

ESTIMACIÓN DE LA EMISIÓN DE CONTAMINANTES POR MOTOCICLETAS EN EL VALLE DE ABURRA

ESTIMATION OF THE EMISSION POLLUTING AGENTS BY MOTORCYCLES IN THE ABURRA VALLEY

WILLIAM ALONSO GIRALDO ARISTIZABAL

Profesor Asistente, Magíster en Ingeniería, Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, wagiraldo@elpoli.edu.co

MARIA VICTORIA TORO GÓMEZ

Directora Posgrados Ciencias del Ambiente, Universidad Pontificia Bolivariana, victoria.toro@upb.edu.co

Recibido para revisar Octubre 10 de 2007, aceptado Marzo 02 de 2008, versión final Abril 04 de 2008

RESUMEN: La motocicleta es considerada una fuente móvil generadora de gases contaminantes, dentro de los cuales se encuentran, los hidrocarburos y el monóxido de carbono que son liberados a la atmósfera. En Colombia se ha registrado en los últimos años un alto incremento en el uso de este tipo de vehículos aumentando por ende las emisiones, lo que ha contribuido con el deterioro de la calidad del aire, con mayor efecto en el Valle de Aburrá, por sus características topográficas. Por otro lado la regulación ambiental es reciente y todavía no se aplica con todo rigor. Consecuentemente y teniendo como referencia la literatura internacional y las mediciones en ralentí o marcha mínima, realizadas por el Área Metropolitana, entre enero y marzo de 2006, se proponen factores de emisión para monóxido de carbono e hidrocarburos para la estimación del impacto ambiental en la ciudad.

PALABRAS CLAVE: Ralentí, monóxido de carbono, hidrocarburos, motocicletas, material particulado, concentración, contaminantes, factor de emisión, ciclo mundial de conducción.

ABSTRACT: The motorcycle is considered a generating movable polluting gas source like the volatile organic compounds and the carbon monoxide that are released to the atmosphere. In Colombia they have registered in the last years a high increase in the use of this type of vehicles having increased therefore the emissions, which has contributed with the deterioration of the quality of the air of the Valley of Aburrá. In the other hand environmental regulation is recent and has not applied rigorously yet. Consequently and having like reference international literature and the measurements in slow motion or minimum march, made by the Metropolitan Area, between January and March of 2006, factors of emission for carbon monoxide and hydrocarbons for the estimation of the impact in the city.

KEYWORDS: Idle, carbon monoxide, hydrocarbons, motorcycles, particle matter, concentration, polluting agent, emission factor, world-wide cycle of conduction.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha presentado un incremento en la utilización de motocicletas como medio de transporte que son aprovechadas incluso, en algunas zonas del país, como transporte de servicio público.

Este aumento se debe a razones como la facilidad de adquisición (bajo interés y amplios plazos de pago), bajo costo de mantenimiento, bajo consumo de combustible y a la agilidad en el desplazamiento que hay en las ciudades Colombianas cada día mas llenas de automóviles e impedimentos en las vías públicas.

La legislación en Colombia respecto a la emisión de contaminantes en fuentes móviles es relativamente nueva y en especial para las motocicletas; adicionalmente los propietarios de estas, desconocen o pasan por alto las condiciones mínimas necesarias para el mantenimiento recomendado por los fabricantes, lo que hace común ver en las vías algunas motos que generan gran cantidad de gases en la combustión, caso específico en las motocicletas de dos tiempos.

Países Latinoamericanos como México, Chile, Bolivia y República Dominicana tienen reglamentación para la emisión de contaminantes por motocicletas desde hace varios años, mientras que en Colombia y en especial en el Valle de Aburrá donde se presentan condiciones ambientales adversas debido a su ubicación, calidad de combustible y a condiciones geográficas se empieza a regular finalizando el año 2007.

En el trabajo se realiza una revisión sobre estudios en otros países y se aplica un método para la determinación de los factores de emisión para el Valle de Aburrá. Adicionalmente, se realiza un análisis para determinar la carga contaminante para CO y HC.

2. METODOLOGÍA

En la estimación de los factores de emisión se recopiló información sobre las variables que son relevantes para el estudio, dentro de las cuales se destacan, el tipo de motor, modelo, kilometraje recorrido y contaminante medido. Las pruebas de emisión se realizaron para dos estados de las fuentes.

- Estado 1. Prueba en condiciones iniciales (como llegaban al taller).
- Estado 2. Prueba luego de calibrar o sincronizar el motor.

El número de evaluaciones en el Estado 1 es mayor, debido a que algunas motocicletas no requerían sincronización o los propietarios no disponían de recursos económicos para realizarla.

La revisión de otros estudios muestran que se usan las mediciones dinámicas como las pruebas más precisas para calcular los factores de emisión, como este monitoreo no es posible realizarlo debido a que no se cuenta con el equipo requerido, se aplica el método de monitoreo de gases en estado estacionario o en ralentí, con las pruebas del análisis de combustión de las motocicletas se realiza el balance estequiométrico, de masas y se calculan los factores de emisión.

Posteriormente se estiman las emisiones teóricas de monóxido de carbono e hidrocarburos provenientes de las motocicletas en los principales cruces y avenidas en el Valle de Aburrá en los puntos donde se tiene información de aforos vehiculares.

Se realiza un análisis de la información y la comparación con las normas de emisión en ralentí para Colombia y otros países.

Al final se proponen los factores de emisión para contaminantes como monóxido de carbono e hidrocarburos en las motocicletas para el Valle de Aburrá, se presenta el resultado de la carga contaminante producida por este tipo de transporte y algunas alternativas generales para la disminución de la contaminación en estos vehículos.

3. RESULTADOS

3.1 INVENTARIO DE MOTOCICLETAS

La recopilación de la información se realizó en las secretarías de transporte y tránsito de los Municipios del Valle de Aburrá en las que se tienen reportadas a 31 de diciembre de 2005 cerca de 87041 motocicletas con una variación anual mostrada en la tabla 1. Los datos reflejan que el municipio de Envigado es el de mayor cantidad de registros seguido por Itagüí y Medellín. La variación anual de motocicletas que se visualiza en Gráfico 1 muestra el comportamiento que ha tenido en los últimos 15 años. Según esta información se ve que entre 1994 y 1995 se presentó un incremento de casi un 50% de la cantidad de motos, tal vez activado

por la apertura económica, fenómeno que se repite 10 años después entre el 2004 y 2005 donde igual, el volumen de motos se duplica por la oferta del mercado y la situación del país.

Para el 2006 se esperaba que se matricularan aproximadamente 23.000 nuevas motocicletas, es decir, que finalizando ese año se podría presumir que en la región circularán alrededor de 130.000 vehículos de esta clase, llegando a ser cerca del 30% del parque automotor en el Valle de Aburrá.

Tabla 1. Motocicletas por Municipio
Table 1. Motorcycles by Municipality

Año	MUNICIPIO							Total
	Cal	Cop	Itag	Env	Gir	Med	Sab	
90	1	2	347	752	0	488	17	1607
91	0	3	704	94	0	1114	4	1919
92	1	2	217	494	0	1801	25	2540
93	4	3	360	513	0	2931	40	3815
94	3	2	1013	2251	0	2443	47	5759
95	15	7	1218	2652	3	6127	78	10100
96	7	10	1739	5068	0	2401	95	9320
97	7	7	747	5070	1	560	105	6497
98	7	21	676	5708	3	803	151	7369
99	8	8	1578	1968	1	397	146	4106
00	2	7	1644	704	1	321	204	2883
01	10	10	1336	370	0	185	429	2340
02	25	15	540	332	2	146	1397	2457
03	195	6	256	1325	5	317	2366	4470
04	114	3	557	4112	8	278	2332	7404
05	243	0	418	8802	13	380	4563	14419
Tot	642	106	13350	40215	37	20692	11999	87041

NOTA: 1.- Itagüí reporta aproximadamente el 50% de las motocicletas matriculadas, por falta de sistematización del total de los datos
2.- Barbosa, Bello y La Estrella no reportaron información

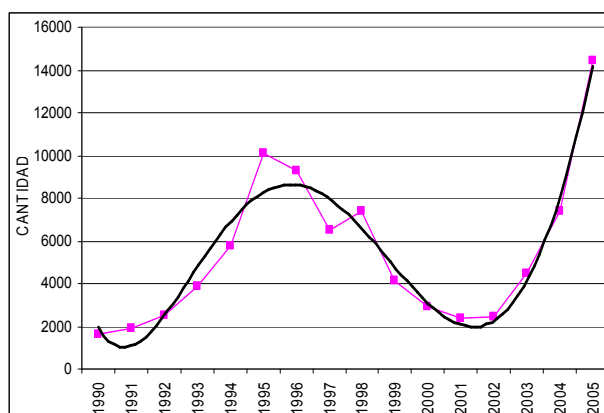


Figura 1. Motocicletas matriculadas por año
Figure 1. Motorcycles registered per year

3.2 MONITOREO DE GASES

- Para determinar un factor de emisión de las motocicletas se aplica la metodología en la cual se calculan las emisiones a partir de balances de masa. Para esto se dispuso de datos de mediciones de gases que emiten las motos en estado de ralentí, realizados por el Area Metropolitana del Valle de Aburrá a 515 motocicletas de las cuatro marcas más representativas del mercado local.

Las especificaciones del equipo utilizado para la realización de las pruebas de emisión en las motocicletas son las presentadas en la Tabla 2, donde se detallan los límites de detección inferior y superior para los contaminantes. El equipo y el procedimiento de toma de muestras están acorde a lo contemplado en las normas NTC 4983 y 5365

Tabla 2. Equipo de medición
Table 2. Measurement equipment

DESCRIPCIÓN	
Modelo del analizador	B40-5030-10
Marca del analizador	BEAR
Limite inferior de detección de HC (ppm)	0
Limite inferior de detección de CO (%)	0
Limite inferior de detección de CO ₂ (%)	0
Limite superior de detección de HC (ppm)	20000
Limite superior de detección de CO (%)	10
Limite superior de detección de CO ₂ (%)	20
Fecha última calibración	Se calibra para medición
Hora última calibración	Se calibra para medición

Las evaluaciones de emisión en las motocicletas se realizaron para varios cilindrajes, con el fin de tener una muestra que obedezca a la distribución del parque de motocicletas existente.

La Tabla 3 detalla la cantidad de motocicletas monitoreadas, cilindraje y el porcentaje de participación en la muestra, donde se muestra que las de mayor participación fueron las de

cilindraje 100 cc (54% en dos tiempos y 41% en cuatro tiempos).

En el análisis de la información recopilada, los registros son depurados y clasificados por el tipo de motor (dos o cuatro tiempos).

Los valores de las concentraciones máximas, mínimas y promedios de los contaminantes evaluados en las motocicletas se observan en la Tabla 4. La mediciones de los gases en el estado 1 (estado inicial de la moto) muestra que emiten en promedio 8909 ppm de hidrocarburos, 3,26 % de monóxido de carbono 3,18% de dióxido de carbono y 11,95% de oxígeno, para motores de 2 tiempos. Cuando se realiza la calibración de este motor las emisiones de hidrocarburos disminuyen 4% y para el monóxido de carbono 0,4%. Las concentraciones de los otros gases tienden a aumentar levemente.

Tabla 3. Motocicletas evaluadas
Table 3. Evaluated motorcycles

cc	2 TIEMPOS				4 TIEMPOS			
	ESTADO 1		ESTADO 2		ESTADO 1		ESTADO 2	
	Datos	%	Datos	%	Datos	%	Datos	%
60	2	0,8	2	0,9	-	-	-	-
70	-	-	-	-	2	0,7	2	0,8
80	22	9,1	18	8,4	1	0,4	1	0,4
90	1	0,4	1	0,5	6	2,2	6	2,4
100	131	54,4	114	53,3	112	40,9	102	41,0
110	2	0,8	2	0,9	13	4,7	12	4,8
115	28	11,6	27	12,6	12	4,4	10	4,0
125	26	10,8	24	11,2	46	16,8	37	14,9
150	17	7,1	16	7,5	5	1,8	5	2,0
160	-	-	-	-	24	8,8	22	8,8
175	3	1,2	3	1,4	-	-	-	-
180	-	-	-	-	37	13,5	38	15,3
185	9	3,7	7	3,3	2	0,7	2	0,8
200	-	-	-	-	4	1,5	4	1,6
225	-	-	-	-	5	1,8	5	2,0
250	-	-	-	-	2	0,7	2	0,8
350	-	-	-	-	1	0,4	-	-
500	-	-	-	-	1	0,4	1	0,4
650	-	-	-	-	1	0,4	-	-
	241	100	214	100	274	100	249	100

En el caso de las motos de 4 tiempos, las emisiones igual disminuyen para hidrocarburos y monóxido de carbono en 18% y 1% respectivamente y para los otros gases mantienen valores similares.

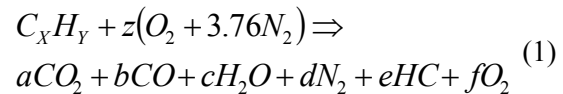
Tabla 4. Caracterización de los contaminantes

Table 4. Characterization of the polluting agents

TIPO	VALOR	HC (ppm)	CO (%)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)
ESTADO 1 2 tiempos	Mínimo	349	0,17	0,54	4,17
	Máximo	18986	6,65	8,45	20,18
	Promedio	8909	3,26	3,18	11,95
	Pruebas	241			
ESTADO 2 2 tiempos	Mínimo	320	0,14	0,63	3,47
	Máximo	19479	5,24	11,92	20,17
	Promedio	8532	3,20	3,23	12,06
	Pruebas	214			
ESTADO 1 4 tiempos	Mínimo	35	0,21	3,13	1,69
	Máximo	7149	9,61	11,95	11,62
	Promedio	841	3,84	7,41	5,56
	Pruebas	274			
ESTADO 2 4 tiempos	Mínimo	71	0,13	3,13	1,92
	Máximo	9024	8,12	11,50	12,76
	Promedio	685	2,78	8,32	5,50
	Pruebas	249			

3.3 CÁLCULO DE FACTORES DE EMISIÓN TEÓRICOS

La determinación del factor de emisión (FE) requiere de la aplicación de un balance estequiométrico para estimar el flujo másico de los gases (CO e HC) aplicados a la ecuación general de combustión (Ec.1). Para este método se requiere de la densidad de la gasolina (CREG, 2006) y el consumo teórico de combustible. Esta información fue consultada en las especificaciones de los fabricantes de motocicletas (Ver Tabla 5).



Los resultados consignados en la Tabla 6 muestran los valores promedios de los factores de emisión obtenidos para motocicletas en gramos por kilómetro recorrido, en donde se observa que las motocicletas de dos tiempos emiten en promedio 19,67 gramos de CO y 2,55 gramos de HC por kilómetro recorrido, por otro

lado, las motocicletas de 4 tiempos emiten 10,73 y 0,12 gramos respectivamente. Lo que hace pensar que las motos de 2 tiempos son casi el doble de contaminantes por CO y 21 veces más por HC que las de 4 tiempos.

Tabla 5. Consumos Teóricos de Combustible
Table 5. Theoretical Fuel consumptions

MARCA	CILIND. (cc)	MOTOR (tiempos)	CONSUMO TEÓRICO (km/gal)	
			GASOLINA	ACEITE
Honda	90	4	170	-
Honda	100	4	170 – 190	-
Honda	125	4	140	-
Honda	160	4	150	-
Honda	200	4	130	-
Kawasaki	125	4	160	-
Auteco	100	4	130	-
Suzuki	100	2	120	3400
Suzuki	125	2	110	3200
Suzuki	185	2	110	4000
Suzuki	100	4	120	-
Suzuki	115	4	120	-
Suzuki	125	4	140	-
Suzuki	200	4	120	-
Suzuki	500	4	92	-

FUENTES: 1. AUTOTÉCNICA COLOMBIANA S.A. Motocicletas. [En línea]. Bogotá: El autor, 2006. <www.auteco.com.co> [Consulta: 13 de mayo de 2006].
2. COLOMBIA FANALCA S.A. Motocicletas. [En línea]. Santiago de Cali: El autor, 2006. <www.honda.com.co> [Consulta: 13 de mayo de 2006].
3. SUZUKI MOTOR DE COLOMBIA S.A. Motocicletas. [En línea]. Pereira: El autor, 2006. <www.suzuki.com.co> [Consulta: 13 de mayo de 2006].

Tabla 6. Factores de emisión promedios
Table 6. Emission factors averages

TIPO DE MOTOCICLETA									
(g/km)	2 tiempos				4 tiempos				
	ESTADO 1		ESTADO 2		ESTADO 1		ESTADO 2		
	FE	DS	FE	DS	FE	DS	FE	DS	
CO	19,84	4,32	19,49	4,86	12,40	6,87	8,85	5,14	
HC	2,61	1,10	2,48	1,02	0,14	0,14	0,10	0,07	
(g/km)	PROMEDIO ESTADO 1 Y 2				PROMEDIO ESTADO 1 Y 2				
	FE		DS		FE		DS		
	CO	19,67		4,58		10,73		6,36	
HC	2,55		1,07		0,12		0,12		
(g/km)	PROMEDIO TODAS LAS PRUEBAS								
	FE				DS				
	CO	14,73				7,18			
HC	1,21				1,40				

3.4 COMPARACIÓN CON NORMAS EN RALENTÍ

Colombia y algunos países orientales usan normas de emisión basadas en las mediciones en ralentí para diferentes tipos de motocicletas. Estos valores son comparados con los resultados obtenidos en las mediciones de los gases mencionados en el numeral 2.2 obtenido como resultado los Gráficos 2, 3, 4, y 5 donde se visualizan las comparaciones de las mediciones del CO para las motocicletas de dos y cuatro tiempos en los Estados 1 (sin calibración del motor) y 2 (con calibración). En estos gráficos el eje de las abscisas corresponde a tres valores de normas de emisión típicos a nivel internacional (Association for Emissions Control by Catalyst, 2006) y el eje de las ordenadas, indica el porcentaje de las motocicletas que cumplen o no, con cada uno de los límites de emisión.

De las graficas 2 y 3 se puede concluir que el 95% de las motos a dos tiempos no cumplen con la norma de 1,5% para CO, (Norma en Beijing y Taiwán) ni la de 2,5% (Norma suiza), ya que lo sobrepasan la mayoría de las motocicletas, por el contrario el 97% de los vehículos cumplirían con la norma de 4,5% (Norma de la Unión Europea, China Nacional, Japón y Colombia)

En el caso de las motos a 4 tiempos la calibración del motor sí reduce la emisión de CO, pasando de un 58 a un 81% de cumplimiento en el caso de la norma de 4,5% (Norma en Colombia).

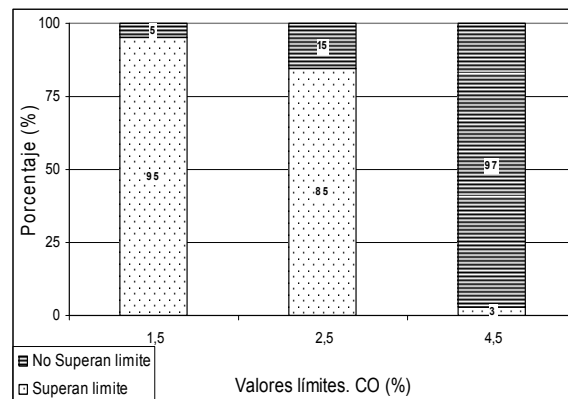


Figura 2. Motocicletas 2 tiempos Estado 1
Figure 2. Motorcycle 2 stroke Test 1

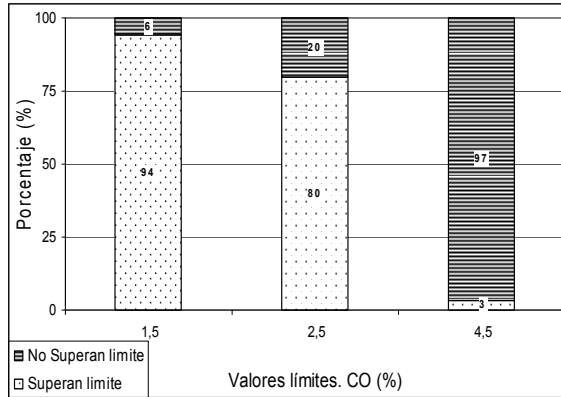


Figura 3. Motocicletas 2 tiempos Estado 2
Figure 3. Motorcycles 2 stroke Test 2

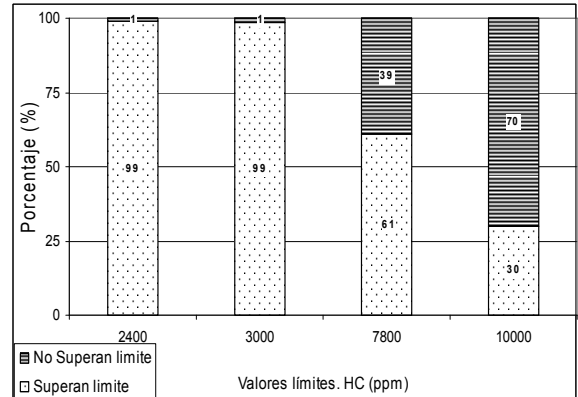


Figura 6. Motocicletas 2 tiempos Estado 1
Figure 6. Motorcycles 2 stroke Test 1

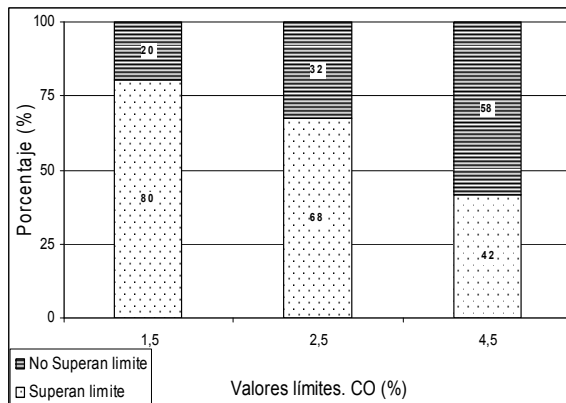


Figura 4. Motocicletas 4 tiempos Estado 1
Figure 4. Motorcycles 4 stroke Test 1

En el caso de las motos de dos tiempos se observa que igual que con el CO las emisiones sin calibrar (estado 1) y con afinación del motor (estado 2) prácticamente no cumplen con la norma de 2400 y 3000 (Normas de China y Taiwán). Solo cumplen con el valor de 10000 ppm de HC de la norma Tailandia y Colombiana.

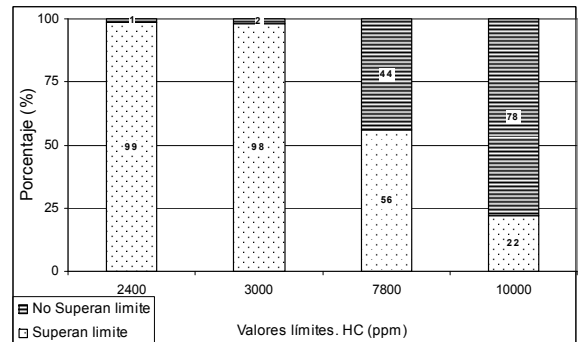


Figura 7. Motocicletas 2 tiempos Estado 2
Figure 7. Motorcycles 2 stroke Test 2

De forma similar, en los Gráficos 6, 7, 8 y 9 se presentan las comparaciones de las mediciones de los HC con distintos valores de emisión a nivel internacional y especifica el porcentaje de cumplimiento para cada valor.

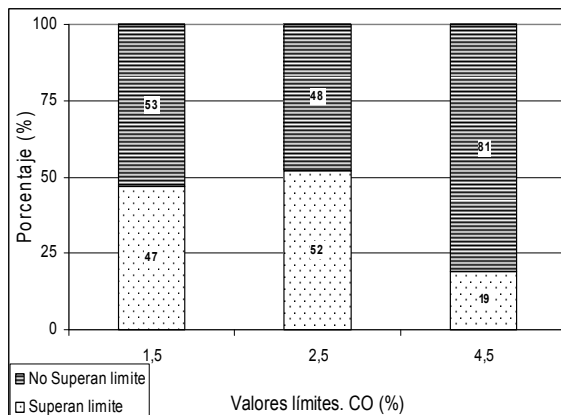


Figura 5. Motocicletas de 4 tiempos Estado 2
Figure 5. Motorcycles 4 stroke Test 2

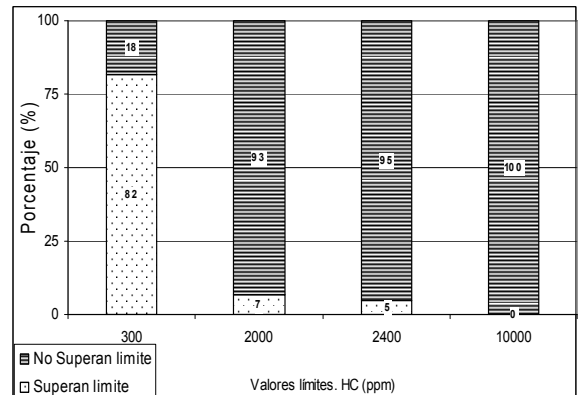


Figura 8. Motocicletas de 4 tiempos Estado 1
Figure 8. Motorcycles 4 stroke Test 1

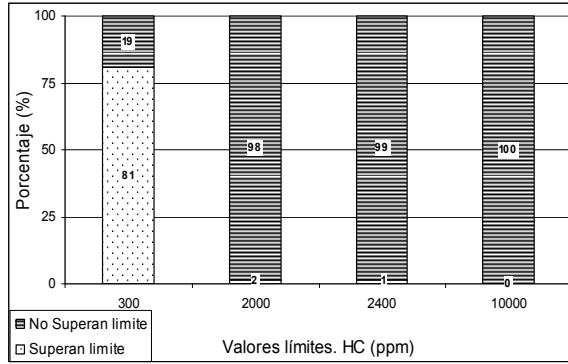


Figura 9, Motocicletas de 4 tiempos Estado 2
Figure 9. Motorcycles 4 stroke Test 2

Las motos de 4 tiempos no muestran mejoría con la sincronización del motor pero de todas maneras cumplen con la norma de 2000 ppm de HC en adelante.

3.5 PROPUESTA DE NORMA DE EMISIÓN EN RALENTÍ

Para proponer valores de CO e HC como norma de emisión en motocicletas en ralentí, es necesario realizar unos análisis estadísticos de los resultados obtenidos.

Tabla 7. Análisis estadístico. 2 Tiempos
Table 7. Statistical analysis. 2 stroke

Motocicletas 2 Tiempos	Estado 1		Estado 2	
	HC (ppm)	CO (%)	HC (ppm)	CO (%)
Valor promedio	8993	3,22	8609	3,21
Pruebas	209	209	209	209
Desviación Estándar	3080	0,90	3281	0,92
Intervalo Confianza	8576 - 9411	3,10 - 3,34	8164 - 9054	3,08 - 3,33

Cuando se realizan dos evaluaciones en diferentes condiciones para un mismo sujeto, la literatura sugiere, sean analizadas por intervalos de confianza para observaciones pareadas, por lo cual solo se tomarían los datos de las motocicletas en las cuales se realizaron las pruebas en ambos estados. En las Tablas 7 y 8 se presentan los resultados obtenidos y se determina el intervalo de confianza, el cual es un rango de valores donde se encuentra el verdadero valor del parámetro, con una probabilidad

determinada. La probabilidad que el verdadero valor del parámetro se encuentre en el intervalo construido se denomina nivel de confianza y la probabilidad de error se llama nivel de significancia, generalmente los intervalos de confianza son calculados con un nivel de significancia del cinco por ciento, o sea con un nivel de confianza del 95%.

Tabla 8. Análisis estadístico. 4 Tiempos
Table 8. Statistical analysis. 4 stroke

Motocicletas 4 Tiempos	Estado 1		Estado 2	
	HC (ppm)	CO (%)	HC (ppm)	CO (%)
Promedio	844	3,80	681	2,81
Pruebas	243	243	243	243
Desviación Estándar	983	2,20	819	1,76
Intervalo Confianza	720 - 968	3,52 - 4,08	578 - 784	2,59 - 3,03

Tabla 9. Alternativas de norma en ralentí
Table 9. Alternatives of norm idle

Dos Tiempos				
	HC (ppm)	CO (%)	HC (ppm)	CO (%)
Promedio	8609	3,21	8609	3,21
Desv. Estándar	3281	0,92	3281	0,92
Propuestos	8600	3,2	9000	3,3
Probab. (%)	50		55	
Cuatro Tiempos				
	HC (ppm)	CO (%)	HC (ppm)	CO (%)
Promedio	681	2,81	681	2,81
Desv. Estándar	819	1,76	819	1,76
Propuestos	680	2,8	780	3,0
Probab. (%)	50		55	

En la Tabla 9 se presentan dos alternativas de norma de emisión para los contaminantes de motocicletas en ralentí. Dichos valores son determinados del segmento inferior de las Tablas 7 y 8 donde se tienen en cuenta todas las motocicletas en el Estado dos, o sea posterior a la afinación. Los valores propuestos son estimados con un nivel de confianza del 95%, donde la primera alternativa tiene la probabilidad que el 50% de las motocicletas cumplan con este límite luego de la afinación. Los otros valores determinados, tienen una probabilidad de

cumplimiento del 55%. No quiere decir esto que ciertas motocicletas no puedan cumplir los valores propuestos, porque la afinación realizada en algunas máquinas requerían de cambios de insumos o piezas que los propietarios no tenían la posibilidad económica de cambiarlas en ese momento, dejando las motocicletas en su mejor punto de funcionamiento bajo esas condiciones.

3.6 DETERMINACIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE

Como interés de la aplicación del factor de emisión propuesto se estima la carga contaminante de CO y los HC emanados por las motocicletas suponiendo además que el porcentaje de participación en las pruebas de emisión de gases de los tipos de motores se extiende al total del parque vehicular. La información recopilada estima que en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá se encuentran circulando 130.000 motocicletas y el porcentaje de participación de las pruebas es 45% para las dos tiempos y 55% las de cuatro tiempos, se supone además que las motocicletas circulan aproximadamente a 35 km/día. La Tabla 10 muestra los valores de la carga contaminantes en ambos estados (1 y 2) y calcula la carga para las alternativas de normas propuestas. De ella se observa que las motos de dos tiempos emitirían al aire un total de 45,9 y las de 4 tiempos 31,3 toneladas por día de contaminantes. Cuando se realiza la afinación las emisiones disminuyen en un 14 y 22 % respectivamente.

Tabla 10. Carga contaminante
Table 10. Polluting load

	CO (Ton/día)		HC (Ton/día)	
2 Tiempos	Estado 1	40,63	Estado 1	5,34
	Estado 2	39,90	Estado 2	5,08
4 Tiempos	Estado 1	31,02	Estado 1	0,348
	Estado 2	22,14	Estado 2	0,260

4. CONCLUSIONES

Es preocupante la situación de la tendencia acelerada al crecimiento del parque automotor

debido a las motocicletas y sean pocas las herramientas para controlar la contaminación que están generando.

Las concentraciones promedio de HC de las motocicletas de dos tiempos son diez veces mayores que las de cuatro tiempos, para los dos Estados evaluados.

Los valores promedio de las concentraciones en el Estado 2 se reducen un 18,5% en los HC y 27,6% en el CO para las motocicletas de cuatro tiempos, mientras que en las de dos tiempos dichos valores se reducen en 4,2% y 1,8% respectivamente.

Las 71.500 motocicletas de cuatro tiempo que circulaban en el Area Metropolitana del Valle de Aburra, con recorridos promedios de 35 km/día emiten a la atmósfera 31,02 Ton/día de CO y 0,348 Ton/día de HC, antes de las pruebas (Estado 1), para el Estado 2 se bajan a 22,14 y 0,260 Ton/día respectivamente, lo cual representan reducciones del 28,6 y 25,3%. Si la norma fuera de 2,8% para CO y 680 ppm para HC y efectivamente a todas las motocicletas que superan estos límites se pudieran bajar como mínimo hasta estos valores propuestos, emitirían 21,90 Ton/día de CO y 0,233 Ton/día de HC, teniendo reducciones de 29,4 y 33,0% respectivamente.

Según los autores consultados las investigaciones referentes a cuantificación de emisiones de contaminantes es preferible realizarlos bajo la modalidad de pruebas dinámicas, que es el estado más común en las motocicletas. Las pruebas en ralentí son la primera aproximación para saber el estado del arte de este tipo de transporte.

Los factores de emisión propuestos se encuentran enmarcados dentro del rango de valores determinados en las pruebas e investigaciones realizadas por varios autores consultados.

Las motocicletas a las cuales se les realizaba la sincronización presentaban en términos generales concentraciones más bajas de ambos contaminantes.

Cuando se realizan estudios de este tipo, es de utilidad determinar las motocicletas dotadas con catalizadores y verificar el estado en que se encontraban para analizarlas por separado

Los factores de emisión propuestos son calculados con base en la caracterización de contaminantes en ralentí y con información teórica, para que estos valores tengan mayor representatividad es conveniente realizar las pruebas de emisión con las motocicletas en movimiento (pruebas dinámicas), para lo cual lo conveniente es adoptar el ciclo mundial de conducción propuesto internacionalmente para el año 2006.

Este estudio debe mirarse como un comienzo para considerar las motocicletas como emisoras de contaminantes a la atmósfera y se pueden investigar la generación de otros contaminantes como material particulado, óxidos de azufre, de nitrógeno, etc.

Es de esperar que toda la información recopilada y los análisis realizados sirvan de apoyo o la base para establecer normas locales o nacionales de emisión de contaminación para motocicletas.

5. RECOMENDACIONES

En otros países se han propuesto alternativas para controlar las emisiones de contaminantes como la oxigenación de la gasolina, adaptar sistemas de suministro dosificado de aceite en las motocicletas de dos tiempos, uso de catalizadores y uso de sistemas dual de gasolina/electricidad. Sistemas o alternativas que de alguna forma contribuyen a reducir los niveles de concentración de contaminantes en la atmósfera.

Es recomendable hacer efectiva la resolución 2380, en cuanto a la exigencia del certificado de emisión de gases a las motocicletas, para esto se deben realizar campañas a los usuarios del transporte y a las personas y entidades que prestan el servicio de sincronización y/o de la certificación de la emisión.

Sería conveniente realizar en el Valle de Aburrá estudios de esta misma naturaleza donde se pueda involucrar todas las ensambladoras, fabricantes, importadores y representantes de marca, debido a que en estos momentos en el mercado están entrando gran variedad de marcas de motocicletas y pensar en proponer normas de emisión más restrictivas para la región.

REFERENCIAS

[1] ASSOCIATION FOR EMISSIONS CONTROL BY CATALYST. Overview of Global Emission Standards for two- and three-wheeled vehicles. [En línea]. Bruselas: El autor, 2002. <<http://www.aecc.be/>> [Consulta: 24 de mayo de 2006].

[2] CHEN, K.S et al. Motorcycle emissions and fuel consumption in urban and rural driving conditions. En: The science of the total environment. No. 312 (2003); p.113-122.

[3] CHIU, YI-CHANG y TZENG, GWO-HSHIUNG. The market acceptance of electric motorcycle in Taiwan experience through a stated preference analysis. En: Transportation research. Part D, No. 4 (1999); p. 127-146.

[4] CIVILEC Y CIA LTDA. Captura, procesamiento y obtención de resultados de variables de tránsito y aplicación en el sistema específico de administración de la red de semáforos. Medellín: 2005. p. 53. Trabajo de investigación (Secretaría de transportes y tránsito de Medellín. Unidad de circulación).

[5] COLOMBIA FANALCA S.A. Motocicletas. [En línea]. Santiago de Cali: El autor, 2006. <www.honda.com.co> [Consulta: 13 de mayo de 2006].

[6] COLOMBIA, ICONTEC. NTC 4983/05. Calidad del aire. Evaluación de gases de escape de fuentes móviles a gasolina. Método de ensayo en marcha mínima – ralentí – y velocidad crucero y especificaciones para los equipos empleados en esta evaluación.

- [7] ICONTEC. NTC 5365/05. Calidad del aire. Evaluación de gases de escape de motocicletas, motociclos y mototriciclos accionados tanto a gasolina (cuatro tiempos) como con mezcla gasolina aceite (dos tiempos), método de ensayo en marcha mínima (ralentí) y especificaciones para los equipos empleados en esta evaluación.
- [8] COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución número 2380 del 31 de diciembre de 2007. Por la cual se reglamentan los niveles permisibles de emisión de contaminantes que deberán cumplir las motocicletas, motociclos y mototriciclos. Bogotá D.C: El Ministerio, 2007. 2p.
- [9] COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS. Estudio de combustible en Cúcuta. [En línea]. Cúcuta: El autor. 2006. <[www.creg.gov.co /Documentos/estudiocucuta](http://www.creg.gov.co/Documentos/estudiocucuta)> [Consulta: 12 de mayo de 2006].
- [10] DE NEVER, Noel. Ingeniería de control de la contaminación del aire. Ciudad de México. Mc Graw Hill, 1997. P 442 – 470.
- [11] ENCICLOPEDIA LIBRE UNIVERSAL EN ESPAÑOL, Motor de combustión interna alternativo. [En línea]. <[http://enciclopedia.us.es/index.php/Motor_de_ombusti% F F3n_interna_alternativo](http://enciclopedia.us.es/index.php/Motor_de_ombusti%F3n_interna_alternativo)> [Consulta: 12 de mayo de 2006].
- [12] FANG, SHU-HWEY Y CHEN, HSIUNG-WEN. Air quality and pollution control in Taiwan. En: Atmospheric environment. Vol. 30, No. 5 (1996); p. 735-741.
- [13] GARCÍA GÓMEZ, JORGE ALBERTO. Campaña de prevención y control de emisiones contaminantes generadas por motocicletas, matriculadas en Municipios de la jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá Parte I. Medellín: 2006. p. 100. Trabajo de investigación (Área Metropolitana del Valle de Aburrá).
- [14] GIRALDO ARISTIZABAL, WILLIAM ALONSO. Estimación de la emisión de contaminantes por motocicletas en el Valle de Aburrá. Medellín. 101p. Tesis (Maestría). UPB. Escuela de Ingenierías.
- [15] GOBERNACIÓN DE ANTIOQUIA. Anuario Estadístico 2004. [En línea]. Medellín: El autor, 2004. <www.gobant.gov.co/anuario2004/transporte/i-transporte.htm> [Consulta: 16 de abril de 2006].
- [16] HINES, WILLIAM W Y MONGOMERY, DOUGLAS C. Probabilidad y estadística para ingeniería. 2a Ed. Ciudad de México: Compañía Editorial Continental S.A, 1998. 451p.
- [17] MONGOMERY, DOUGLAS C Y RUNGER, GEORGE C. Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería. 1ª. Ed. Ciudad de México: Mc Graw Hill, 1996. 895p.
- [18] OROZCO ARBELAEZ, GIOVANNI. Estadística para ingenieros. Medellín: Universidad Pontificia Bolivariana, 1996. 209p.
- [19] PUJADAS, M. et al. Comparison between experimental and calculated vehicle idle emission factors for Madrid fleet. En: Science of the total environment. No. 334-335 (2004); p. 133-140.
- [20] SUZUKI MOTOR DE COLOMBIA S.A. Motocicletas. [En línea]. Pereira: El autor, 2006. <www.suzuki.com.co> [Consulta: 13 de mayo de 2006].
- [21] TORO GÓMEZ, MARIA VICTORIA et al. Modelo de emisiones atmosféricas en el Valle de Aburrá. Medellín: 2004. p. 40. Trabajo de investigación (Área Metropolitana del Valle de Aburrá). Universidad Pontificia Bolivariana. Grupo de Investigaciones Ambientales.
- [22] WALBRO ENGINE MANAGEMENT LLC. The Regulator.[En línea]. Tucson: El autor, 2004. <<http://www.walbro.com>> [Consulta: 15 de mayo de 2006].