAS RESPECTIVAS PARA DETERMINAR EL DESGASTE PREMATURO DE LOS CATALIZADORES A DIESEL

INTRODUCCIÓN:

En este capítulo tenemos como objetivo principal establecer cuáles son los factores que influyen en mayor proporción sobre los convertidores catalíticos disminuyendo así su vida útil significativamente, en la ciudad de Cuenca el desgaste de los catalizadores es prematuro ya que su durabilidad alcanza como máximo los 80000 km, en esta ciudad la influencia de la temperatura de funcionamiento del motor, la calidad del Diesel, la degradación hidrolítica del aceite y la calidad del oxígeno son factores constantes que aquejan al correcto funcionamiento del motor diesel permitiendo que se dé un mayor flujo de gases contaminantes hacia el catalizador lo que nos da como resultado el deterioro prematuro del mismo, en este capítulo el análisis lo realizaremos en función de estos factores y cuál es el que más influye sobre el desgaste del convertidor oxidante.

También se determinara el índice de desgaste del catalizador en función del kilometraje.

3.1 ANÁLISIS DE LA DURACIÓN DEL CATALIZADOR OXIDANTE CON UN DESGASTE NORMAL Y CON UN DESGASTE PREMATURO EN FUNCIÓN DEL KILOMETRAJE.

Para el análisis de desgaste normal del catalizador como primer punto se determinara cuál es el porcentaje de aumento de emisiones contaminantes por factores puntuales que influyen en la emisión de gases contaminantes en la ciudad de Cuenca, estos valores los tomamos del análisis de los factores puntuales donde se determinó: que la temperatura de funcionamiento del motor influye en un 10%, la degradación del aceite aumenta en un 29% las emisiones contaminantes, el uso de aditivo disminuye en un 23% las emisiones, y la altura de nuestra ciudad nos da un aumento de 25% de emisiones, al tomar en cuenta todos estos factores sabemos que del 100% de los gases de escape de un vehículo a diesel el 87% de estos gases pueden ser eliminados si se trabajara en condiciones óptimas, es decir si el vehículo alcanza su temperatura ideal de funcionamiento antes de arrancar, que el aceite sea cambiado antes de que se dé la degradación hidrolítica, que el diesel que se usa tenga un



índice de cetanos de 50 unidades y una cantidad de azufre máxima de 300 ppm y que el vehículo ruede a nivel del mar.

Por esta razón a los valores de emisiones contaminantes de las tablas 3.20 y 3.21 se disminuirá el 87% de ese valor ya que se está haciendo un análisis en condiciones normales de funcionamiento, mientras que para el análisis del desgaste prematuro se tomara los mismos datos pero sin disminuirles el 87% ya que estos datos son con los que trabaja realmente este vehículo constantemente en la ciudad de Cuenca.

Gas medido	Ralentí	2500 rpm	Valor promedio	Valor en condiciones óptimas
CO	249 ppm	306 ppm	277.5 ppm	$(277 - (277 * 87\%)) =$ 36ppm
HC	61 ppm	49 ppm	55 ppm	$(55 - (55 * 87\%)) =$ 8ppm

Tabla 3.1 Valores para el análisis del desgaste del catalizador en condición normal y desgaste prematuro
Fuente: Autores

Tanto para el análisis de desgaste normal y desgaste prematuro se realizara una suma de los valores contaminantes en ralentí y a 2500 rpm para sacar un valor promedio y realizar los cálculos de la duración de un catalizador oxidante en condiciones normales y con deterioro prematuro, en este caso se puede tomar un valor promedio debido a que los valores en ralentí y a 2500 rpm no tienen mayor diferencia por lo tanto no influirán en los resultados.

Para el análisis de la duración del convertidor catalítico en condiciones óptimas tomaremos los porcentajes de incremento de deterioro del catalizador cada 10000 Km, ya que este es el valor más crítico que se puede alcanzar según los seguimientos realizados en función del kilometraje, siendo el porcentaje de aumento del 14% en CO y el 19% en HC, a continuación se presenta las tablas de duración de un catalizador en desgaste normal y desgaste prematuro.



Kilometraje	Aumento de CO PPM Desgaste Normal	Aumento de HC PPM Degaste Normal	Aumento de CO PPM Desgaste Prematuro	Aumento de HC PPM Desgaste Prematuro
10000 km	$(31-(31*14\%))= 27$	$(6-(6*19\%))= 5$	$(238-(238*14\%))= 204$	$(44-(44*19\%))= 36$
20000 km	$(36-(36*14\%))= 31$	$(8-(8*19\%))= 6$	$(277-(277*14\%))= 238$	$(55-(55*19\%))= 44$
30000 km	36 ppm	8 ppm	277 ppm	55 ppm
40000 km	$(36+(36*14\%))= 41$	$(8+(8*19\%))= 10$	$(277+(277*14\%))= 315$	$(55+(55*19\%))= 65$
50000 km	$(41+(41*14\%))= 47$	$(10+(10*19\%))= 12$	$(315+(315*14\%))= 359$	$(65+(65*19\%))= 76$
60000 km	$(47+(47*14\%))= 54$	$(12+(12*19\%))= 14$	$(359+(359*14\%))= 409$	$(76+(76*19\%))= 86$
70000 km	$(54+(54*14\%))= 62$	$(14+(14*19\%))= 17$	$(409+(409*14\%))= 466$	$(86+(86*19\%))= 102$
80000 km	$(62+(62*14\%))= 71$	$(17+(17*19\%))= 21$	$(466+(466*14\%))= 505$	$(102+(102*19\%))= 121$
90000 km	$(71+(71*14\%))= 81$	$(21+(21*19\%))= 25$	$(505+(505*14\%))= 565$	$(121+(121*19\%))= 144$
100000 km	$(81+(81*14\%))= 92$	$(25+(25*19\%))= 30$	$(565+(565*14\%))= 595$	$(144+(144*19\%))= 172$
110000 km	$(92+(92*14\%))= 104$	$(30+(30*19\%))= 36$	$(595+(595*14\%))= 650$	$(172+(172*19\%))= 205$
120000 km	$(104+(104*14\%))= 118$	$(36+(36*19\%))= 44$	$(650+(650*14\%))= 735$	$(205+(205*19\%))= 234$
130000 km	$(118+(118*14\%))= 135$	$(44+(44*19\%))= 53$	$(735+(735*14\%))= 825$	$(234+(234*19\%))= 279$
140000 km	$(135+(135*14\%))= 154$	$(53+(53*19\%))= 64$	$(825+(825*14\%))= 940$	$(279+(279*19\%))= 332$
150000 km	$(154+(154*14\%))= 175$	$(64+(64*19\%))= 77$	$(940+(940*14\%))= 1050$	$(332+(332*19\%))= 395$
160000 km	$(175+(175*14\%))= 200$	$(77+(77*19\%))= 93$	$(1050+(1050*14\%))= 1180$	$(395+(395*19\%))= 470$
170000 km	$(200+(200*14\%))= 228$	$(93+(93*19\%))= 112$	$(1180+(1180*14\%))= 1300$	$(470+(470*19\%))= 560$
180000 km	$(228+(228*14\%))= 260$	$(112+(112*19\%))= 135$	$(1300+(1300*14\%))= 1450$	$(560+(560*19\%))= 666$
190000 km	$(260+(260*14\%))= 296$	$(135+(135*19\%))= 162$	$(1450+(1450*14\%))= 1650$	$(666+(666*19\%))= 792$
200000 km	$(296+(296*14\%))= 337$	$(162+(162*19\%))= 192$	$(1650+(1650*14\%))= 1881$	$(792+(792*19\%))= 912$

Tabla 3.2 Duración del catalizador con desgaste normal
Fuente: Autores

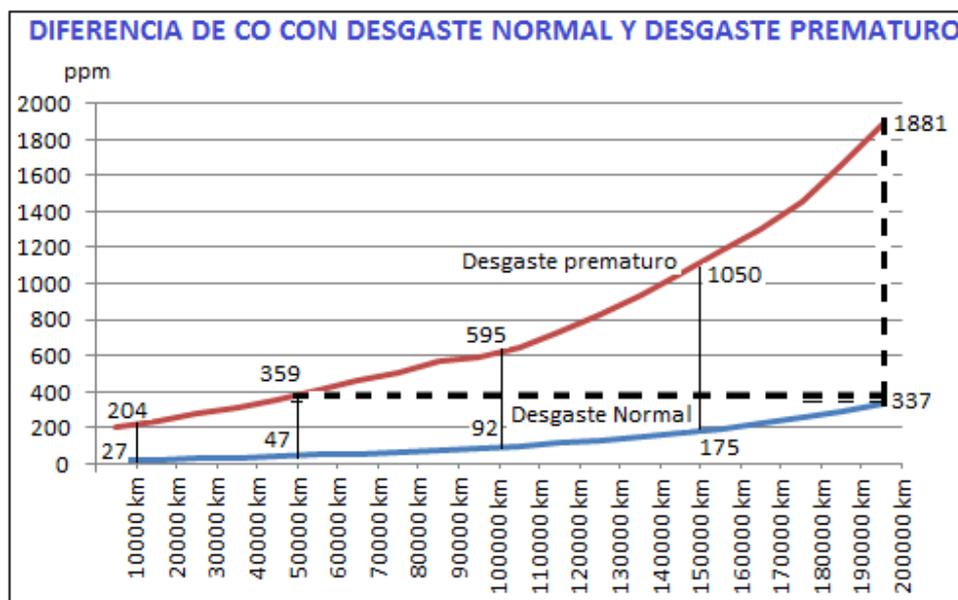


Figura 3.1 Variación de CO con desgaste normal y desgaste prematuro.
Fuente: Autores



En la gráfica 3.1 podemos notar claramente la diferencia de durabilidad del catalizador oxidante en la ciudad de Cuenca pues según los datos obtenidos el máximo kilometraje que el catalizador puede alcanzar con un correcto funcionamiento oscila entre los 50000 Km y 60000Km donde los valores contaminantes de este gas están dentro de los límites permitidos por la norma RTE INEN 002:96 para vehículos livianos a diesel provistos de catalizador a partir del año 2000 en adelante. Se debe entender que a partir de los 60000 km por lo general se produce el taponamiento del catalizador pero si por algún motivo esto no sucediera de igual forma este catalizador ya no es útil debido a que al realizar el análisis de gases contaminantes estos valores están fuera de rango y según las ordenanzas deben ser sustituidos para que este vehículo no sea una fuente potencial de contaminación, a los 100000 km los valores de CO crecen alarmantemente lo que nos permite concluir que de seguro ya para estos valores ya existe un taponamiento parcial de mínimo del 50% del catalizador, lo que empeora las cosas ya que ahora el motor no trabaja normalmente debido a que no puede expulsar con efectividad los gases de escape.

Si analizamos los valores de gases contaminantes con un desgaste normal el convertidor oxidante llega a 200 ppm a los 160000 km dentro de los valores de las normas INEN, por lo tanto en lo que se refiere al deterioro del catalizador en la ciudad de Cuenca podemos concluir que el catalizador está durando el 60% menos de lo que debería durar en lo referente a CO.

A los 10000 km existe una diferencia de 177 ppm, a los 50000 km una diferencia de 312 ppm, a los 100000 km la diferencia es de 503 ppm, a los 150000 km la diferencia es de 875 ppm y a los 200000 km la diferencia es de 1544 ppm, esto nos permite entender del gran impacto que producen los factores puntuales en el desempeño del catalizador oxidante.

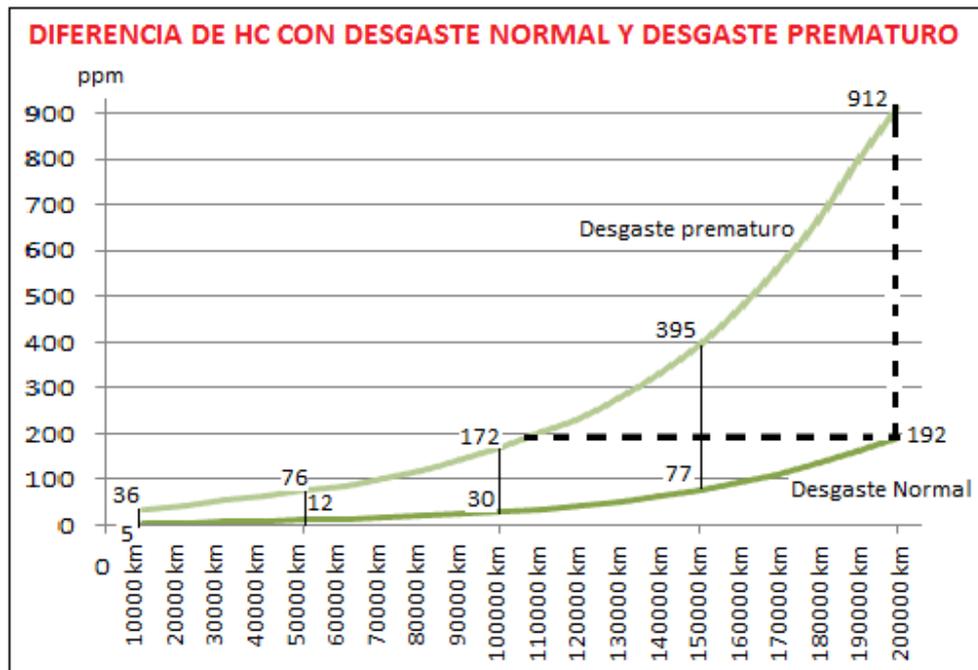


Figura 3.2 Variación de HC con desgaste normal y desgaste prematuro.
Fuente: Autores

En lo que se refiere a los HC el análisis es parecido con la diferencia que como los HC producidos por un motor Diesel son menores que el CO producido por el mismo motor esto permite que se alargue la vida útil en lo que se refiere a los HC llegando hasta los 100000 km dentro de la norma INEN. Pero como el catalizador no trabaja independiente para cada gas el deterioro se debe analizar en forma global.

Como conclusión general podemos decir que el convertidor catalítico trabajando en condiciones normales llega a los 160000km con un índice de emisiones contaminantes aceptables, estos resultados nos permiten afirmar que los factores puntuales que se analizaran a continuación son la causa para el deterioro prematuro (taponamiento) del convertidor del Hyundai Santa Fe.

A los 10000 km existe una diferencia de 31 ppm, a los 50000 km una diferencia de 64 ppm, a los 100000 km la diferencia es de 142 ppm, a los 150000 km la diferencia es de 318 ppm y a los 200000 km la diferencia es de 720 ppm, estos valores comparados con los anteriores son un 50% menores pero de igual forma producen un efecto negativo en el interior del catalizador.



3.2 ANÁLISIS DEL TIPO DE CATALIZADOR DEL HYUNDAI SANTA FE Y EFICIENCIA DEL MISMO.

Con la máquina cleanAIR de la Corpaire se realizó dos mediciones una con catalizador y otra sin catalizador para poder determinar si es un catalizador de dos vías oxidante ya que si variaba los NO_x, sería un catalizador de tres vías, con los datos de esta medición también podremos determinar la eficiencia del catalizador oxidante del Hyundai Santa Fe 2.2CC CRDI.

A continuación tenemos los datos de la primera medida con catalizador a 800 rpm y luego a 2500 rpm, se exponen solo el valor más alto y el más bajo debido a la amplitud de la tabla.

Ralentí	NOx[ppm]	HC[ppm]	CO[%]
V. mínimo	458	20	0.058
V. máximo	461	20	0.062
2500 rpm	NOx[ppm]	HC[ppm]	CO[%]
V. mínimo	330	16	0.11
V. máximo	344	24	0.16

Tabla 3.3 Valores de los gases contaminantes Hyundai Santa Fe con Catalizador
Fuente: Autores

De la misma forma se muestra los datos de la segunda medida sin catalizador a 800 rpm y a 2500 rpm aproximadamente.

Ralentí	NOx[ppm]	HC[ppm]	CO[%]
V. mínimo	379	189	0.19
V. máximo	330	226	0.26
2500 rpm	NOx[ppm]	HC[ppm]	CO[%]
V. mínimo	289	115	0.33
V. máximo	322	124	0.40

Tabla 3.4 Valores de los gases contaminantes Hyundai Santa Fe sin Catalizador
Fuente: Autores



A continuación presentamos las gráficas de la variación de los gases contaminantes con y sin catalizador para poder analizar de mejor manera:

3.2.1 Determinación del tipo de catalizador del Hyundai Santa Fe en función de la variación de los óxidos de nitrógeno.

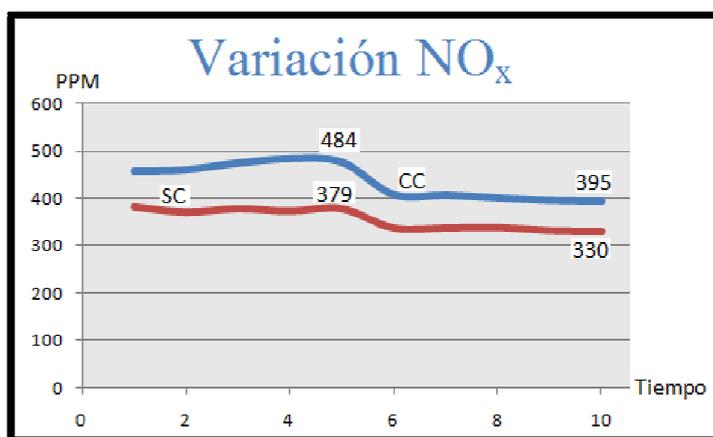


Figura 3.3 Variación de los Valores de NO_x
Fuente: Autores

En la figura 3.3 podemos ver que la variación de los gases NO_x es mínima con un 16% de diferencia, en comparación del 83% que varían los HC y el 80% que varía el CO, por lo tanto podemos concluir que el catalizador del Hyundai Santa Fe es un catalizador oxidante.

3.2.2 Determinación de la eficiencia del catalizador del Hyundai Santa Fe en función de la variación de los Hidrocarburos y Monóxido de carbono.

Siguiendo con el análisis graficaremos la diferencia de contaminación de CO y HC con y sin catalizador para así poder determinar la eficiencia de este catalizador, en ralentí y altas revoluciones del motor.



3.2.2.1 Variación de HC en ralentí

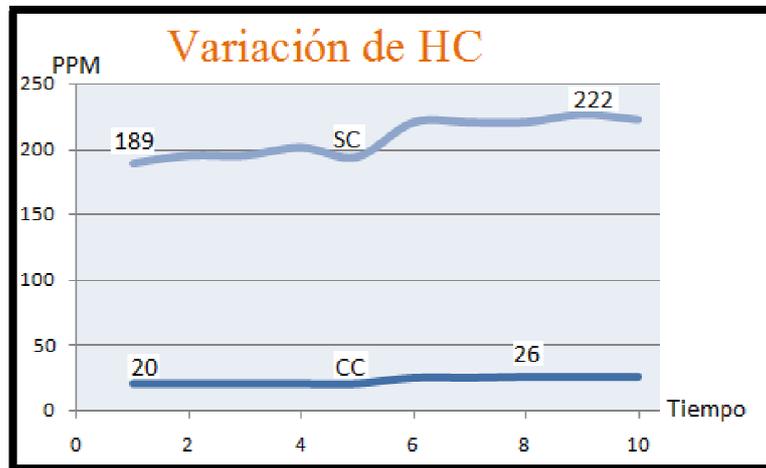


Figura 3.4 Variación de los Valores de HC a 800 rpm
Fuente: Autores

Como podemos ver en la gráfica 3.4 el aumento de HC emanados al ambiente por el Hyundai Santa Fe sin catalizador es muy superior a los emanados por el mismo vehículo pero con catalizador, lo que nos da una eficiencia en reducción de HC del 87.38% en bajas revoluciones.

222ppm de HC → 100% de contaminación
28 ppm de HC → X
X=12.61% de contaminación

Por lo tanto la diferencia de contaminación es (100% - 12.61%) lo que nos da 87.38% que podemos interpretar como la eficiencia del catalizador.



3.2.2.2 Variación de HC en altas rpm.

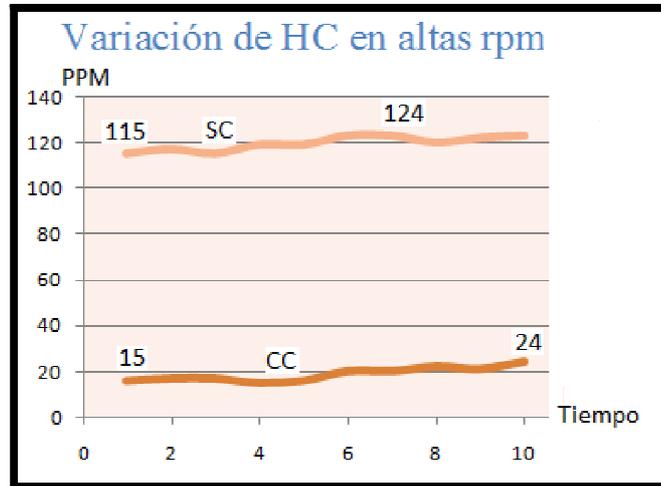


Figura 3.5 Variación de los Valores de HC en altas rpm
Fuente: Autores

En la gráfica 3.5 se refleja el aumento de HC en altas rpm emitidos por el Hyundai Santa Fe sin catalizador, los valores son más elevados que los emanados por el mismo vehículo pero con catalizador, lo que nos da una eficiencia en reducción de HC del 80% en altas revoluciones, con una disminución del 10% de eficiencia en relación a ralentí que era del 90% aproximadamente.

124 ppm de HC → 100% de contaminación
24 ppm de HC → X
X=19.70% de contaminación

Por lo tanto la diferencia de contaminación es (100% - 19.70%) lo que nos da 80.30% que podemos interpretar como la eficiencia del catalizador en altas revoluciones.



3.2.2.3 Variación de CO en ralentí

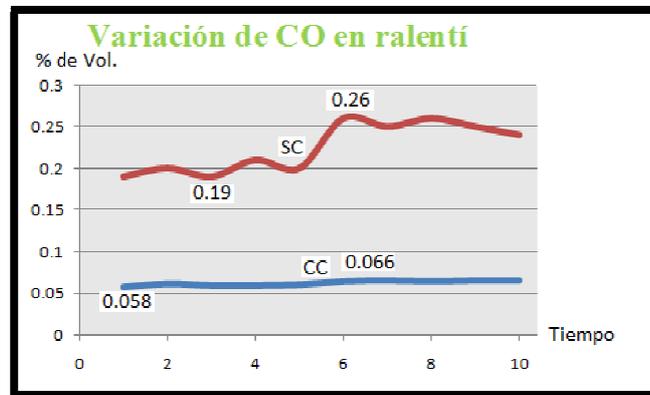


Figura 3.6 Variación de los Valores de CO a 800 rpm
Fuente: Autores

Como se puede notar en la figura 3.10 el aumento de CO emitidos al ambiente por el Hyundai Santa Fe sin catalizador es mayor a los emitidos por el mismo vehículo pero con catalizador, lo que nos da una eficiencia en reducción de CO del 75% a 800 rpm.

0.26 % de Vol. → 100% de contaminación
0.066 % de Vol. → X
X=25.38% de contaminación

Por lo tanto la diferencia de contaminación es (100% - 25.38%) lo que nos da 74.61% que podemos interpretar como la eficiencia del catalizador para el CO a 800 rpm.



3.2.2.4 Variación de CO en altas rpm.

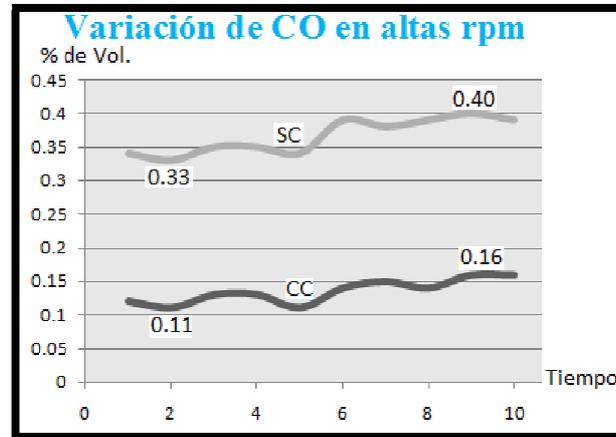


Figura 3.7 Variación de los Valores de CO en altas rpm

Fuente: Autores

En la gráfica 3.7 se refleja el aumento de CO en altas rpm emitidos por el Hyundai Santa Fe sin catalizador, los valores son más altos que los emanados por el mismo vehículo pero con catalizador, estos resultados nos da una eficiencia 60% en disminución de CO en altas revoluciones, con una disminución del 15% de eficiencia en relación a ralentí que era del 75% aproximadamente.

0.40 % de Vol. → 100% de contaminación
0.16 % de Vol. → X
X=40% de contaminación

Por lo tanto la diferencia de contaminación es (100% - 40%) lo que nos da 60% de eficiencia del catalizador para el CO en altas revoluciones.



A continuación presentamos la tabla de eficiencia del catalizador de oxidación del Hyundai Santa Fe.

EFICIENCIA DEL CATALIZADOR OXIDANTE HYUNDAI SANTA FE			
	En Ralentí (800 rpm)	En Altas (2500 rpm)	Promedio eficiencia en altas y bajas rpm
HC	90%	80%	$(90\%+80\%) = 85\%$
CO	75%	60%	$(75\%+60\%) = 67.5\%$
EFICIENCIA TOTAL			$(85\%+67.5\%)=76.25\%$ EFICIENCIA 75%

Tabla 3.5 Eficiencia del catalizador oxidante Hyundai Santa Fe
Fuente: Autores

Como conclusión podemos decir que la eficiencia del catalizador oxidante del Hyundai Santa Fe es del 75% y está dentro de los rangos de trabajo para un catalizador de vehículos a diesel. Ya determinada la eficiencia y el tipo de catalizador procederemos a determinar cuáles son las causas que hacen que la eficiencia de un catalizador oxidante disminuya y se deteriore prematuramente.

3.3 DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES PUNTUALES QUE PRODUCEN EL DETERIORO PREMATURO DEL CATALIZADOR DEL HYUNDAI SANTA FE.

Para el desarrollo de este punto basaremos el análisis del deterioro prematuro de los catalizadores en función de la pérdida de sectores activos y envenenamiento del catalizador en función del incremento de emisión de gases contaminantes causado por un factor específico.

El análisis lo basamos teniendo en cuenta de que si el motor del Hyundai Santa Fe en condiciones óptimas tiene un bajo nivel de emisión de gases contaminantes el convertidor catalítico tendrá una vida más larga que cuando el mismo este sometido a un mayor número de gases contaminantes provenientes del motor.

Como se anotó en el primer capítulo un mayor índice de gases contaminantes provenientes del motor permite que el catalizador trabaje al máximo provocando pérdida de sectores



activos y saturamiento del mismo como se indica a continuación la base en que se fundamenta nuestro análisis:

La estabilidad de un catalizador es la variable final a optimizar en su aplicación está relacionada directamente con la vida útil del catalizador. La vida de operación de un catalizador debe ser evaluada en función de la cantidad de productos formados, de manera que en el mínimo de tiempo debe permitir amortizar el costo del catalizador y la operación del proceso. Si bien en las condiciones de uso de los catalizadores en la actualidad casi todos éstos sobrepasan largamente este mínimo de vida útil, se requiere de una serie de prevenciones para evitar que el catalizador se desactive prematuramente.

La vida útil de un catalizador según el fabricante es de 200000 km.

El fenómeno de la desactivación está íntimamente ligado a la estabilidad del catalizador.

Las principales causas de desactivación son:

- 1) Pérdida de la fase activa por desgaste del catalizador, debido a que este está sometido a trabajo duro. Cuando algunos catalizadores se desactivan pueden ser regenerados para recuperar sus propiedades (totalmente o en parte).
- 2) Envenenamiento de la superficie catalítica por una molécula que se adsorbe fuertemente.
- 3) Coquificación (formación de carbón) de la superficie por algunos hidrocarburos cíclicos como son la gasolina de ciclo octano y nonano y el gasoil de la familia hexadecano.
- 4) Reconstrucción térmica de la superficie con disminución del área activa (sinterización).⁴⁰

Como podemos ver la principal causa de desactivación se da debido a un flujo variable de la cantidad de gases contaminantes que se emiten hacia el catalizador, cuando un vehículo está bien afinado y trabaja con las condiciones ideales la formación de gases contaminantes es baja, mientras que si hay un desperfecto en su funcionamiento o en las condiciones ideales de funcionamiento se da un incremento de emisiones contaminantes y al estar sometido a estas condiciones durante un prolongado tiempo dará como resultado el deterioro prematuro del catalizador debido a un desperfecto de funcionamiento del motor y no del catalizador.

⁴⁰ Causas de desactivación de un catalizador http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/059/htm/sec_5.htm



De igual forma para las causas de desactivación 2 y 3 está ligado directamente la cantidad de gases nocivos que entran al catalizador, ya que mientras más alto sea este índice hay mayor probabilidad de que se dé el envenenamiento y la coqueificación, en los vehículos a gasolina era el plomo lo que causaba antiguamente el envenenamiento de los catalizadores ya que las gasolinas tenían como mejorador el tetra etilo de plomo, hoy en día esto se ha eliminado, al igual que en los vehículos a diesel la formación de ácido sulfúrico debido al contenido de azufre que posee el gasoil y que al reaccionar con el vapor de agua a altas temperaturas y presión genera este ácido que es perjudicial para el funcionamiento efectivo del catalizador, de igual forma actualmente en Cuenca desde el 01 de octubre del 2009⁴¹ se vende diesel Premium con bajo contenido de azufre, pero pensamos que esta es una de las principales causas de deterioro prematuro del catalizador diesel en años anteriores, por esto que la primera prueba que se realizara está en función de este parámetro realizaremos medidas de emisiones contaminantes con el diesel dos distribuido en Guayaquil y en el resto del país con excepción de Quito y Cuenca y compararemos con los valores medidos al usar diesel Premium.

La cuarta causa principal de desactivación del catalizador (sinterización) no la tomaremos para el análisis ya que esto solo se da cuando existe un exceso de temperatura en los gases de escape y esto por lo general no sucede en los vehículos, este problema se presenta cuando hay una falla mecánica que permite que llegue diesel sin combustionar hasta el catalizador y se encienda en su interior.

3.3.1 Análisis de la influencia del tipo de Diesel utilizado en el Hyundai Santa Fe.

La primera prueba la realizamos con el Diesel Premium, con los equipos del CEA, como la prueba dura diez minutos la medición se realizó de la siguiente manera, cinco minutos en ralentí y seguidamente cinco minutos a 2500 rpm. En total tenemos un total de sesenta datos que nos proporciona la máquina, para facilitar el estudio sacaremos un promedio en altas y bajas revoluciones y compararemos con las mediciones obtenidas al realizar la prueba con diesel 1 comprado en Guayaquil.

Para la segunda prueba vaciamos el tanque de combustible y lo llenamos con diesel 1 se recorre unos 10 minutos con este combustible y se realiza la prueba

⁴¹Expendio de diesel Premium en Cuenca <http://www.elmercurio.com.ec/hemeroteca-virtual?noticia=83002>



3.3.1.1 Datos y Análisis de la prueba uno en función del SO₂.

	Ralentí	Ralentí	2500 rpm	2500 rpm
	D. Premium ppm	Diesel 1 ppm	D. Premium ppm	Diesel 1 ppm
V. mínimo	51	60	46	58
V. máximo	60	79	51	70

Tabla 3.6 Valores de SO₂ en función del tipo de Diesel.
Fuente: Autores

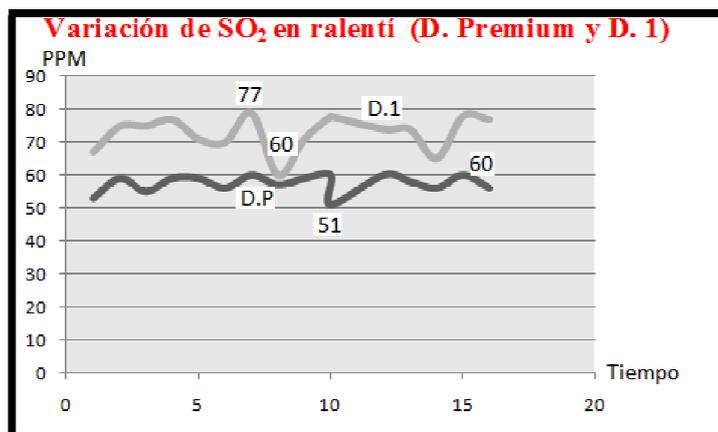


Figura 3.8 Variación de SO₂ en ralentí
Fuente: Autores

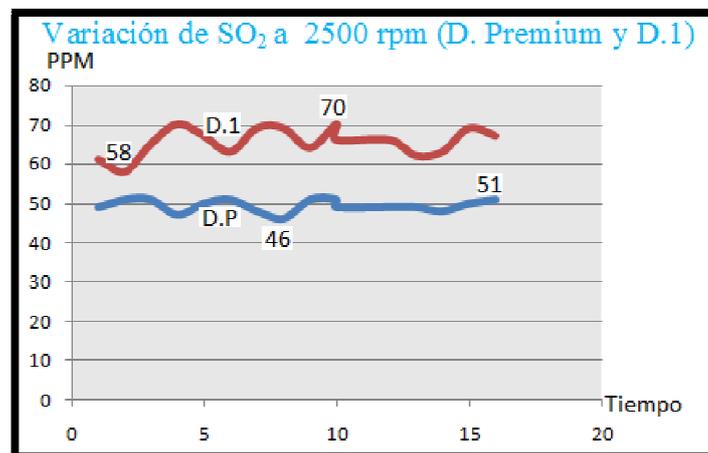


Figura 3.9 Variación de SO₂ a 2500 rpm
Fuente: Autores



RALENTI.	2500 RPM.
79 PPM. → 100% de contaminación	70 PPM. → 100% de contaminación
60 PPM. → X	52 PPM. → X
X=76%	X=74.2%
100% - 76% = 24% de Aumento de SO ₂	100% - 74% = 26% de Aumento de SO ₂

Como podemos ver en las graficas 3.8 y 3.9 el aumento de Dióxido de azufre con Diesel 1 en relación al diesel Premium es de un 24% en ralentí y un 26% a 2500 rpm, lo que nos da un promedio de aumento del 25%, este resultado nos permite analizar que hay un 25% más de probabilidades de que se forme ácido sulfúrico y ataque al catalizador produciendo su envenenamiento ya que es un ácido muy fuerte en presencia de calor.

POR QUE ES PELIGROSO QUE SE FORME SO₂ PARA EL CATALIZADOR

Como ya lo explicamosal formarse los dióxidos de azufre como resultado de la oxidación del diesel, este en presencia del vapor de agua y calor da lugar al ácido sulfúrico o quedan como estaban aumentando la posibilidad que el catalizador diesel oxide el SO₂, aumentando los sulfatos que son perjudiciales⁴².

3.3.2 Análisis de la influencia que tiene la Temperatura de funcionamiento del motor sobre la emisión de gases contaminantes.

Para determinar la influencia que tiene la temperatura sobre la emisión de gases contaminantes realizaremos las siguientes pruebas:

La prueba uno consiste en que el vehículo 100% frio al encender en la mañana se deja calentar durante 15 minutos, tiempo en el cual ha alcanzado su máxima temperatura el vehículo se encuentra con el termostato y se realiza la prueba durante 10 minutos cinco minutos en ralentí y cinco minutos a 2500 rpm.

⁴² Peligro de que se forme SO₂ <http://www.xuletas.es/ficha/gestion-electronica-diesel/>



Figura 3.10 Influencia de la temperatura del motor
Fuente: Autores

La prueba dos la realizamos al siguiente día luego de 15 minutos de encendido pero esta vez el vehículo sin termostato y realizamos la prueba durante 10 minutos, fácilmente podemos ver en el tablero que el vehículo no ha adquirido su temperatura ideal a pesar de estar estacionado.

3.3.2.1 Datos y Análisis de la variación de CO en función de la Temperatura.

	Ralentí	Ralentí	2500 rpm	2500 rpm
	Con termostato	Sin termostato	Con termostato	Sin termostato
V. mínimo	282	318	612	718
V. máximo	324	334	634	750

Tabla 3.7 Valores de CO en función de la Temperatura del motor.
Fuente: Autores



Figura 3.11 Variación de CO en ralentí en función de la Temp.
Fuente: Autores

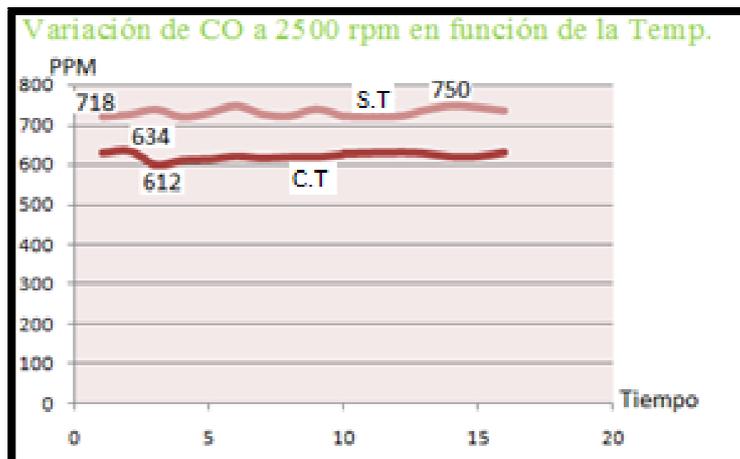


Figura 3.12 Variación de CO a 2500 rpm en función de la Temp.
Fuente: Autores



RALENTI.	2500 RPM.
334 PPM. → 100% de contaminación	750 PPM. → 100% de contaminación
324 PPM. → X	634 PPM. → X
X=97%	X=84.5%
100% -97% = 3% de Aumento de CO	100% - 84% = 15.5% de Aumento de CO

En la gráfica 3.12 podemos ver que el aumento de CO es mínimo en bajas revoluciones apenas con un incremento del 3% este punto queda descartado que sea un factor que produce el deterioro prematuro del convertidor catalítico.

Mientras que en la figura 3.13 tenemos que el aumento de CO es considerable con un 16% lo que da como resultado que el catalizador trabaje más cuando el vehículo no alcanza su temperatura y rueda constantemente pues estos datos podrían empeorar si tomamos en cuenta que cuando el vehículo rueda a una velocidad normal el flujo de aire que golpea el frente disminuye la temperatura de funcionamiento del motor.

Como vemos que este punto es importante realizaremos el mismo análisis en función de los NO_x y SO₂ para ver si estos aumentan significativamente.

3.3.2.2 Datos y Análisis de la variación de NO_x en función de la Temperatura.

	Ralentí	Ralentí	2500 rpm	2500 rpm
	Con termostato	Sin termostato	Con termostato	Sin termostato
V. mínimo	236	204	129	100
V. máximo	305	298	151	144

Tabla 3.8 Datos de la variación de NO_x en función de la Temperatura.

Fuente: Autores

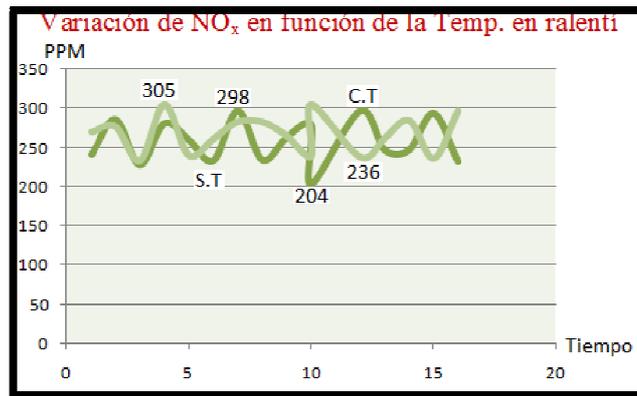


Figura 3.13 Variación de NO_x en función de la Temp. En ralentí
Fuente: Autores

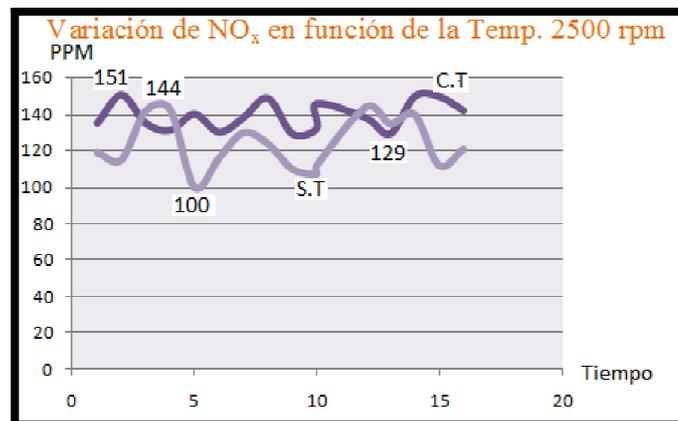


Figura 3.14 Variación de NO_x en función de la Temp. 2500 rpm
Fuente: Autores

RALENTI.	2500 RPM.
305 PPM. → 100% de contaminación	151 PPM. → 100% de contaminación
298 PPM. → X	143 PPM. → X
X=97.7%	X=95.4%
100% - 97.7% = 2.3% de disminución de NO _x	100% - 95.4% = 4.6% de disminución de NO _x

Fácilmente podemos darnos cuenta que si el vehículo no alcanza la temperatura ideal de funcionamiento los óxidos de nitrógeno no son un inconveniente para el catalizador ya que mientras el carro esta sin termostato los NO_x bajan un 2% en ralentí y un 4.6% en altas, en



promedio 3.3% de disminución de gases sin termostato lo que es excelente para el catalizador por lo tanto este tampoco es un factor que influya en el deterioro del catalizador.

En conclusión sobre este punto la temperatura si afecta al deterioro prematuro del catalizador en un mínimo del 16% en lo que se refiera a la etapa oxidante del monóxido de carbono, estos índices de contaminación no solo se dan cuando el vehículo no tiene termostato, sino cuando a pesar que este tenga no se permite que el vehículo caliente por lo menos 15 minutos hasta alcanzar su temperatura ideal, por lo tanto el manejo agresivo que consiste en movilizarse de un lugar a otro que este a menos de 10 minutos de distancia permitirá que el vehículo siempre trabaje frío y emita mayor cantidad de monóxido de carbono, dañando así al catalizador que está sometido a trabajo duro debido a que si el catalizador no alcanza su temperatura ideal su funcionamiento será deficiente.

3.3.3 Análisis de la influencia que tiene la degradación del aceite para la emisión de gases contaminantes.

La degradación térmica e hidrolítica del aceite da paso a la desactivación química del catalizador.

Las impurezas que proceden de aditivos del aceite lubricantes como (por ejemplo, P, Zn y Ca), suelen formar compuestos que son adsorbidos o reaccionan de modo irreversible con los componentes de superficie activa del catalizador provocando su desactivación.

Se ha observado que compuestos de zinc, aparecen en la corriente gaseosa después de la degradación térmica e hidrolítica del aceite y se depositan en la superficie del catalizador en forma de $Zn_3(PO_4)_2$ Fosfatos de Zinc, $CaZn_2(PO_4)_2$, $MgZn_2(PO_4)_2$ y $Zn_2P_2O_7$, forman una película densa que causa la obstrucción de los poros y no permite el contacto entre el catalizador y el gas. Otros compuestos que desactivan el catalizador y que se forman cuando el SO_2 está presente en los gases de escape son sulfatos metálicos y sulfuros como, por ejemplo, $Ce(SO_4)_2$, $Ce_2(SO_4)_3$, $Al_2(SO_4)_3$ o Ce_2O_2S .⁴³

⁴³ La degradación térmica e hidrolítica del aceite. <http://www.scribd.com/doc/39555978/Reciclado-de-Catalizadores-de-Automoviles>



Como vemos este punto es muy importante por lo tanto realizaremos dos pruebas de análisis de gases una con el aceite en 5000km y luego cambiamos el aceite andamos unos tres km y volvemos a realizar un análisis de gases.

3.3.3.1 Datos y Análisis de la variación de CO en función de la degradación del aceite.

	Ralentí A. 5000 Km ppm	Ralentí A. 3 km ppm	2500 rpm A. 5000 Km ppm	2500 rpm A. 3 km ppm
V. mínimo	328	228	400	285
V. máximo	349	249	435	306

Tabla 3.9 Valores de CO en función de la degradación del aceite.

Fuente: Autores

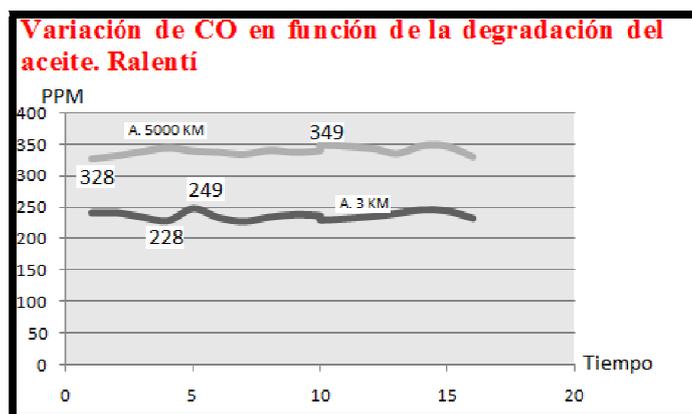


Figura 3.15 Variación de CO en función de la degradación del aceite. Ralentí

Fuente: Autores

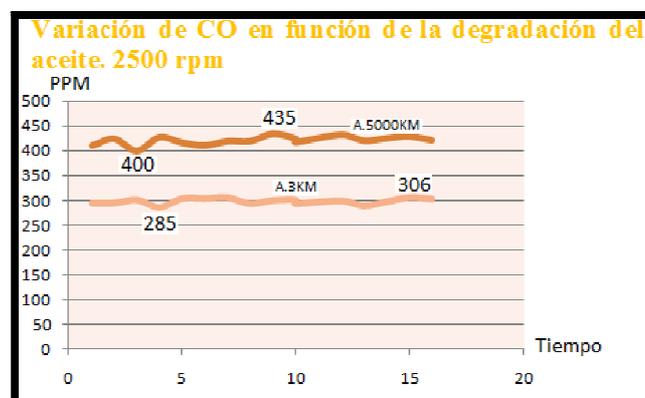


Figura 3.16 Variación de CO en función de la degradación del aceite. 2500 rpm

Fuente: Autores.



RALENTI. 349 PPM. → 100% de contaminación 249 PPM. → X X=71.5% 100% - 71.5% =28.5% de Aumento de CO	2500 RPM. 435 PPM. → 100% de contaminación 306 PPM. → X X=70.4% 100% - 70.4% = 29.6% de aumento de CO
---	---

Existe un aumento de CO del 29% tanto para ralenti como a 2500 rpm, estos valores nos indican claramente que la degradación térmica e hidrolítica del aceite si es un factor que aporta al deterioro prematuro del catalizador ya que un aumento así es considerable, realizaremos otro análisis en función del Dióxido de azufre para ver si la degradación térmica e hidrolítica del aceite da como resultado el aumento de este gas que es perjudicial para el catalizador.

3.3.3.2 Datos y Análisis de la variación de SO₂ en función de la degradación del aceite.

	Ralentí A. 5000 Km ppm	Ralentí A. 3 km ppm	2500 rpm A. 5000 Km ppm	2500 rpm A. 3 km ppm
V. mínimo	52	40	45	36
V. máximo	59	45	51	40

Tabla 3.10 Valores de SO₂ en función de la degradación del aceite.
Fuente: Autores

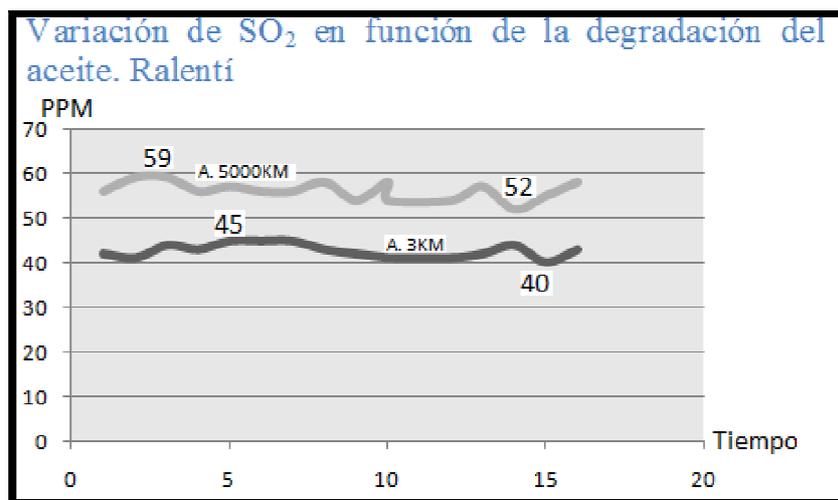


Figura 3.17 Variación de SO₂ en función de la degradación del aceite. Ralentí
Fuente: Autores

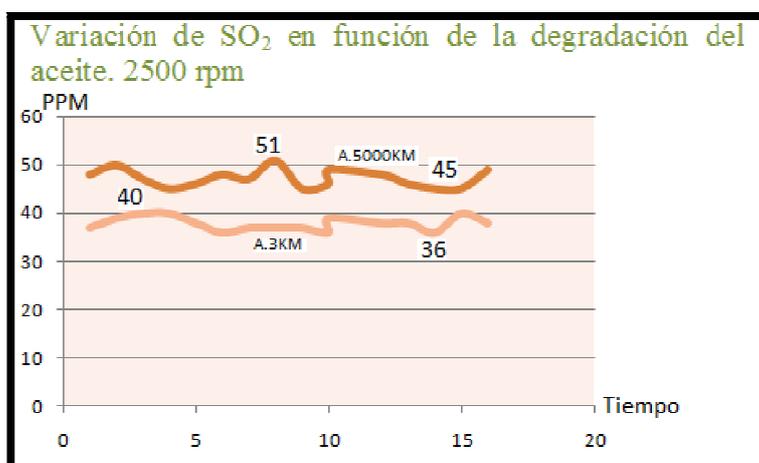


Figura 3.18 Variación de SO₂ en función de la degradación del aceite. 2500 rpm
Fuente: Autores

RALENTI. 59 PPM. → 100% de contaminación 45 PPM. → X X=76.3% 100% - 76.3% =23.7% de Aumento de SO ₂	2500 RPM. 51 PPM. → 100% de contaminación 40 PPM. → X X=78.4% 100% - 78.4% = 21.6% de aumento de SO ₂
--	--

Luego de graficar y tabular los datos obtenemos que el dióxido de azufre aumenta significativamente, en un 22% en promedio lo que es muy perjudicial, como indicamos anteriormente ya que hay más posibilidades que se forme sulfatos que obstruyen al catalizador ya que el dióxido de azufre en el catalizador se oxida y da como resultado sulfatos⁴⁴, en función de estos valores podemos anotar que este es otro factor que influye sobre el deterioro prematuro del catalizador. Por lo tanto se debe tomar en cuenta en realizar un estudio profundo para mejorar este punto ya que se podría cambiar más pronto el aceite o mejorar el aceite utilizado.

El aceite que se utilizó para esta prueba fue Valvodiesel CI.

⁴⁴Dioxido de azufre <http://xuletas.es/ficha/gestión-electronica-diesel/>



3.3.4 Análisis de la influencia de un aditivo mejorador de combustible sobre la emisión de gases contaminantes.

Como sabemos el Hyundai Santa Fe es un motor 2200cc CRDI de alta relación de compresión(17.3:1) por lo tanto necesita un combustible de 50 cetano para n funcionamiento óptimo pero nuestro diesel tiene un índice de cetano de 45 lo que afecta a su funcionamiento en relación a este análisis utilizaremos un aditivo mejorador de cetano para ver si disminuye las emisiones contaminantes y se optimiza el funcionamiento del motor y así poder definir si el bajo nivel de cetano del diesel Premium es un factor latente para el deterioro prematuro del mismo.

El aditivo que se uso fue 3310 Bardahl diesel+, aumenta cetanos para tener mejor combustión

A continuación tenemos la tabla 3.11 donde tenemos una comparación de los combustibles diesel en varios países y obviamente se puede notar la baja calidad del diesel Premium.

TABLA II					
ESPECIFICACIONES RESULTADOS PROMEDIO					
	México	EUA Carb.	Alemania	Japón	Ecuador (Cuenca, Quito)
Azufre, % en peso Max.	0.021	0.02	0.03	0.03	0.05
Índice de Cetano. min.	53	50.2	50.6	53	45
Viscosidad Cinemática a 40 °C	3.0		2.58	3.0	2.5
Densidad		0.83	0.820-0.860		
Aromáticos	22	23			

Tabla 3.11 Donde tenemos una comparación de los combustibles diesel en varios países
Fuente: <http://www.ref.pemex.com/octanaje/24DIESEL.htm#>



3.3.4.1 Datos y Análisis de la variación de CO en función de diesel Premium y diesel Premium+aditivo.

	Ralentí	Ralentí	2500 rpm	2500 rpm
	S. Aditivo	C. Aditivo	S. Aditivo	C. Aditivo
V. mínimo	285	208	437	348
V. máximo	291	217	445	353

Tabla 3.12 Datos de la variación de CO en función de diesel Premium y diesel Premium+aditivo
Fuente: Autores

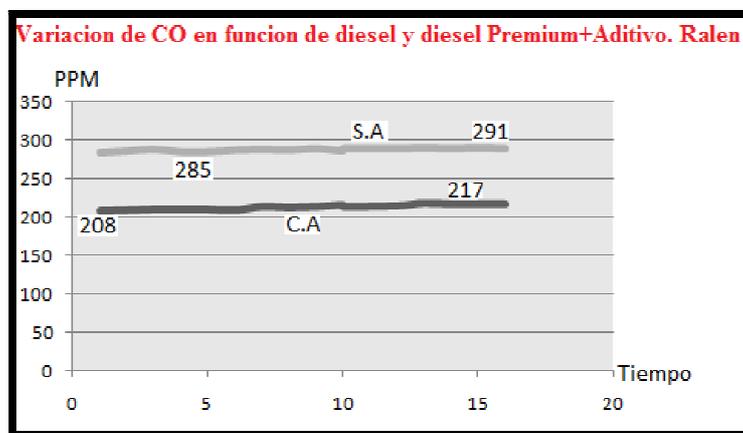


Figura 3.19 Variación de CO en función de diesel Premium y d. Premium+aditivo. Ralentí
Fuente: Autores

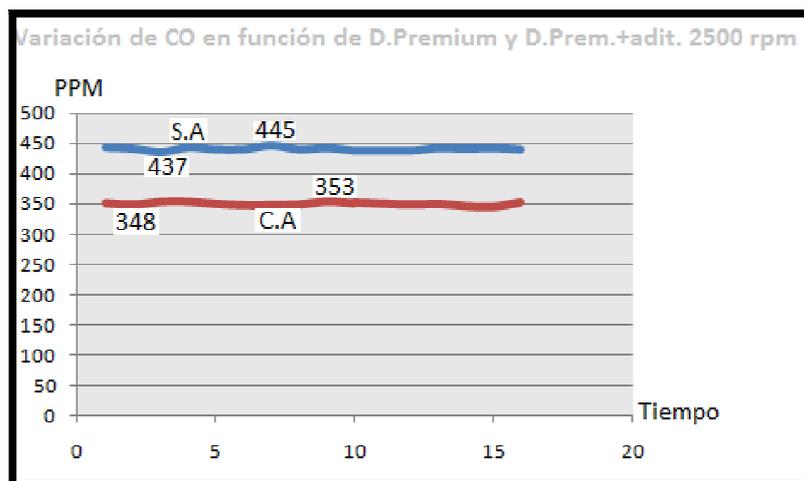


Figura 3.20 Variación de CO en función de diesel Premium y d. Premium+aditivo. 2500 rpm
Fuente: Autores



RALENTI. 291 PPM. → 100% de contaminación 217 PPM. → X X=74.6% 100% - 74.6% =25.4% de Disminución CO	2500 RPM. 445 PPM. → 100% de contaminación 353 PPM. → X X=79.3% 100% - 79.3% = 20.7% de Disminución CO
--	--

El uso de aditivo en el diesel Premium nos da una disminución promedio del 23% en monóxido de carbono lo que quiere decir, que el motor funcionaria mejor si hubiera un combustible de mejor calidad, como para el que está diseñado por lo tanto, la baja calidad del gasoil es un factor determinante para el deterioro del catalizador, para confirmar mejor este punto analizaremos que sucede con el dióxido de azufre con los valores promedios que nos proporciona los resultados del CEA.

3.3.4.2 Datos y Análisis de la variación de SO₂ en función de diesel Premium y diesel Premium+aditivo.

	(% O ₂)	Concentración (ppm CO)	Concentración (ppm NO _x)	Concentración (ppm SO ₂)	Temp. media (°C)	Velocidad Media Gases (m/s)
Promedios	18.26	284.05	213.22	25.53	65.4	5.4
Máximos	20.82	318	225	45	70.4	7

Tabla 3.13 Parámetros determinados en el muestreo de gases de combustión con combustible DIESEL SIN ADITIVO
Fuente:CEA

	(% O ₂)	Concentración (ppm CO)	Concentración (ppm NO _x)	Concentración (ppm SO ₂)	Temp. media (°C)	Velocidad Media Gases (m/s)
Promedios	18.33	216.6	234.38	12.52	61.7	5.8
Máximos	20.45	233	243	20	69.2	6.9

Tabla 3.14 Parámetros determinados en el muestreo de gases de combustión con combustible DIESEL CON ADITIVO
Fuente:CEA

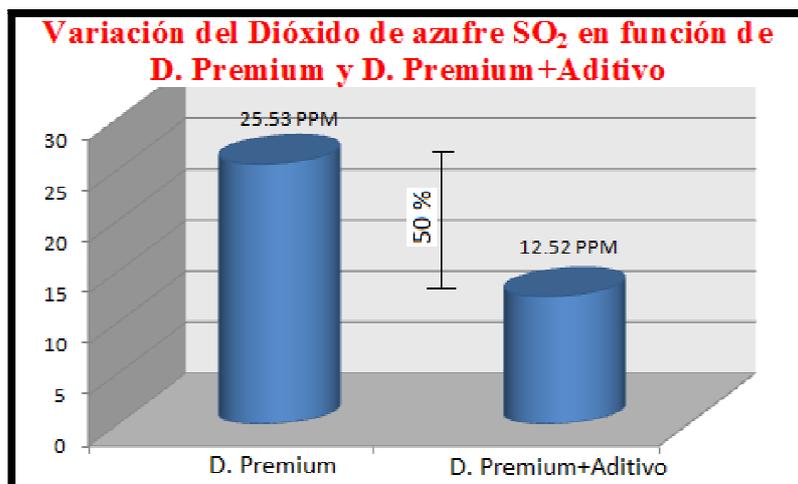


Figura 3.21 Variación del Dióxido de azufre SO₂ en función de D. Premium y D. Premium+Aditivo

Fuente: Autores

25 PPM. → 100% de contaminación
12.5 PPM. → X
X=50%
100% - 50% = 50% de Disminución de SO ₂

En la figura 3.21 el dióxido de azufre disminuye en un 50% sus emisiones al usar un aditivo mejorador de cetano, lo que nos permite entender que el motor tiene una mejor combustión al incrementar el índice de cetano aproximadamente a 50 ya que en teoría este aditivo sube el índice de cetano de 5 a 7 puntos dependiendo de la relación de mezcla con el diesel, lo que es beneficiario ya que se reduce las emisiones, no con esto queremos decir que se debe utilizar aditivos mejoradores de cetano, ya que habría que hacer un estudio para poder determinar los factores secundarios que produce el usar un aditivo, lo que se recomienda es que se utilice un combustible con un mejor índice de cetano y de calidad si tuviéramos aquí, pero como no lo disponemos se seguirá con este problema convirtiéndose este punto en un factor determinante para el deterioro prematuro del catalizador oxidante.



3.3.5 Análisis de la influencia de la altura de la ciudad de Cuenca sobre la emisión de gases contaminantes.

El cambio en la altitud afecta la composición del aire en el caso de motores y cualquier sistema donde participen un combustible y un comburente en nuestro caso el aire del cual solo el oxígeno participa en los fenómenos de combustión, lo cual hace imperativo analizar el efecto de la altitud sobre la composición volumétrica de aire y en especial el cambio en la fracción volumétrica del oxígeno que a condiciones de nivel del mar es de 0,21 siendo la condición donde más cantidad de oxígeno puede tener el aire.

Dado que los motores de combustión interna tienen sistemas de admisión y de inyección de combustible volumétricos, la altitud modifica el ciclo termodinámico de operación, y en consecuencia las prestaciones lo que nos lleva a analizar este punto para determinar en cuanto afecta la calidad de la combustión del motor diesel, y el efecto que este puede tener sobre los convertidores catalíticos.

La altura de la ciudad de Cuenca es de 2560m SNM, la cantidad de oxígeno presente es de 0.201.⁴⁵

3.3.5.1 Datos y Análisis de la variación de CO en función de la calidad del aire.

	Ralentí A. 2560 msnm	Ralentí 0 msnm	2500 rpm A. 2560 msnm	2500 rpm 0 msnm
V. mínimo	285	223	435	316
V. máximo	291	229	445	321

Tabla 3.15 Datos de la variación de CO en función de la Altitud.
Fuente: Autores

La prueba se realizó en Guayaquil y se obtuvieron los datos de la tabla 3.17

⁴⁵Cantidad de oxígeno. http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642006000500005&script=sci_arttext

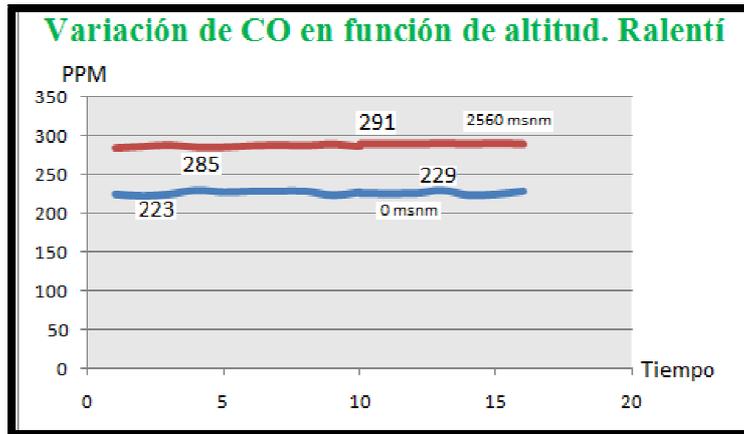


Figura 3.22 Variación de CO en función de altitud. Ralentí Fuente: Autores

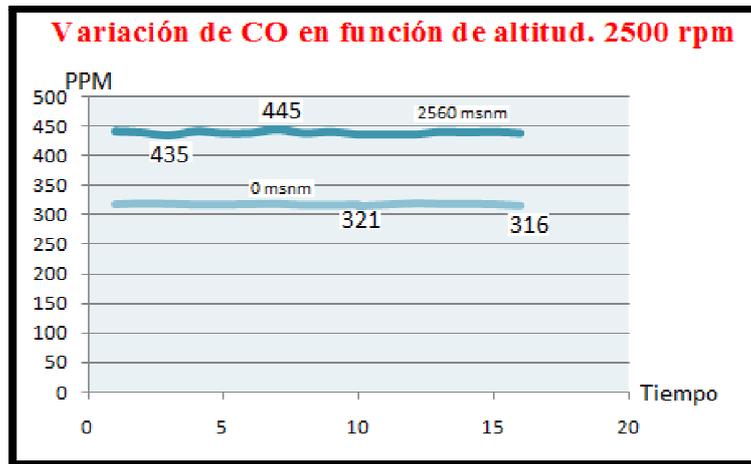


Figura 3.23 Variación de CO en función de altitud. 2500 rpm Fuente: Autores

RALENTI.	2500 RPM.
291 PPM. → 100% de contaminación	445 PPM. → 100% de contaminación
229 PPM. → X	321 PPM. → X
X=78.7%	X=77.1%
100% - 78.7% =21.3% de Disminución CO a nivel del mar	100% - 79.3% = 27.9 % de Disminución CO a nivel del mar

La disminución de CO a nivel del mar es de un 28% a 2500 rpm y de un 21% en ralentí, esto nos indica que la calidad del aire de Cuenca está ocasionando un deterioro continuo del



convertidor, ya que este está sometido a un trabajo más exigido, debido a que tiene mayor ingreso de CO, lo que origina que el proceso de catálisis sea más repetido, esto aumenta las posibilidades de la pérdida de sectores activos por desgaste.

3.3.5.2 Datos y Análisis de la variación de NO_x en función de la calidad del aire.

Analizaremos también la influencia de la altura sobre el dióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno con los valores promedios que nos proporciona los resultados del CEA.

	(%O ₂)	Concentración (ppm CO)	Concentración (ppm NO _x)	Concentración (ppm SO ₂)	Temp. media (°C)	Velocidad Media Gases (m/s)
Promedios	18.26	284.05	213.22	25.53	65.4	5.4
Máximos	20.82	318	225	45	70.4	7

Tabla 3.16 Parámetros determinados en el muestreo de gases de combustión a 2560 msnm
Fuente: CEA

	(%O ₂)	Concentración (ppm CO)	Concentración (ppm NO _x)	Concentración (ppm SO ₂)	Temp. media (°C)	Velocidad Media Gases (m/s)
Promedios	18.33	227	240	18	72.3	6.3
Máximos	20.45	229	248	19	74.9	7.2

Tabla 3.17 Parámetros determinados en el muestreo de gases de combustión a 0 msnm
Fuente: CEA

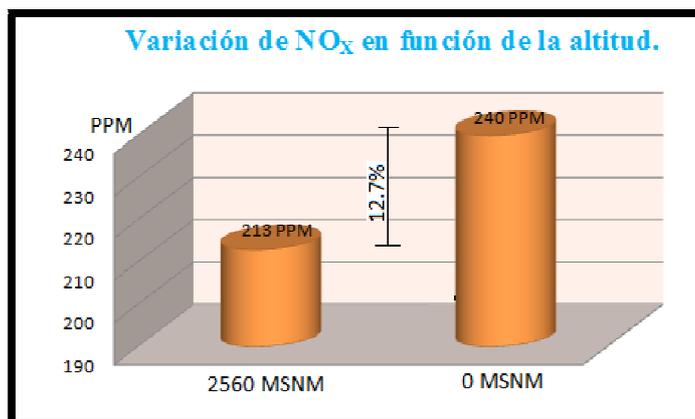


Figura 3.24 Variación de NO_x en función de la altitud.

Fuente: Autores

213 PPM. → 100% de contaminación
 240 PPM. → X
 $X=112.7\%$
 $112.7\% - 100\% = 12.7\%$ de Aumento de NO_x
 a nivel del mar.

Al contrario de lo que paso con el monóxido de carbono que disminuyo a nivel del mar, los óxidos de nitrógeno aumentaron en un 13% a nivel del mar, esto se debe a que según lo que hemos observado en todas las pruebas realizadas el NO_x aumenta proporcionalmente con el aumento de temperatura, como podemos ver en la tabla 3.16 la temperatura media de los gases subió de 65.4 °C que se tenía a 2560 msnm a 72.3 °C a nivel del mar.

3.3.5.3 Datos y Análisis de la variación de SO₂ en función de la calidad del aire.

	(% O ₂)	Concentración (ppm CO)	Concentración (ppm NO _x)	Concentración (ppm SO ₂)	Temp. media (°C)	Velocidad Media Gases (m/s)
Promedios	18.26	284.05	213.22	25.53	65.4	5.4
Máximos	20.82	318	225	45	70.4	7

Tabla 3.18 Parámetros determinados en el muestreo de gases de combustión a 2560 msnm

Fuente: CEA



	(%O ₂)	Concentración (ppm CO)	Concentración (ppm NO _x)	Concentración (ppm SO ₂)	Temp. media (°C)	Velocidad Media Gases (m/s)
Promedios	18.33	227	240	18	72.3	6.3
Máximos	20.45	229	248	19	74.9	7.2

Tabla 3.19 Parámetros determinados en el muestreo de gases de combustión a 0 msnm
Fuente: CEA

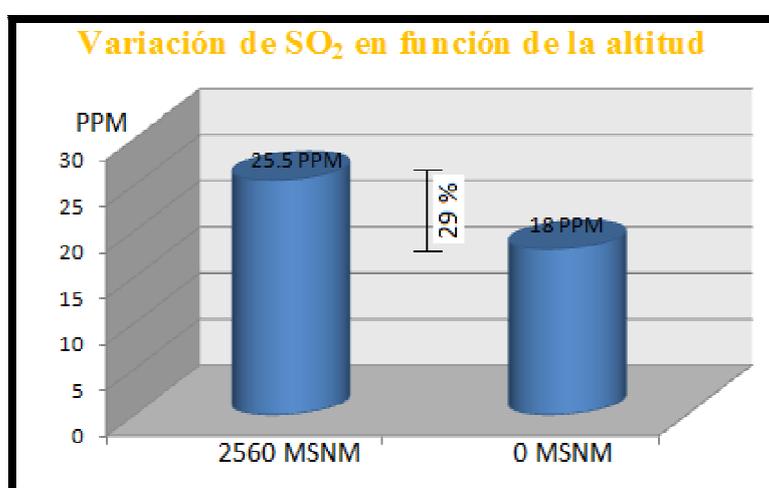


Figura 3.25 Variación de SO₂ en función de la altitud.
Fuente: Autores

25.5 PPM. → 100% de contaminación
 18 PPM. → X
 X=70.6%
 100% - 70.6% = 29.4% de disminución de
 SO₂ a nivel del mar.

En esta última prueba podemos observar que el dióxido de azufre disminuye en un 29% a nivel del mar, lo que nos indica claramente que la altura si es un factor decisivo para el deterioro prematuro del catalizador, pues todo el tiempo el vehículo funciona en estas condiciones desfavorables, lo que acelera en un 30% su desactivación, ya que si tomamos en cuenta el monóxido de carbono también disminuye alarmantemente a nivel del mar, por



lo tanto como conclusión la situación geográfica de la ciudad también perjudica a la vida útil del catalizador oxidante del Hyundai Santa Fe.

3.4 SEGUIMIENTO DEL HYUNDAI SANTA FE PARA DETERMINAR EL DETERIORO EN FUNCIÓN DEL KILOMETRAJE.

3.4.1 Método 1 para la obtención de la variación de datos en 5000Km

Este método lo realizaremos en un Hyundai Santa Fe 2200 cc CRDI, este vehículo tienen un bajo nivel de kilometraje.

Al vehículos antes mencionado se le realizara dos pruebas la primera que es la misma prueba que se realizó para determinar la influencia de la degradación del aceite en los gases contaminantes, esta prueba será nuestro punto de partida y la siguiente prueba la realizaremos 5000 Km después cambiando el aceite y bajo similares circunstancias que la primera prueba, para así determinar la variación de la eficiencia del catalizador en 5000 km, esta prueba nos determinara en porcentaje el deterioro que ha sufrido el catalizador oxidante, un inconveniente que tenemos en esta prueba es que solo tenemos un dato de los dos gases que transforma el catalizador oxidante en este caso el CO, ya que con el medidor del Centro de Estudios Ambientales (CEA) no podemos leer los datos de los HC, por lo tanto se realizara otra prueba de seguimiento en Quito a los 10000Km, estas pruebas se analizan más adelante.

3.4.1.1 Datos y Análisis de la variación de CO en función del kilometraje (5000Km)

Datos del vehículo:

Año: 2008

Marca: Hyundai

Modelo: Santa Fe 2.2 CRDI.

Kilometraje inicial: 31765 Km

Kilometraje final: 36698 Km

Diferencia de kilometraje rodado: 4933 Km

Tipo de combustible: Diesel Premium

Tipo de catalizador: Oxidante



Tiempo	Primera Medición		Segunda Medición	
	Punto de partida (0Km)		Dif. Km (4933Km)	
	31765 Km		36698 Km	
	Ralentí (ppm)	2500 rpm (ppm)	Ralentí (ppm)	2500 rpm (ppm)
1	242	294	264	329
2	242	294	260	329
3	235	301	260	322
4	229	285	262	322
5	249	304	259	325
6	234	304	259	321
7	228	306	261	326
8	235	293	265	324
9	239	300	263	329
10	237	301	260	327

Tabla 3.20 Datos de la variación de CO en función del kilometraje (Hyundai Santa Fe)
Fuente: Autores

Graficas en ralentí:



Figura 3.26 Variación de CO en función del Kilometraje (5000 km) Ralentí.
Fuente: Autores

248 PPM. → 100% de contaminación
 267 PPM. → X
 $X=107.66\%$
 $107.66\% - 100\% = 7.66\%$ de Aumento de CO
 en 5000 Km.



Graficas a 2500 rpm:

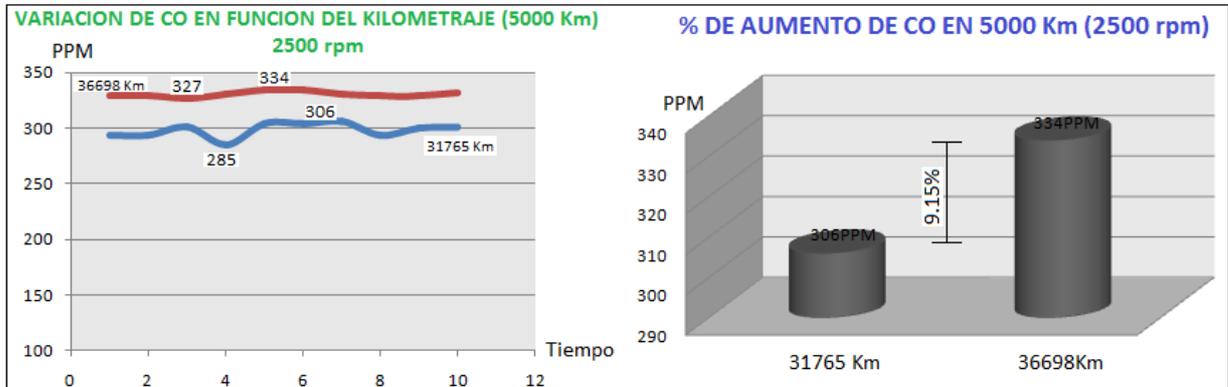


Figura 3.27 Variación de CO en función del Kilometraje (5000 km) 2500 rpm.

Fuente: Autores

306 PPM. → 100% de contaminación
334 PPM. → X
X=109.15%
109.15% - 100% = 9.15% de Aumento de CO en 5000 Km a 2500 rpm.

Luego de comparar los valores de CO obtenidos en las dos pruebas, notamos un incremento de las ppm de CO en un porcentaje de 7,66 en ralentí y un 9.15% a 2500 rpm, lo que nos permite analizar que el deterioro del catalizador oxidante del Hyundai Santa Fe es proporcional al kilometraje recorrido, en promedio tenemos un aumento de emisiones de CO del 8,5% cada 5000 Km, este 8,5% de aumento nos indica que el catalizador perdió la capacidad de transformar un 8,5% de los gases de CO, es decir se ha deteriorado este porcentaje, entonces si este incremento sigue en escala proporcional en 55000 Km mas se alcanzara un 100% de la perdida de eficiencia del catalizador teniendo en total una duración de 90000 Km, que equivale a menos de la mitad de lo que debería durar este convertidor catalítico, para confirmar este análisis se realizara otro seguimiento que se detalla en el siguiente punto.

**3.4.2 Método 2 para la obtención de la variación de datos en 10000Km****Datos del vehículo:****Año:** 2008**Marca:** Hyundai**Modelo:** Santa Fe 2.2 CRDI.**Kilometraje inicial:** 26597 Km**Kilometraje final:** 37095 Km**Diferencia de kilometraje rodado:** 10498 Km**Tipo de combustible:** Diesel Premium**Tipo de catalizador:** Oxidante

		Primera Medición		Segunda Medición	
		Punto de partida (0Km) 26597 Km		Dif. Km (10498Km) 37095 Km	
		Ralentí (% de vol)	2500 rpm (% de vol)	Ralentí (% de vol)	2500 rpm (% de vol)
CO	Tiempo				
	1	0.062	0.10	0.074	0.125
	2	0.064	0.10	0.073	0.125
	3	0.066	0.095	0.076	0.12
	4	0.067	0.10	0.074	0.12
	5	0.066	0.11	0.074	0.125
	6	0.067	0.11	0.074	0.126
	7	0.066	0.09	0.075	0.126
	8	0.066	0.10	0.076	0.124
	9	0.067	0.11	0.075	0.125
10	0.067	0.10	0.074	0.12	
HC	Tiempo	ppm	ppm	ppm	ppm
	1	59	48	72	58
	2	61	48	73	59
	3	61	49	73	59
	4	60	48	70	59
	5	61	49	72	59
	6	61	47	72	58
	7	61	46	73	58
	8	62	46	71	59
	9	61	47	71	57
10	61	49	71	59	

Tabla 3.21 Datos de la variación de CO y HC en 10000 Km**Fuente:** Autores



3.4.2.1 Análisis de la variación de CO en 10000 Km

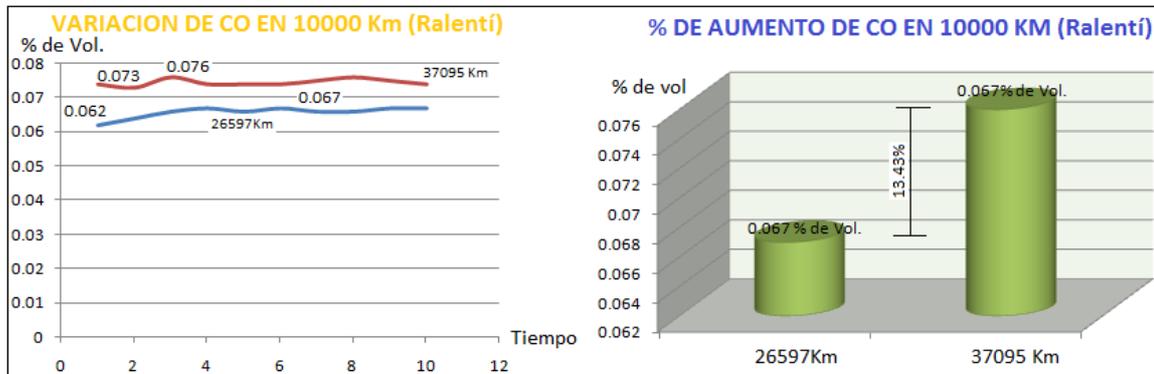


Figura 3.28 Variación de CO en función del Kilometraje (10000 km) Ralentí.

Fuente: Autores

0.067 % de Vol. → 100% de contaminación
0.076 % de Vol. → X
X=113.43%
113.43% - 100% = 13.43% de Aumento de CO en 10000 Km en ralentí.

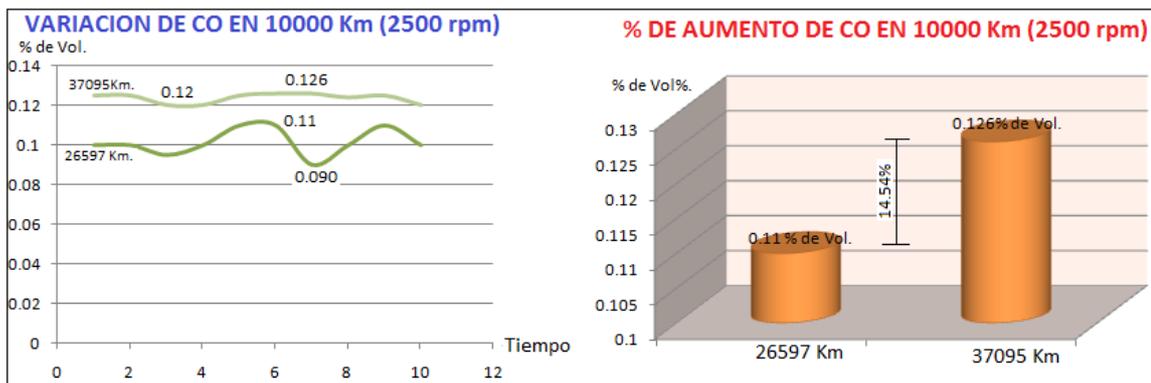


Figura 3.29 Variación de CO en función del Kilometraje (10000 km) a 2500 rpm.

Fuente: Autores



0.11 % de Vol. → 100% de contaminación
 0.126 % de Vol. → X
 $X=114.54\%$
 $114.54\% - 100\% = 14.54\%$ de Aumento de CO en 10000 Km a 2500 rpm.

En la gráfica 3.28 y 3.29 se observa el incremento del porcentaje de CO en un 14% promedio tanto para altas y bajas revoluciones, estos resultados comprueban lo dicho en el método 1 que el desgaste es proporcional al kilometraje, en los resultados de la prueba del método 1 teníamos un aumento del 8.5% en 5000 Km lo que quiere decir que los valores que se han obtenido en ambas pruebas son muy similares lo que confirma la valides de los datos presentados, permitiéndonos concluir que este tipo de catalizador se deteriora prematuramente en 50000Km mas, dándonos como resultado una desactivación total del catalizador oxidante.

3.4.2.2 Análisis de la variación de HC en 10000 Km

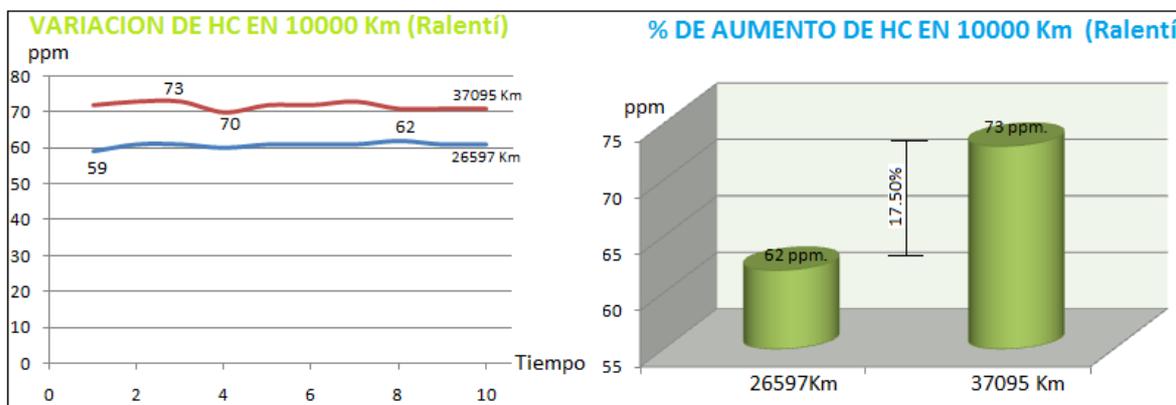


Figura 3.30 Variación de HC en función del Kilometraje (10000 km) ralenti.

Fuente: Autores

62 PPM. → 100% de contaminación
 73 PPM. → X
 $X=117.74\%$
 $117.74\% - 100\% = 17.74\%$ de Aumento de HC en 10000 Km en ralenti.

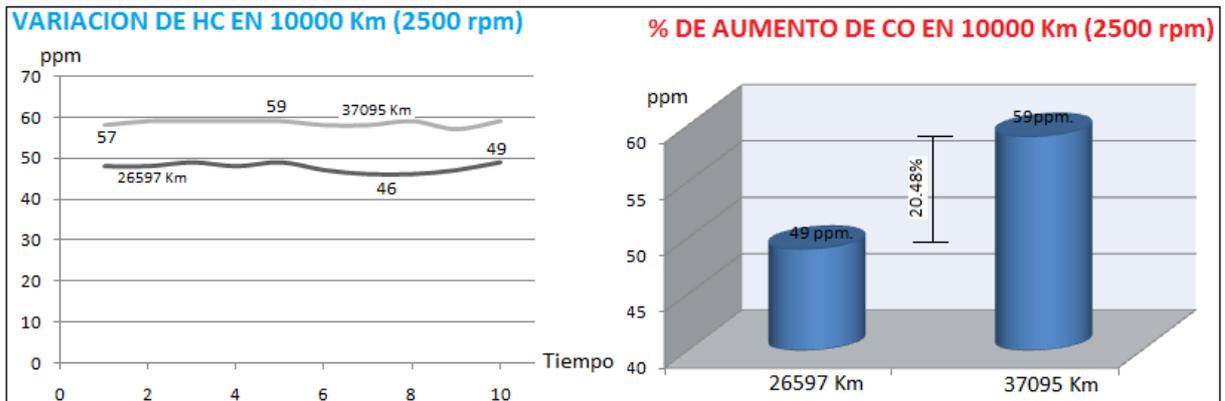


Figura 3.31 Variación de HC en función del Kilometraje (10000 km) a 2500 rpm.

Fuente: Autores

49 PPM. → 100% de contaminación
59 PPM. → X
$X=120.40\%$
$120.4\% - 100\% = 20.4\%$ de Aumento de HC en 10000 Km a 2500 rpm.

Como punto final de este método tenemos los resultados de la variación de los HC en 10000 Km, los valores son de un 17.74% de aumento de HC en ralentí y de un 20.4% a 2500 rpm, estos valores son más críticos que los valores de CO ya que son superiores con un 5%, estos datos confirman lo que se planteó en los objetivos de esta tesis que es determinar si hay un deterioro prematuro del catalizador oxidante del Hyundai Santa Fe, si los valores de los gases de CO y HC siguen en el mismo ritmo de aumento podemos determinar que en máximo 50000 Km más este catalizador estará deteriorado completamente dándonos una duración de 80000 Km en total, este valor es demasiado bajo ya que según estudios realizados por las casas fabricantes de catalizadores su vida útil promedio oscila entre los 180000 Km y 250000 Km.

Tenemos que tener muy en cuenta los datos de las pruebas puntuales, ya que hay factores que permiten que se eleve los índices de contaminación, debido a que estos están afectando continuamente en el desempeño del motor diesel, un claro ejemplo es que el índice de cetano del diesel Premium que es menor en cinco unidades a lo determinado por el



fabricante que es de 50,6 cetano para este vehículo, y es por eso que las emisiones bajaban considerablemente al usar un aditivo elevador de cetano.

Podemos concluir que el deterioró es completamente lineal al kilometraje pero cuál es la causa específica lo determinaremos a continuación en el capítulo cuatro al abrir dos catalizadores de este vehículo y observar que sucedió en su interior para que se dé su desactivación.

3.5 ESTUDIO DE LOS MEDIDORES DE GASES UTILIZADOS

3.5.1 Equipo cleanAIR:

El primer equipo utilizado fue el analizador de gases (cleanAIR), que fue proporcionado por la empresa CORPAIRE en el sector de GUAMANI.



Figura 3.32 Analizador cleanAIR

Fuente: Autores

Figura 3.33 CRV Guamani

Fuente: Autores

3.5.2 Pasos a realizar para la Medición de Gases

3.5.2.1 INTE INEN 2202:99

Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Determinación de emisiones de escape de motores de diesel mediante la prueba dinámica.



3.5.2.1.1 Objeto

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

3.5.2.1.2 Alcance

Esta norma se aplica a los vehículos automotores cuyo combustible es diesel.

3.5.2.1.3 Procedimiento de Medición

Antes de la prueba.

- 1) Verificar que el sistema 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.
- 2) Verificar que el nivel de aceite en el cárter del motor del vehículo esté entre el mínimo y máximo recomendado por el fabricante del vehículo, con el motor apagado y el vehículo en posición horizontal.
- 3) Verificar que el motor del vehículo se encuentre en la temperatura normal de operación.
- 4) Verificar que la transmisión del vehículo se encuentre en neutro (transmisión manual) o en parqueo (transmisión automática).
- 5) Si el vehículo no cumple con las condiciones determinadas anteriormente, la prueba no se debe realizar, hasta que corrijan las fallas correspondientes.
- 6) Someter al equipo de medición a un período de calentamiento y estabilización, según las especificaciones del fabricante.
- 7) Verificar que se haya realizado el proceso de autocalibración en el equipo.



- 8) Verificar que no exista ningún impedimento físico para el libre movimiento del acelerador.
- 9) Con el motor funcionando en “ralentí”, realizar por lo menos tres aceleraciones consecutivas, desde la posición de “ralentí” hasta la posición de máximas revoluciones, con el fin de limpiar el tubo de escape.
- 10) Conectar la sonda de prueba a la salida del sistema de escape del vehículo.



Figura 3.34 Elementos del analizador cleanAIR

Fuente: Autores

- Se coloca una faja en el vehículo en la parte posterior por seguridad para que este a su vez no se mueva al acelerar. En las fosas encontramos en donde poder sujetar la faja, la misma que nos ayudara para hacer presión y esta pueda quedar firme.



Figura 3.35 Fajas de seguridad

Fuente: Autores

- Se coloca un ventilador en la parte superior para que no se recaliente el motor al momento que aceleremos.



Figura 3.36 Ventilador
Fuente: Autores

- Luego la maquina cleanAIR se encera y toma el aire ambiente al 20% que hace referencia al oxigeno contenido en el aire ambiente que el equipo toma para su auto calibración.

Los gases que medimos con el equipo son:

Óxidos de nitrógeno NO_x

Monóxido de carbono CO

Hidrocarburos no combustionados HC

Dióxido de carbono CO₂

Oxigeno O₂

Material particulado PM

El analizador de gases cleanAIR nos proporciona la siguiente tabla de datos:

Hora	NO _x [ppm]	HC[ppm]	CO[%]	CO ₂ [%]	O ₂ [%]
14:09:13 PM	485	19	0.064	4.79	16.45

Tabla 3.22 Tabla de datos del analizador de gases cleanAIR
Fuente: Autores



Donde la maquina mide los gases cada segundo durante tres minutos aproximadamente y nos da los valores de cada segundo.

Los valores medidos son los óxidos de nitrógeno, hidrocarburos en partes por millón, el CO, CO₂, O₂, mide en porcentaje de volumen.

3.5.3 Equipo TESTO 350M/XL

Este equipo pertenece al Centro de estudios ambientales (CEA), de la universidad estatal de Cuenca, este equipo se utilizó para todas las pruebas necesarias para determinar el deterioro prematuro de los catalizadores, debido a la facilidad de uso y disponibilidad.

Las mediciones fueron realizadas con un Equipo detector de gases de combustión TESTO 350 M/XL. El equipo tiene instalado sensores para detección de gases: CO, NO, NO₂, NOX, SO₂, H₂ y sensor de temperatura de gases. Dispone de una cámara Peltier para retener condensados de los gases medidos.



Figura 3.37 Equipo TESTO 350 M/XL

Fuente: Autores



El equipo dispone de un Data-Logger donde registra las concentraciones de los gases en periodos de tiempo ajustables (data rate). Se tomó un muestreo de gas durante 10 minutos y con Data Rate (toma de muestra) de 10 segundos.

El equipo usado para la medición es un analizador de celdas electroquímicas según el texto de legislación ambiental.

Para el análisis de los gases de combustión del motor se ubicó la sonda directamente dentro del tubo de escape (aprox. 50mm de diámetro) a una profundidad de 30 milímetros en el centro del tubo.

Este equipo nos permite leer los siguientes gases:

Porcentaje de oxígeno, concentración de CO en ppm, concentración de NO en ppm, concentración de NO₂ en ppm, concentración de SO₂, Temperatura media de los gases en C, Velocidad media de los gases en m/s.

3.5.3.1 Ajuste del equipo

El Equipo TESTO 350 XL fue ajustado y calibrado a las siguientes condiciones:

Parámetro	Unidad	Rango de Detección	Exactitud
Temperatura	° C	40 – 1200	± 0.5% valor medido
O ₂	%v	0 – 25	± 0.8% valor final
CO	Ppm	0 – 10000	± 10% valor medido
NO	Ppm	0 – 3000	± 5% valor medido
NO ₂	Ppm	0 – 500	± 5% valor medido
SO ₂	Ppm	0 – 5000	± 5% valor medido
Velocidad	m/s	1 – 30	Factor calib. = 0.67

Tabla 3.23 Condiciones de calibración del equipo Testo 350 XL
Fuente: CEA



Tipo de Combustible: Diesel

Presión Atmosférica dada por altura: 560mmHg (733bar)

Altura: 2560SNM

Factor de compensación: 1.00

Diámetro de detección: 0.060metros (área = 0.0028m²)

Programa: No. Valores = 60; Tiempo Gas = 10min; Tiempo Aire = 6min;

Tiempo Limpiar = 7min.

3.5.3.2 Normativa

La Normativa Ecuatoriana en su Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria, Libro VI, Anexo 3 de “Motores de Combustión Interna”, expresa en el numeral 4.3.6, lo siguiente:

Tabla 11: Límites máximos permisibles de emisiones al aire para motores de combustión interna.

Contaminante Emitido	Observaciones	Fuentes Existentes	Fuentes Nuevas	Unidades [1]
Partículas Totales	--	350	150	mg/m ³
Óxidos de Nitrógeno	--	2 300	2 000	mg/m ³
Dióxido de Azufre	--	1 500	1 500	mg/m ³

[1] mg/m³: miligramos por metro cúbico de gas a condiciones normales de de 1 013 milibares de presión y temperatura de 0° C, corregidos a 15% de O₂, en base seca.

Tabla 3.24 Límites permisibles de emisiones de motores de combustión interna
Fuente: CEA



CAPITULO 4

ANALISIS DE FALLAS DE LOS CATALIZADORES A DIESEL

4.1 AVERÍAS DE LOS CATALIZADORES EN CUENCA

4.1.1 Indicadores de Avería

Cuando se produce una avería en el catalizador, hay algunos indicadores que pueden avisar del deterioro del mismo.

- El primero de ellos y el más común en la ciudad de Cuenca es la pérdida acusada de potencia a altas revoluciones y una pobre aceleración, debido a las posibles obstrucciones o fusiones en el catalizador.
- Los ruidos extraños en el tubo de escape y el funcionamiento anómalo del motor, prevee la posible rotura del monolito cerámico debido a algún golpe.
- Otro indicador es la excesiva emisión de gases contaminantes ya que el catalizador se ha desgastado correctamente sin llegar a la pérdida de potencia, sino a la desactivación por pérdida de sectores activos.
- El recalentamiento del motor es un indicador, esto se da cuando no se pueden expulsar correctamente los gases de escape, por lo general sucede cuando el catalizador está parcialmente obstruido y el motor no tiene un giro constante y suave, sino que se observa variaciones bruscas de 100 a 200 rpm durante su funcionamiento en ralentí.

La forma más efectiva de comprobación de un catalizador es mediante el analizador de gases, que permite medir convenientemente las concentraciones de elementos polucionaste emitidas por el escape, que deben ser comprobadas con las recomendadas por el fabricante del vehículo.

Medir la velocidad y volumen de salida de los gases de escape es un factor definitivo para determinar si el convertidor catalítico está o no saturado, los valores de velocidad de salida de los gases de escape depende del cilindraje del motor y del régimen de giro del mismo, en



ralentí el valor oscila entre 5m/s y 8 m/s. en la gráfica a continuación podemos observar los valores de la velocidad y volumen de salida de los gases de escape en ralentí.



Figura 4.1 Velocidad de salida de los gases de escape

Fuente: Autores

Otra forma de comprobar el estado del convertidor catalítico es medir la diferencia de temperatura existente a la entrada del catalizador y a la salida, donde la lectura de la temperatura de salida debe ser mayor con un mínimo de 50° C, lo que nos indicara que el proceso de catálisis se está dando correctamente, ya que este proceso consiste en elevar la temperatura.

4.2 CAUSAS DE AVERÍA DEL CATALIZADOR

La vida media de un catalizador es de aproximadamente 200000 kilómetros en teoría. Para obtener el máximo aprovechamiento y eficacia, hay que evitar una serie de procedimientos que pueden conducir a la avería del catalizador.

Una de las causas más frecuentes de avería en el catalizador, y una de las más graves, reside en los fallos de puesta a punto del motor y del encendido, provocados por una falta de mantenimiento.

Un exceso de carbonilla debida a una mezcla excesivamente rica provoca, una obstrucción prematura del monolito al taponarse sus estrechos canales.



Otra causa de avería se produce cuando no se comprueba con frecuencia el consumo de aceite, que si es excesivo puede ocasionar también una obstrucción del monolito, al generarse un exceso de partículas en el motor.

Por último, una de las causas más frecuentes, pero que tiende a desaparecer, es la utilización de diesel con mucho azufre. La presencia de azufre en el catalizador neutraliza los metales activos que contiene (platino, paladio),⁴⁶ el diesel Premium que se utiliza en la ciudad de Cuenca a pesar de ser el mejor del país no cumple con lo que recomienda el fabricante, el diesel Premium contiene 500 ppm de azufre, mientras que el diesel recomendado debe tener máximo 300 ppm de azufre.



Fig. 4.2 Averías de los catalizadores

Fuente: http://www.micoche.com/articulos/articulos_motor.asp?Id=43.htm

4.3 ESTUDIO DE LA DESACTIVACIÓN DE LOS CATALIZADORES

La actividad de los catalizadores se asegura por la estructura altamente porosa, con una gran área superficial, donde se encuentran los metales nobles. Sin embargo, tiende a disminuir con el tiempo y con el uso, debido, principalmente, a la pérdida de superficie activa por taponamiento y a la disminución de la dispersión de los metales nobles o pérdida de sectores activos debido a un alto flujo de gases contaminantes.

⁴⁶Averías de los catalizadores http://www.micoche.com/articulos/articulos_motor.asp?Id=43.htm



Las principales causas de su desactivación están relacionadas con las severas condiciones de operación a las que están sometidos, pero también influyen las propiedades de los combustibles utilizados.

La desactivación de los convertidores catalíticos suelen clasificarse en tres grupos, térmicas, químicas y mecánicas, y pueden aparecer separadamente o en combinación, pero el efecto neto es siempre la pérdida de actividad catalítica.

La desactivación mecánica implica fracturas físicas o el taponamiento del monolito y es un daño irreversible.

En cuanto a la desactivación térmica, ocurre debido a que el sustrato y los metales activos se ven afectados en el rango de variación de la temperatura de operación (20-850°C, e incluso superior).



Fig. 4.3 Sinterización del catalizador (sustrato derretido)

Fuente: [http:// webpages.ull.es/users/imarrero/sctm04/modulo2/4/abrito.pdf](http://webpages.ull.es/users/imarrero/sctm04/modulo2/4/abrito.pdf)

Se producen cambios cristalográficos en los constituyentes del sustrato, interacciones entre sustrato y metales activos, aleaciones, etc., que reducen el número de sitios activos del catalizador y, por tanto, su actividad (Sinterización). Además, estos cambios térmicos, junto con el efecto del flujo de las partículas de la corriente gaseosa, promueven la pérdida mecánica de material. Al igual que la desactivación mecánica, la térmica también es normalmente irreversible, aunque en algunos casos esta última puede revertirse mejorando la dispersión de los metales en la superficie. Sin embargo, a diferencia de las anteriores, la



desactivación química es reversible. Debido a que se produce como consecuencia del envenenamiento de los sitios activos del catalizador por impurezas (compuestos contaminantes presentes en las emisiones gaseosas), si éstas se retiran, el catalizador recupera su actividad.

Las impurezas proceden de aditivos de los combustibles (por ejemplo S, que se están reduciendo en las últimas décadas, y también Si, Mg, Mn, Cr y P), de aditivos de aceites lubricantes (por ejemplo, P, Zn y Ca) y de materiales que forman parte del motor y del tubo de escape (por ejemplo, Fe, Ni, Cu y Cr), y suelen formar compuestos que son adsorbidos o reaccionan de modo irreversible con los componentes de superficie activa del catalizador provocando su desactivación.

Las formas comunes en las que aparecen las impurezas anteriores en los catalizadores, en la capa de alúmina, son fosfatos del tipo $M_3(PO_4)_2$, siendo $M = Zn, Ca$ o Mg , o fosfato de aluminio $AlPO_4$.

También se ha detectado que, compuestos como $CePO_4$ y $Ce(PO_4)_3$ forman una película densa que causa la obstrucción de los poros y no permite el contacto entre el catalizador y el gas. Igualmente se ha observado que compuestos de zinc, aparecen en la corriente gaseosa después de la degradación térmica e hidrolítica del aceite y se depositan en la superficie del catalizador..

Por otra parte, debe señalarse que el grado de retención de los contaminantes principales en el catalizador depende de su naturaleza, habiéndose encontrado que sigue el orden siguiente: $P > Pb > Zn > Ca >> S$. Además, su acumulación en la superficie del catalizador depende de la temperatura y se ve favorecida a bajos valores de la variable.

Con respecto a la distribución de los contaminantes, estudios de macro y micro distribución han demostrado que la mayor parte se acumula en la superficie externa del sustrato, siendo uniforme la distribución radial. En cuanto a la distribución axial, las mayores acumulaciones se producen en la entrada de los gases de escape.

Finalmente, cabe indicar que, aunque la escala de tiempo para la degradación depende de factores como las condiciones de conducción, el tipo de combustible, etc., suele



considerarse que, aproximadamente, el tiempo de vida de los catalizadores es de 200000 km o 10 años. Por otro lado, la aparición de cada uno de los tres fenómenos de desactivación descritos, aunque depende de varios factores y se da durante toda la vida útil del catalizador, ocurre a diferentes escalas de tiempo. Por ejemplo, el fenómeno de desactivación química es proporcional al tiempo de operación, mientras que los efectos causados por las altas temperaturas decaen de forma exponencial con el tiempo. Además, el caso de la desactivación total por roturas mecánicas se considera un evento puntual, mientras que el desgaste físico del monolito va ocurriendo de forma gradual o a veces prematuro cuando el motor no trabaja en condiciones óptimas a las que está diseñado por ejemplo cuando hay una mayor generación de gases de escape debido a una mala calidad del combustible.

En cualquier caso, en general la desactivación mecánica se produce mucho antes que las otras.⁴⁷

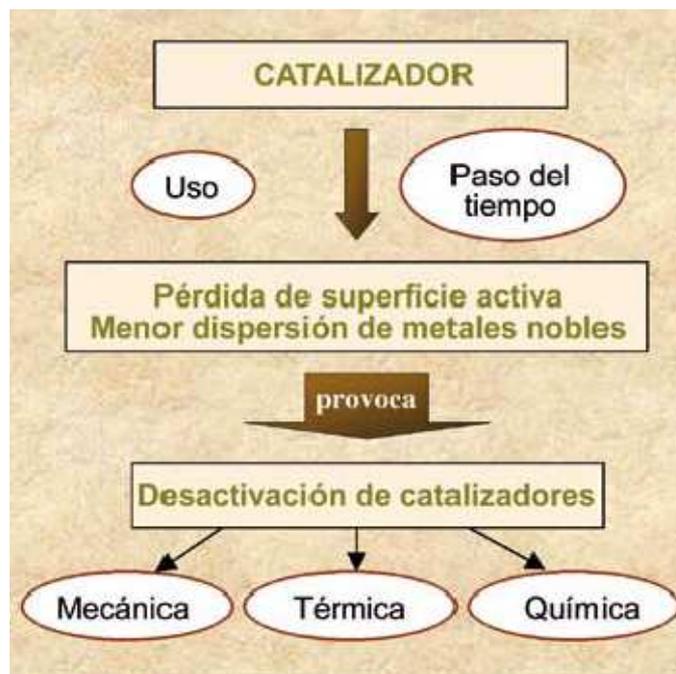


Fig. 4.4 Diagrama del proceso de desactivación del catalizador

Fuente: [http:// webpages.ull.es/users/imarrero/sctm04/modulo2/4/abrito.pdf](http://webpages.ull.es/users/imarrero/sctm04/modulo2/4/abrito.pdf)

⁴⁷ Desactivación de los catalizadores. <http://webpages.ull.es/users/imarrero/sctm04/modulo2/4/abrito.pdf>



4.4 ESTUDIO DE LA DESACTIVACIÓN PREMATURA DE LOS CATALIZADORES EN CUENCA

A continuación procedemos a realizar el análisis del catalizador de un Hyundai Santa Fe el cual fue eliminado a los 60000 km de uso debido a la perdida acusada de potencia, por lo que se le realizara un análisis profundo para determinar qué tipo de desactivación se produjo en este catalizador y cuál fue su posible causa.

A continuación se indica las toberas de entrada y salida del convertidor oxidante luego de haber sido cortado del sistema de escape.



Fig. 4.5 Tobera de entrada y salida del catalizador oxidante
Fuente: Autores

En la figura 4.5 se ve una diferencia entre la tobera de entrada y la tobera de salida del catalizador, la tobera de entrada tiene un cono para una mejor distribución radial de los gases de escape.

Como se ve en la figura 4.5 existe un exceso de carbonilla en la tobera de entrada del catalizador que alcanza protuberancias hasta de 5 milímetros, mientras que en la de salida la cantidad es menor con un máximo de 1 milímetro de espesor, estas graficas permiten tener una idea de cuál es la posible causa del deterioro prematuro del catalizador, en la figura 4.6 se confirma lo anotado anteriormente.



Fig. 4.6 Tobera de entrada
Fuente: Autores

Para obtener una mejor vista de lo que sucede en el interior del catalizador se corta al mismo en el límite donde comienza el monolito cerámico, se observa claramente que el fallo de este catalizador oxidante es por saturación de carbonilla en su interior específicamente en la boca de entrada, se comprueba todo lo analizado y concluido en los capítulos anteriores, los factores que se estudiaron si influyen en el deterioro prematuro del catalizador ya que al generar más gases contaminantes por ende se genera más partículas de carbonilla que da como resultado el taponamiento anticipado del mismo, al llenarse sus celdas de carbonilla estas no permiten que los gases de escape sean expulsados satisfactoriamente dando como resultado que el motor no pueda acelerar y se dé una pérdida de potencia.



Fig. 4.7 Boca de entrada de los gases de escape al catalizador oxidante
Fuente: Autores

En la figura 4.7 se aprecia que hay más de un 80% del convertidor catalítico obstruido por una capa de carbonilla de 3 milímetros de espesor, esto nos permite entender que el deterioro prematuro del catalizador del Hyundai Santa Fe es por desactivación mecánica específicamente por taponamiento, en la ciudad de Cuenca la principal causa para eliminar un convertidor catalítico es la pérdida de potencia del motor, por lo tanto podemos concluir que en Cuenca el deterioro prematuro del catalizador oxidante está determinado por el exceso de carbonilla que se producen en los gases de escape, debido a los factores puntuales estudiados en el capítulo anterior.

Siguiendo con el análisis profundo sobre este punto se puede observar la diferencia de acumulación de carbonilla entre la boca de entrada y la boca de salida de los gases de escape del convertidor catalítico, como se observa en la figura 4.8.



Fig. 4.8 Diferencia de acumulación de carbonilla entre la boca de entrada y salida del catalizador oxidante
Fuente: Autores

Con respecto a la distribución de las partículas sólidas, se demuestra que la mayor parte se acumula en la superficie externa del sustrato, siendo casi uniforme la distribución radial. En cuanto a la distribución axial, las mayores acumulaciones se producen en la entrada de los gases de escape ya que a la salida como se observa en la figura 4.8 es mínima la concentración de carbonilla, es por esto que se seccionara el convertidor catalítico para ver como disminuye la acumulación de carbonilla desde la boca de entrada hasta la de salida.

Al seccionar el convertidor catalítico se aprecia la presencia de una malla entre la coquilla metálica y el monolito cerámico este dato corrobora la parte teórica del capítulo uno, esta malla tiene como objetivo eliminar los choques entre el monolito cerámico y la coquilla para evitar que se produzca despotillamiento o rotura del monolito.

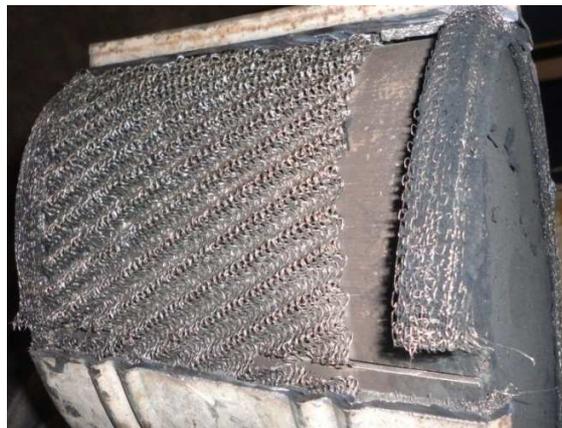


Fig. 4.9 Malla de protección del monolito cerámico
Fuente: Autores



El monolito cerámico es ovalado y tiene las siguientes dimensiones, 10 cm de ancho y 17 cm de largo, es por esto que para determinar cómo se distribuye la carbonilla en el convertidor catalítico realizaremos cuatro cortes de 4,25 cm cada uno como se muestra en la figura 4.11.



Fig. 4.10 Dimensiones del monolito cerámico
Fuente: Autores



Fig. 4.11 Cortes del monolito cerámico cada 4.25 cm
Fuente: Autores



Para determinar la concentración de carbonilla a lo largo del convertidor catalítico, se analizara por secciones comenzando desde la parte de entrada y tenemos que la concentración es alta(Fig 4.12), mientras que a 4,25 cm disminuye la concentración(Fig 4.13), a 8,50 cm es mínima la presencia de carbonilla(Fig 4.14), a 12,75 cm es nula su presencia(Fig 4.15), pero a la salida aumenta más que en las dos secciones anteriores (Fig 4.16), esto nos lleva a concluir que la máxima concentración y taponamiento del catalizador sucede desde la boca de entrada hasta unos 5 cm de profundidad lo que quiere decir que el saturamiento es en mayor proporción de forma radial y que axial



Fig. 4.12 Presencia de carbonilla en la entrada del catalizador
Fuente: Autores

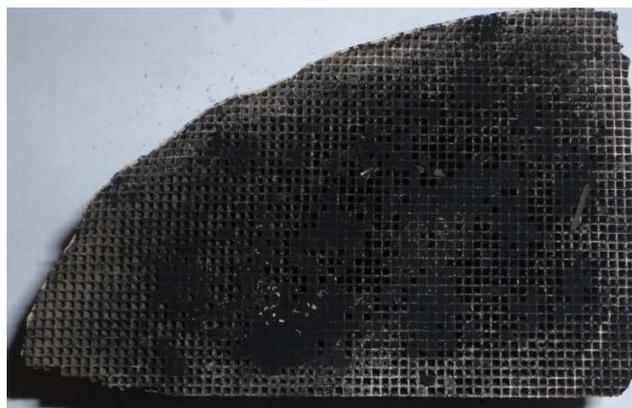


Fig. 4.13 Presencia de carbonilla a 4.25 cm de profundidad desde la entrada
Fuente: Autores



Fig. 4.14 Presencia de carbonilla a 8.5 cm de profundidad desde la entrada
Fuente: Autores

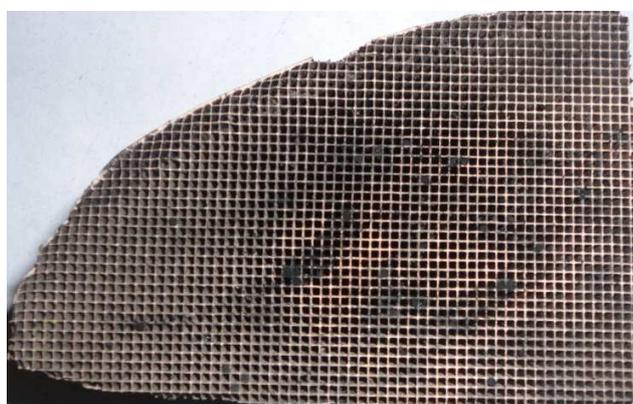


Fig. 4.15 Presencia de carbonilla a 12.75 cm de profundidad desde la entrada
Fuente: Autores



Fig. 4.16 Presencia de carbonilla a la salida del catalizador (17 cm)
Fuente: Autores



4.5 RECOMENDACIONES PARA EVITAR PROBLEMAS CON EL CATALIZADOR

Es posible evitar en gran medida dañar el catalizador de nuestro vehículo teniendo en cuenta unos cuantos consejos que evitarán que tengamos que pasar por el taller de forma prematura. La mayoría de ellos, pasan por realizar una conducción cuidadosa.

- Evitar las subidas bruscas que puedan provocar golpes en los bajos evitará, a su vez, que el catalizador quede dañado en algún impacto. Si se afrontan desniveles pronunciados, el sentido común y la habilidad deben imponerse.
- Calentar el vehículo antes de salir de viaje, manteniendo durante unos 10 minutos el motor en el punto de ralentí, garantizará que este alcance su temperatura de trabajo antes de circular, alargando la vida del catalizador.
- Es recomendable que se trabaje con el diesel indicado por el fabricante del vehículo, ello aumentará considerablemente la durabilidad del catalizador.
- Si el catalizador ya comienza a dar señales de mal funcionamiento, las medidas a tomar dependerán de los síntomas. Un exceso de hollín negro en el escape o un exceso de humo negro cuando el coche está en marcha delatarán un problema de exceso de combustible y, probablemente, daños en el catalizador. Si esto ocurre, será necesario hacer una diagnosis del funcionamiento del vehículo con una lectura de gases.
- También se debe realizar un mantenimiento del motor según indique el manual del constructor.
- Realizar los cambios de aceite de motor al kilometraje indicado por el fabricante del aceite, se debe tomar en cuenta en usar el aceite correcto y de buena calidad.



CAPITULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES FINALES.

Al finalizar este trabajo y en base a los valores obtenidos podemos indicar que los objetivos planteados al comienzo de esta tesis se pudieron alcanzar satisfactoriamente, ya que se pudo determinar de manera general la eficiencia del catalizador oxidante del Hyundai Santa Fe, como también las causas que producen un deterioro prematuro del catalizador por lo que podemos concluir:

Que los convertidores catalíticos son un sistema muy eficiente para reducir las emisiones contaminantes de los gases de combustión generados por los vehículos en nuestra ciudad con un 80% de eficiencia en la reducción de Hidrocarburos y un 70% en monóxido de carbono.

La durabilidad promedio de un catalizador en nuestra ciudad es de 80000 km, pero este valor puede variar dependiendo de cómo se maneje los factores puntuales que influyen directamente sobre el funcionamiento del convertidor catalítico, pues luego de todo lo estudiado en el capítulo 3 comprobamos que factores como: calidad del combustible, cambios de aceite a su debido tiempo, tipo de manejo, mantenimiento mecánico, fallas electrónicas, disminuyen en un gran porcentaje la eficiencia y durabilidad del catalizador, como podemos ver en el cuadro de valores de CO a continuación.



Influencia de la temperatura	Aumento de CO en ralentí	Aumento de CO a 2500 rpm	% promedio de aumento
	3%	15.5%	9%
Con termostato	224 ppm	634 ppm	
Sin termostato	234 ppm	750 ppm	
Influencia de la degradación del aceite	Aumento de CO en ralentí	Aumento de CO a 2500 rpm	% promedio de aumento
	28.5%	29.6%	29%
Aceite 3km	249 ppm	306 ppm	
Aceite 5000 Km	349 ppm	435 ppm	
Influencia de usar aditivo	Disminución de CO en ralentí	Disminución de CO a 2500 rpm	% promedio de disminución
	25.4%	20.7 ppm	23%
Diesel Premium	291 ppm	445 ppm	
D. Premium+Aditivo	217 ppm	353 ppm	
Influencia de la Altura	Aumento de CO en ralentí	Aumento de CO a 2500 rpm	% promedio de aumento
	21.3%	27.9%	24.6%
0 msnm	229 ppm	321 ppm	
2560 msnm	291 ppm	445 ppm	

Tabla 5.1 Cuadro de valores de aumento y disminución de % de CO

Fuente: Autores

En la tabla 5.1 podemos notar que los dos principales factores para el aumento de emisiones contaminantes es la calidad del combustible y la degradación del aceite, entendemos por mala calidad del combustible al diesel Premium que se vende en cuenca ya que los índices de azufre son altos y el número de cetanos es en cinco unidades menor al diesel recomendado por el fabricante, estos dos factores nos permiten concluir que el aumento de emisiones contaminantes por cualquier factor producen el deterioro prematuro del catalizador oxidante.

También se puede concluir que el deterioro prematuro del Hyundai Santa Fe está determinado por el aumento de emisiones contaminantes, que da como resultado la



desactivación mecánica del catalizador oxidante por taponamiento y no por pérdida de sectores activos, ya que al tener un mayor número de emisiones contaminantes se produce más carbonilla que da como consecuencia la saturación de la boca de entrada del convertidor catalítico como se puede observar en la figura 5.1



Figura 5.1 Taponamiento de la boca de entrada del catalizador oxidante
Fuente: Autores

Como ultima conclusión podemos decir que si el convertidor catalítico trabajara en condiciones normales es decir con un 87% menos de gases contaminantes producidos por el motor debido a la influencia de los factores puntuales, el catalizador oxidante llegaría a los 150000km como mínimo sin ningún problema como se indicó en el capítulo tres.

5.2 RECOMENDACIONES FINALES

Como primera recomendación podemos decir que es imprescindible que se realice un estudio profundo sobre la degradación del aceite para determinar cuál es el kilometraje al cual estos deben ser remplazados antes de que estos pierdan sus características y se empiece



a dar el aumento de los niveles de emisiones contaminantes, el estudio debe hacerse en función de la calidad del aceite.

Es muy importante que se gestione a nivel de la ciudad y a nivel nacional el suministro de un mejor tipo de diesel, con un índice menor de ppm de azufre y un más alto índice de cetanaje para así poder disminuir las emisiones de SO₂, CO, HC, NO_x, y reducir las probabilidades de un deterioro prematuro de todos los tipos de catalizadores oxidantes de la ciudad de Cuenca.

Una recomendación importante es crear una conciencia medio ambiental a partir de entender lo importante que es un convertidor catalítico para la disminución de la contaminación ambiental, para lograr esto, entidades como el municipio, UMT, la Organización de Gestión Ambiental, deben emprender una campaña de concientización y de información técnica, sobre la importancia, el trabajo que realiza, los factores que se deben tener en cuenta para un correcto funcionamiento del convertidor catalítico y el que hacer cuando el mismo se encuentra averiado, esta información debe ser dirigida a la ciudadanía y en especial a los dueños de mecánicas automotrices.

Otra recomendación que podemos dar luego de terminado este proyecto es revisar los límites permisibles de los gases contaminantes en nuestra ciudad, pues un vehículo con gestión electrónica (CRDI) puede aprobar fácilmente la revisión técnica vehicular a pesar de no poseer el convertidor catalítico, esto se debe a que el límite es muy alto, se debe trabajar con los valores más bajos que pueden ser un 0,5% de volumen de CO y 100 ppm de HC ya que todos el vehículo analizado en nuestro estudio cumplía fácilmente estos valores, a pesar de que se le retiro el catalizador por un tiempo.

Como última recomendación, luego de haber visto la eficiencia que tienen los convertidores catalíticos, se debe realizar un estudio para la implementación del uso de catalizadores genéricos en todos los vehículos de nuestra ciudad y no eliminar este sistema del vehículo.



BIBLIOGRAFIA:

PAGINAS DE INTERNET:

- Convertidores Catalíticos (recuperado el 12 marzo del 2011)
www.oni.escuelas.edu.ar/2001/santa-fe-sur/motor/converti.htm
- Emisiones de Gases de Escape(recuperado el 12 marzo del 2011)
www.scribd.com/doc/44676235/Emisiones-de-Gases-de-Escape
- Impacto Ambiental(recuperado el 13 marzo del 2011)
www.monografias.com/trabajos14/impacto-ambiental/impacto_ambiental.shtml
- Gases Contaminantes (recuperado el 13 marzo del 2011)
www.mecanicavirtual.org/emision-gases-escape.php
- Catalizador (recuperado el 13 marzo del 2011)
www.foroinsurgentesdelared.com/foro/catalizador
- Catalizador de dos vías (recuperado el 13 marzo del 2011)
www.buenastareas.com/ensayo/catalizador/1682919.html
- Controles de emisión y tubos de escape (recuperado el 13 marzo del 2011)
webdelautomovil.com/2007/09/controles-de-emision-y-tubo-de-escape-23
- Red Técnica Automotriz (recuperado el 13 marzo del 2011)
www.RedTecnicaAutomotriz.com
- Catálisis (recuperado el 13 marzo del 2011)
www.es.wikipedia.org/wiki/Cat%C3%A1lisis



- Aspectos Fundamentales de la Catálisis y los Catalizadores (recuperado el 13 marzo del 2011)
bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/059/htm/sec_5.htm
- Catalizadores (recuperado el 13 marzo del 2011)
www.oni.escuelas.edu.ar/olimpi99/autos-y-polucion/cataliza.htm
- Convertidor (recuperado el 13 marzo del 2011)
www.semarnat.gob.mx/evaluación%20de%20convertidor%20catalítico%htm
- Emisiones y Tecnologías (recuperado el 13 marzo del 2011)
www.universalaet.com/sp/emission-technologies/three-w.htm
- Sonda Lambda (recuperado el 13 marzo del 2011)
www.todomecanica.com/sonda-lambda-y-sensores.html
- Paladio (recuperado el 13 marzo del 2011)
www.unctad.org/infocomm/espagnol/paladio/utilizacion.htm
- Paladio (recuperado el 13 marzo del 2011)
www.lenntech.es/periodica/elementos/pd.htm
- Paladio, Polvo (recuperado el 13 marzo del 2011)
www.quantyka.com.mx/catalogo/HDSM/Puros/paladio_polvo.htm
- Platino (recuperado el 13 marzo del 2011)
www.lenntech.es/periodica/elementos/pt.htm
- Rodio (recuperado el 13 marzo del 2011) www.es.wikipedia.org/wiki/Rodio
- Los motores Diesel (recuperado el 13 marzo del 2011)



www.solociencia.com/ecologia/05042108.htm

- Tipos y Fuentes de Contaminantes Atmosféricos(recuperado el 14 marzo del 2011)

www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/396/tipos.html

- Análisis de gases de escape y sistemas(recuperado el 14 marzo del 2011)

www.scribd.com/doc/6560443/Analisis-de-Gases

- Diesel Premium se distribuye en Cuenca(recuperado el 14 marzo del 2011)

www.elmercurio.com.ec/hemeroteca-virtual?noticia=83002

- Gestión electrónica diesel(recuperado el 14 marzo del 2011)

www.xuletas.es/ficha/gestion-electronica-diesel/

- Reciclado de catalizadores de automóviles (recuperado el 14 marzo del 2011)

www.scribd.com/doc/39555978/Reciclado-de-Catalizadores-de-Automoviles

- El diesel(recuperado el 14 marzo del 2011)

www.ref.pemex.com/octanaje/24DIESEL.htm#

- Estudio del Efecto de la Altitud sobre el Comportamiento de Motores de Combustión(recuperado el 14 marzo del 2011)

www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642006000500005&script=sci_arttext

- El Dióxido de Carbono (recuperado el 14 de marzo del 2011)

http://es.wikipedia.org/wiki/Di%C3%B3xido_de_carbono.

- Óxido de nitrógeno (recuperado el 14 de marzo del 2011)

[http://es.wikipedia.org/wiki/%C3%93xido_de_nitr%C3%B3geno_\(II\)](http://es.wikipedia.org/wiki/%C3%93xido_de_nitr%C3%B3geno_(II)).



- Analizador de Gases Nextech NGA 6000 (recuperado el 14 de marzo del 2011)
<http://www.cva-sa.com/espanol/analizadores-de-gases.html>
- Perdidas de energía del motor Otto (recuperado el 14 de marzo del 2011)
<http://www.sankey-diagrams.com/tag/engine/>.

Bibliografía Libros:

- BABOR, Ibarz. *Química General Moderna*, Primera Edición, Mad. S.L., Madrid, 2003.
- ALONSO, José Manuel, *Técnica del automóvil Sistema de inyección de combustible en los Motores diesel*, Primera Edición, International Thompson Editorial, Madrid, 2001.
- COLIN, Ferguson; ALLAN, Kirkpatrick. *Internal Combustión Engines Applied Thermosciences*, Second Edition, Jhon Wiley & Sons, 2000.
- CROUSE, William, *Mecánica del Automóvil*, Tercera Edición, Marcombo S.A. España, 1993
- BOSCH, Robert, *Manual de la técnica del automóvil*, Tercera Edición, Editorial Reverte, 1996.
- JOVAJ, M. S. *Motores del automóvil*. Edit. Mir. Moscú 1982.
- RUSSELL, Lansbury; CHUNG-SOK, Suh; SEUNG-HO, Kwon, *The Global Korean Motor Industry*, First Edition, Taylor & Francis, USA, 2007



ANEXOS

INFORME DE
MEDICIONES AMBIENTALES

1. ANTECEDENTES

Razón Social: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
Actividad: Trabajo de Investigación
Solicitante: Sr. Washington Cajas, Sr. Mauricio Loarte
Mediciones: Gases de Combustión, Gases en aire ambiente

2. MEDICIONES REALIZADAS

- Determinación de la concentración de Gases en aire ambiente: Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Azufre (SO₂) y Óxidos de Nitrógeno (expresados como NO₂) en un punto de la mecánica, con una duración de una hora.
- Determinación de los Gases de Combustión: Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Azufre (SO₂), Óxidos de Nitrógeno (NO, NO₂, NO_x) en un Motor Marca Hyundai 2300cm³ modelo Santa Fe.

Handwritten signature

3. GASES EN AIRE AMBIENTE

Las mediciones fueron realizadas con dos equipos de medición de gases en aire ambiente Marca BW Technologies (Honeywell) GasAlertMicro 5 y GasAlertMicro 5 PID.

El equipo GasAlertMicro 5 tiene instalado sensores electroquímicos para detección de gases: O₂, NO₂, SO₂.

El equipo GasAlertMicro 5 PID tiene instalado sensores electroquímicos para detección de gases: CO, O₂, H₂S, VOC's y LEL.

Se tomaron muestreos de gas durante una hora y con un Data Rate (intervalo de muestreo) de 30 segundos.

3.1 ANTECEDENTES NORMATIVOS

3.1.1 LEGISLACIÓN AMBIENTAL VIGENTE

La Normativa Ecuatoriana en su Legislación Ambiental Secundaria, Libro VI, Anexo 4 de Normas de Calidad del Aire Ambiente especifica lo siguiente para el gas contaminante Monóxido de Carbono (CO):

Numeral 4.1.2 Normas Generales para concentraciones de contaminantes comunes en el aire ambiente:

Monóxido de Carbono (CO).- La concentración de monóxido de carbono en las muestras determinadas de forma continua, en un periodo de 8 (ocho) horas, no deberá exceder en diez mil microgramos por metro cúbico (10000µg/m³) más de una vez en un año. La concentración máxima en una hora de monóxido de carbono no deberá exceder en cuarenta mil microgramos por metro cúbico (40000µg/m³) más de una vez en un año.

Dióxido de Azufre (SO₂).- El promedio aritmético de la concentración de SO₂ determinada en todas las muestras en un año no deberá exceder de ochenta microgramos por metro cúbico (80µg/m³). La concentración máxima en 24 horas no deberá exceder trescientos cincuenta microgramos por metro cúbico (350µg/m³), más de una vez en un año.

Óxidos de Nitrógeno, expresados como (NO₂).- El promedio aritmético de la concentración de óxidos de nitrógeno, expresada como NO₂, y determinada en todas las muestras en un año, no deberá exceder de cien microgramos por metro cúbico (100µg/m³). La concentración máxima en 24 horas no deberá exceder ciento

cincuenta microgramos por metro cúbico (150µg/m³) más de dos (2) veces en un año.

3.2 MEDICIONES Y RESULTADOS

En la tabla 1 se muestran los valores de la concentración de gases monitoreados en el punto donde se realizó el monitoreo por un período de una hora, comparados con los límites establecidos en la Legislación Ambiental Secundaria, cabe indicar que para los gases NO₂ y SO₂, estos límites se toman únicamente como referencia ya que el monitoreo se realizó por un período de una hora y la Normativa establece un límite para un período de 24 horas.



4. GASES DE COMBUSTION

Las mediciones fueron realizadas con un Equipo detector de gases de combustión TESTO 350 M/XL. El equipo tiene instalado sensores electroquímicos (celdas) para detección de gases: CO, NO, NO₂, NO_x, SO₂ y sensor de temperatura de gases. Dispone de una cámara Peltier para retener condensados de los gases medidos.

El equipo dispone de un Data-Logger donde registra las concentraciones de los gases en periodos de tiempo ajustables (data rate). Se tomó un muestreo de gas durante 10 minutos y con Data Rate (toma de muestra) de 10 segundos.

4.1 METODOLOGIA DE LA MEDICION

4.1.1 MÉTODOS DE MUESTREO Y ANÁLISIS

La metodología de medición que se usó, es la indicada en el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria, Libro VI, Anexo 3 de "Métodos y equipos de medición de emisiones desde fuentes fijas de combustión", Numeral 4.2 y sus anexos, que expresan lo siguiente:

4.2.2.5 Ubicación de puertos de muestreo.- los puertos de muestreo se colocarán a una distancia de, al menos, ocho diámetros de chimenea corriente abajo y dos diámetros de chimenea corriente arriba de una perturbación al flujo normal de gases de combustión. Se entiende por perturbación cualquier codo, contracción o expansión que posee la chimenea o conducto. En conductos de sección rectangular, se utilizará el mismo criterio, salvo que la ubicación de los puertos de muestreo se definirá en base al diámetro equivalente del conducto...

Para el análisis de los gases de combustión del motor se ubicó la sonda directamente dentro del tubo de escape (de 60 mm de diámetro) a una profundidad de 30 milímetros en el centro del tubo. Las condiciones del tubo no se prestaban para hacer un orificio de muestreo tal como lo estipula la Legislación ambiental.

4.1.2. EQUIPO ANALIZADOR

El equipo usado para la medición es un analizador de celdas electroquímicas según lo estipulado en el mismo texto de legislación ambiental en su numeral 4.2.2.17 al 4.2.2.20 que indican lo siguiente:

4.2.2.17 Métodos para determinación de emisión de dióxido de azufre y de óxidos de nitrógeno desde una fuente fija.- Esta determinación se realizará mediante uno de los dos sistemas de medición aquí propuestos, estos son, con el uso de instrumentación basada en analizadores portátiles, o, con el uso de los procedimientos de colección, recuperación y análisis en laboratorio de muestras colectadas. Se especificará claramente el método utilizado en la medición de emisiones.

4.2.2.18 Uso de analizadores portátiles.- se utilizarán equipos disponibles en el mercado, que reporten las emisiones de dióxido de azufre y/o de óxidos de nitrógeno en base a técnicas tales como de fluorescencia, ultravioleta, e infrarrojo no dispersivo, para el caso de dióxido de azufre, o, de quimiluminiscencia, para el caso de óxidos de nitrógeno. Otra opción consiste en la utilización de analizadores portátiles, que operan con tecnología de celdas electroquímicas, y diseñados para medición también de dióxido de azufre y de óxidos de nitrógeno.

4.2.2.19 De utilizarse analizadores portátiles, sea con cualquiera de las técnicas descritas en 4.2.2.18, estos equipos deberán contar con los respectivos certificados de calibración, otorgados por el fabricante de los mismos.

4.2.2.20 Los analizadores deberán contar con los accesorios que permitan el acondicionamiento de la muestra de gases en chimenea, previo al ingreso de la misma a la sección de medición. El sistema de medición deberá contar con una sonda de admisión del gas en chimenea, provista de sección de calentamiento o similar, que garanticen la no condensación de vapor de agua presente en la muestra y evitar así la consiguiente absorción de dióxido de azufre o de óxidos de nitrógeno en el líquido condensado.



Si el analizador reporta los resultados en base seca, el sistema de medición deberá contar con una unidad de condensación, o dispositivo similar, que garanticen la purga o evacuación del vapor de agua condensado, y al mismo tiempo, minimice el contacto entre la muestra de gases y el líquido condensado. Se aceptarán también equipos analizadores que determinen concentraciones de SO₂ y/o de NO_x en base húmeda, siempre que los resultados sean convertidos a concentración en base seca mediante métodos apropiados.

4.1.3 AJUSTE DEL EQUIPO DE MEDICIÓN.

El Equipo TESTO 350 XL fue ajustado y calibrado a las siguientes condiciones:

Parámetro	Unidad	Rango de Detección	Exactitud
Temperatura	° C	40 - 1200	± 0.5% valor medido
O ₂	%v	0 - 25	± 0.8% valor final
CO	ppm	0 - 10000	± 10% valor medido
NO	ppm	0 - 3000	± 5% valor medido
NO ₂	ppm	0 - 500	± 5% valor medido
SO ₂	ppm	0 - 5000	± 5% valor medido
Velocidad	m/s	1 - 30	Factor calib. = 0.67

Tipo de Combustible: Diesel (Líquido Fuel oil 1)
 Presión Atmosférica dada por altura: 560 mmHg (733mbar)
 Altura: 2560m SNM
 Factor de Compensación: 1.00
 Diámetro de detección: 0.060metros (área = 0.0028m²)

Programa: No. Valores = 60; Tiempo Gas = 10min; Tiempo Aire = 6min; Tiempo Limpiar = 7min.

4.2 NORMATIVA

La Normativa Ecuatoriana en su Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria, Libro VI, Anexo 3 de "Motores de Combustión Interna", expresa en el numeral 4.3.6, lo siguiente:

Los resultados del informe son de uso exclusivo del consultor, las recomendaciones y conclusiones citadas, afectan únicamente a las condiciones al momento de la medición y deben ser reproducidas o incorporadas en el informe final previo análisis del responsable del estudio de consultoría.

4.3.6 Motores de Combustión Interna

Tabla 11. Límites máximos permisibles de emisiones al aire para motores de combustión interna

CONTAMINANTE EMITIDO	OBSERVACIONES	FUENTES EXISTENTES	FUENTES NUEVAS	UNIDADES ^[1]
Partículas Totales	--	350	150	mg/m ³
Óxidos de Nitrógeno	--	2 300	2 000	mg/m ³
Dióxido de Azufre	--	1 500	1 500	mg/m ³

^[1] mg/m³: miligramos por metro cúbico de gas a condiciones normales de 1 013 milibares de presión y temperatura de 0° C, corregidos a 15% de O₂, en base seca.

5. **MEDICIONES Y RESULTADOS**

La prueba se realizó con el motor quemando DIESEL y con la presencia de CATALIZADOR. La prueba duró 10 minutos efectivos de medición y el motor estuvo a una aceleración de 750 revoluciones por minuto (rpm)

Los resultados del monitoreo de gases se expresan en la Tabla 2.

La Tabla 3 presenta las concentraciones promedio de los gases obtenidos de la medición y su comparación con el límite normativo vigente:

Tabla 3. Concentraciones de Gases de Combustión y comparación con la Normativa Ambiental Vigente. (15/04/2011).

GAS	Promedio (mg/Nm ³)	Límite Según Normativa ¹ (mg/Nm ³)
Monóxido de Carbono (CO)	735,8	--
Óxidos de Nitrógeno (NOx)	962,4	2000
Dióxido de Azufre (SO ₂)	270,84	1500

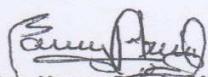
¹ Los valores han sido transformados a condiciones normales de 1013mbar de presión y 0° C de temperatura, en base seca y corregidos a 15% de oxígeno como indica la Legislación Ambiental Libro VI, Anexo 3 en su numeral 4.3.6: "Motores de Combustión Interna".

Según lo observado en la Tabla 3, ninguno de los valores obtenidos en la medición superan los Límites Normativos estipulados en la Legislación Ambiental para motores de combustión interna.

Información de la zona proporcionada por: Sr. Washington Cajas.
Sr. Mauricio Loarte.

Técnicos Responsables: Ing. Carlos Espinoza P.
Ing. Verónica Vázquez F.




Dra. Nancy García Alvear.
DIRECTORA DEL CEA.

Cuenca, a 26 de abril de 2011.

¹ Según Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria, Libro VI, Anexo 3 de Norma de Emisiones para Motores de Combustión Interna, Numeral 4.3.6.

Los resultados del informe son de uso exclusivo del consultor, las recomendaciones y conclusiones citadas, afectan únicamente a las condiciones al momento de la medición y deben ser reproducidas o incorporadas en el informe final previo análisis del responsable del estudio de consultoría.

Tabla 1. Parámetros determinados en el muestreo de Gases de Combustión EN SEGUIMIENTO A 5000 KM (03/03/2011)

	Porcentaje de Oxígeno (% O ₂)	Concentración de Monóxido de Carbono (ppm CO)	Concentración de Óxido Nítrico (ppm NO)	Concentración de Dióxido de Nitrógeno (ppm NO ₂)	Concentración de Óxidos de Nitrógeno (ppm NO _x)	Concentración de Dióxido de Azufre (ppm SO ₂)	Temperatura media Gases (°C)	Velocidad media Gases (m/s)
Promedios	18,23	293,35	176,34	59,37	234,54	54,65	67,1	6
Máximos	19,75	329	224,56	64,70	287,85	59,36	68,7	6,8

Los resultados del informe son de uso exclusivo del consultor, las recomendaciones y conclusiones citadas, afectan únicamente a las condiciones al momento de la medición y deben ser reproducidos o incorporadas en el informe final previo análisis del responsable del estudio de consultoría.

Tabla 1. Parámetros determinados en el muestreo de Gases de Combustión con ACEITE A 5000 KM (18/03/2011)

	Porcentaje de Oxígeno (% O ₂)	Concentración de Monóxido de Carbono (ppm CO)	Concentración de Óxido Nítrico (ppm NO)	Concentración de Dióxido de Nitrógeno (ppm NO ₂)	Concentración de Óxidos de Nitrógeno (ppm NO _x)	Concentración de Dióxido de Azufre (ppm SO ₂)	Temperatura media Gases (°C)	Velocidad media Gases (m/s)
Promedios	19,03	392,32	190,11	84,25	273,15	55,06	68,3	5,9
Máximos	21,69	435,01	225,17	95,46	321,74	59,00	69,7	7

Los resultados del informe son de uso exclusivo del consultor, las recomendaciones y conclusiones citadas, afectan únicamente a las condiciones al momento de la medición y deben ser reproducidos o incorporadas en el informe final previo análisis del responsable del estudio de consultoría.

Tabla 1. Parámetros determinados en el muestreo de Gases de Combustión con ACEITE NUEVO (06/04/2011)

	Porcentaje de Oxígeno (% O ₂)	Concentración de Monóxido de Carbono (ppm CO)	Concentración de Óxido Nítrico (ppm NO)	Concentración de Dióxido de Nitrógeno (ppm NO ₂)	Concentración de Óxidos de Nitrógeno (ppm NO _x)	Concentración de Dióxido de Azufre (ppm SO ₂)	Temperatura media Gases (°C)	Velocidad media Gases (m/s)
Promedios	18,90	277,55	165,04	41,50	208,16	42,50	67,9	6,2
Máximos	19,40	306,13	200,20	47,00	249,07	45,90	69	6,8

Los resultados del informe son de uso exclusivo del consultor, las recomendaciones y conclusiones citadas, afectan únicamente a las condiciones al momento de la medición y deben ser reproducidos o incorporadas en el informe final previo análisis del responsable del estudio de consultoría.

Tabla 1. Parámetros determinados en el muestreo de Gases de Combustión con combustible DIESEL (29/04/2011)

	Porcentaje de Oxígeno (% O ₂)	Concentración de Monóxido de Carbono (ppm CO)	Concentración de Óxido Nítrico (ppm NO)	Concentración de Dióxido de Nitrógeno (ppm NO ₂)	Concentración de Óxidos de Nitrógeno (ppm NO _x)	Concentración de Dióxido de Azufre (ppm SO ₂)	Temperatura media Gases (°C)	Velocidad media Gases (m/s)
Promedios	18,33	216,60	188,28	46,03	234,38	12,52	61,7	5,8
Máximos	20,45	233,00	197,00	49,50	243,00	20,00	69,2	6,9

Los resultados del informe son de uso exclusivo del consultor, las recomendaciones y conclusiones citadas, afectan únicamente a las condiciones al momento de la medición y deben ser reproducidos o incorporadas en el informe final previo análisis del responsable del estudio de consultoría.

Tabla 1. Parámetros determinados en el muestreo de Gases de Combustión con combustible DIESEL 1 (03/05/2011)

	Porcentaje de Oxígeno (% O ₂)	Concentración de Monóxido de Carbono (ppm CO)	Concentración de Óxido Nítrico (ppm NO)	Concentración de Dióxido de Nitrógeno (ppm NO ₂)	Concentración de Óxidos de Nitrógeno (ppm NO _x)	Concentración de Dióxido de Azufre (ppm SO ₂)	Temperatura media Gases (°C)	Velocidad media Gases (m/s)
Promedios	17,83	298,30	172,43	54,28	226,71	74,50	65,4	5,6
Máximos	20,10	330,00	185,00	59,70	244,00	79,00	66,2	7,2

Los resultados del informe son de uso exclusivo del consultor, las recomendaciones y conclusiones citadas, afectan únicamente a las condiciones al momento de la medición y deben ser reproducidos o incorporadas en el informe final previo análisis del responsable del estudio de consultoría.

Tabla 1. Parámetros determinados en el muestreo de Gases de Combustión con combustible DIESEL SIN ADITIVO (03/05/2011)

	Porcentaje de Oxígeno (% O ₂)	Concentración de Monóxido de Carbono (ppm CO)	Concentración de Óxido Nítrico (ppm NO)	Concentración de Dióxido de Nitrógeno (ppm NO ₂)	Concentración de Óxidos de Nitrógeno (ppm NO _x)	Concentración de Dióxido de Azufre (ppm SO ₂)	Temperatura media Gases (°C)	Velocidad media Gases (m/s)
Promedios	18,26	285,05	163,55	49,73	213,22	25,53	65,4	5,4
Máximos	20,82	318,00	170,00	57,60	225,00	45,00	70,4	7

Los resultados del informe son de uso exclusivo del consultor, las recomendaciones y conclusiones citadas, afectan únicamente a las condiciones al momento de la medición y deben ser reproducidos o incorporadas en el informe final previo análisis del responsable del estudio de consultoría.

Tabla 1. Parámetros determinados en el muestreo de Gases de Combustión con combustible DIESEL PREMIUM (03/05/2011)

	Porcentaje de Oxígeno (% O ₂)	Concentración de Monóxido de Carbono (ppm CO)	Concentración de Óxido Nítrico (ppm NO)	Concentración de Dióxido de Nitrógeno (ppm NO ₂)	Concentración de Óxidos de Nitrógeno (ppm NO _x)	Concentración de Dióxido de Azufre (ppm SO ₂)	Temperatura media Gases (°C)	Velocidad media Gases (m/s)
Promedios	17,90	255,00	167,00	50,50	172,50	55,50	65	5,8
Máximos	19,45	305,00	174,00	51,40	224,00	60,00	65,8	7

Los resultados del informe son de uso exclusivo del consultor, las recomendaciones y conclusiones citadas, afectan únicamente a las condiciones al momento de la medición y deben ser reproducidos o incorporadas en el informe final previo análisis del responsable del estudio de consultoría.

Tabla 1. Parámetros determinados en el muestreo de Gases de Combustión con MOTOR A TEMPERATURA IDEAL DE FUNCIONAMIENTO (10/05/2011)

	Porcentaje de Oxígeno (% O ₂)	Concentración de Monóxido de Carbono (ppm CO)	Concentración de Óxido Nítrico (ppm NO)	Concentración de Dióxido de Nitrógeno (ppm NO ₂)	Concentración de Óxidos de Nitrógeno (ppm NO _x)	Concentración de Dióxido de Azufre (ppm SO ₂)	Temperatura media Gases (°C)	Velocidad media Gases (m/s)
Promedios	17,94	479,00	176,30	52,00	228,00	45,00	67,1	5,5
Máximos	19,85	634,00	240,00	64,00	305,00	51,00	69	6,8

Los resultados del informe son de uso exclusivo del consultor, las recomendaciones y conclusiones citadas, afectan únicamente a las condiciones al momento de la medición y deben ser reproducidos o incorporados en el informe final previo análisis del responsable del estudio de consultoría.

Tabla 1. Parámetros determinados en el muestreo de Gases de Combustión con MOTOR FRIO (15/02/2011)

	Porcentaje de Oxígeno (% O ₂)	Concentración de Monóxido de Carbono (ppm CO)	Concentración de Óxido Nítrico (ppm NO)	Concentración de Dióxido de Nitrógeno (ppm NO ₂)	Concentración de Óxidos de Nitrógeno (ppm NO _x)	Concentración de Dióxido de Azufre (ppm SO ₂)	Temperatura media Gases (°C)	Velocidad media Gases (m/s)
Promedios	17,50	542,04	157,95	63,50	221,47	24,50	63,1	6
Máximos	18,80	750,18	225,35	72,45	298,36	46,00	64,8	7,1

Los resultados del informe son de uso exclusivo del consultor, las recomendaciones y conclusiones citadas, afectan únicamente a las condiciones al momento de la medición y deben ser reproducidos o incorporadas en el informe final previo análisis del responsable del estudio de consultoría.

Tabla 1. Parámetros determinados en el muestreo de Gases de Combustión con combustible DIESEL SIN ADITIVO (03/06/2011)

	Porcentaje de Oxígeno (% O ₂)	Concentración de Monóxido de Carbono (ppm CO)	Concentración de Óxido Nítrico (ppm NO)	Concentración de Dióxido de Nitrógeno (ppm NO ₂)	Concentración de Óxidos de Nitrógeno (ppm NO _x)	Concentración de Dióxido de Azufre (ppm SO ₂)	Temperatura media Gases (°C)	Velocidad media Gases (m/s)
Promedios	18,26	284,05	163,55	49,73	213,22	25,53	65,4	5,4
Máximos	20,82	318,00	170,00	57,6	225,00	45,00	60,4	7

Los resultados del informe son de uso exclusivo del consultor, las recomendaciones y conclusiones citadas, afectan únicamente a las condiciones al momento de la medición y deben ser reproducidos o incorporadas en el informe final previo análisis del responsable del estudio de consultoría.

Tabla 1. Parámetros determinados en el muestreo de Gases de Combustión con combustible DIESEL A NIVEL DEL MAR (22/06/2011)

	Porcentaje de Oxígeno (% O ₂)	Concentración de Monóxido de Carbono (ppm CO)	Concentración de Óxido Nítrico (ppm NO)	Concentración de Dióxido de Nitrógeno (ppm NO ₂)	Concentración de Óxidos de Nitrógeno (ppm NO _x)	Concentración de Dióxido de Azufre (ppm SO ₂)	Temperatura media Gases (°C)	Velocidad media Gases (m/s)
Promedios	18,33	227,24	174,59	64,9	240,00	18,00	72,3	6,3
Máximos	20,45	229,09	168	79,7	248,02	19,00	74,9	7,2

Los resultados del informe son de uso exclusivo del consultor, las recomendaciones y conclusiones citadas, afectan únicamente a las condiciones al momento de la medición y deben ser reproducidos o incorporadas en el informe final previo análisis del responsable del estudio de consultoría.