

DISEÑO Y APLICACIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA DETERMINAR CICLOS DE CONDUCCIÓN VEHICULAR EN LA CIUDAD DE PEREIRA

Design and application of methodology to determine vehicular conduction cycles in Pereira city

RESUMEN

El presente trabajo expone la propuesta metodológica y su aplicación, para la construcción de un ciclo de conducción en la ciudad de Pereira, basado en metodologías aplicadas en países como: México, Australia, Francia y Estados Unidos.

Se instrumentó un vehículo particular con el dispositivo quinta rueda desarrollado por el Centro de Investigación en Mecánica Automotriz CIMA del ITESM, el cual entre otras variables permite identificar: velocidad promedio, aceleraciones positiva y tiempos ralenti.

PALABRAS CLAVES: Quinta rueda, Ciclo de conducción.

ABSTRACT

The present work exposes the methodological offer and the application of the same one, for the construction of a cycle of conduction in Pereira city, based on methodologies applied in countries as: Mexico, Australia, France and The United States. A particular vehicle was instrument with the device fifth wheel developed by the Center of Investigation in Mechanics CIMA-ITESM.

KEYWORDS: Fifth wheel, Cycle of conduction

ALVARO H. RESTREPO V.

Ingeniero Mecánico, M. Sc.
Profesor Asistente
Universidad Tecnológica de Pereira
arestrep@utp.edu.co

YAMID A. CARRANZA S.

Ingeniero Mecánico, M. Sc.
Profesor Asistente
Universidad Tecnológica de Pereira
yamid@utp.edu.co

JUAN E. TIBAQUIRA G.

Ingeniero Mecánico, M. Sc.
Profesor Asociado
Universidad Tecnológica de Pereira
juantiba@utp.edu.co

1. INTRODUCCIÓN

Ante las dificultades que atraviesa nuestro país en términos de contaminación por la emisión de gases de las fuentes móviles y, en caso particular, de la ciudad de Pereira, el siguiente proyecto plantea una metodología para la construcción de un ciclo de conducción para la ciudad. Este ciclo permitirá hacer inventarios de emisiones de gases de fuentes móviles en condiciones reales de manejo, evaluar el consumo de combustible, desempeño mecánico y reorganización del tráfico en cuanto a semáforos o rutas de transporte si es el caso, pues dicho ciclo se construye en recorridos que se realizan en la misma ciudad de acuerdo a unos criterios que se explican claramente en este documento.

Pereira, capital del departamento de Risaralda cuenta con una población aproximada de 600000 habitantes en su área metropolitana, está situada en el llamado Triángulo de oro, conformado por Santafé de Bogotá, Medellín y Cali. Con una altura promedio sobre el nivel del mar de 1411 metros, temperatura media de 21°C y una topografía de suaves pendientes. Es una ciudad con actividad económica comercial más que industrial, que actualmente ejecuta el proyecto de renovación centro urbano, el cual comprende un área de 70000 metros cuadrados. Esta renovación urbana incluye proyectos de desarrollo vial como el Megabús (sistema de transporte masivo).

Actualmente, en Pereira el inventario de gases se realiza a través de estaciones fijas ubicadas estratégicamente en diferentes puntos del área de estudio, para el caso de Pereira la encargada de estos inventarios es la CARDER¹. Este tipo de inventarios no permite conocer a ciencia cierta que tipo de fuentes causan la mayor contaminación, dado que estos puntos de medición realizan un análisis global del aire.

En Colombia el análisis de gases para vehículos no se realiza con ciclos de conducción típicos, sino con una prueba que comprende ralenti o marcha mínima, aceleraciones y desaceleraciones con tiempos establecidos para cada etapa [1]. Los vehículos nuevos que ingresen al país deben cumplir con el certificado de emisiones expedido por la casa fabricante. Dicha aprobación deberá contar con la aprobación de la autoridad ambiental competente del país donde se expidió, o de un laboratorio autorizado y reconocido por la EPA, o por la unión europea [2].

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Ya que las fuentes móviles aportan una cantidad importante de contaminantes a la atmósfera, estos deben ser evaluados adecuadamente y una de las formas de hacerlo es utilizando la metodología tradicional, la cual

¹ CARDER: Corporación Autónoma de Risaralda

para determinar las emisiones del parque vehicular combina el uso de factores de emisión, expresado en gramos de contaminante emitido por distancia recorrida, con la estimación de la distancia anual recorrida. Esta metodología se basa en seguir un ciclo de conducción en un banco de pruebas simulando las cargas que se pueden presentar en el recorrido.

Ciclo de conducción

Un ciclo de conducción es un patrón típico de velocidad que siguen los vehículos de una ciudad en el tiempo, bajo diferentes condiciones de circulación de algún lugar específico, y se utiliza para estimar las emisiones contaminantes y consumo de combustible, este se representa en una gráfica de velocidad contra tiempo [3]. Las mediciones de emisiones gaseosas de un vehículo deben realizarse idealmente a lo largo de un ciclo de conducción. Sin embargo esto es muy poco repetitivo debido a la variabilidad de las condiciones de tráfico presentes durante el día en una ciudad, generando así una gráfica diferente en cada recorrido. Por eso para este fin se emplean ciclos de conducción desarrollados internacionalmente. Estos ciclos permiten estandarizar las condiciones de la prueba, además de la repetición de una manera más precisa [4]. Entre los ciclos más utilizados están: el FTP-75(USA), el ciclo Europeo, el IM240 (Japón) y el 505MT.

Importancia de un ciclo de conducción para la ciudad de Pereira

Una vez validado el ciclo de conducción para la ciudad de Pereira este permitirá realizar pruebas en forma dinámica para el análisis de gases generados por el parque automotor con las características propias de la ciudad, pudiendo hallar factores de emisiones para cada tipo de vehículo en forma más exacta y confiable.

Los resultados obtenidos, permitirán conocer cuales de las fuentes móviles vehiculares están emitiendo los niveles de contaminación más altos y si están o no fuera de la normatividad establecida.

La información obtenida de este estudio será de gran interés para las entidades encargadas del control del medio ambiente, permitiendo tomar correctivos si es el caso, para mejorar las condiciones ambientales de la ciudad.

3. PROPUESTA METODOLÓGICA PEREIRA

Para el planteamiento de la metodología se tuvieron en cuenta las condiciones de desarrollo que presenta la ciudad de Pereira día a día y la construcción de la estructura vial para el sistema de transporte masivo (Megabús). La metodología explica claramente los conceptos y pasos fundamentales para la construcción del ciclo de conducción, tales como: instrumentación requerida, selección de vías, logística de la toma de datos y análisis de la información [4]. La figura 1 muestra el cuadro conceptual para la elaboración de la metodología.

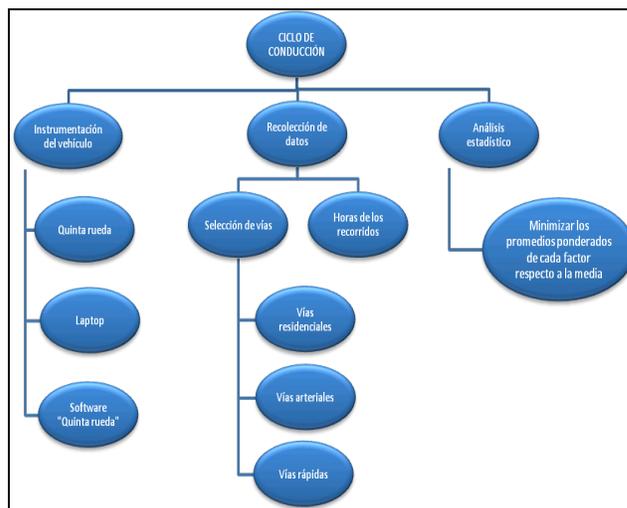


Figura 1. Cuadro conceptual de la metodología

Paso 1: Instrumentación

La escogencia adecuada de la instrumentación jugó un papel muy importante para el desarrollo de la propuesta, la instrumentación se compone del dispositivo “quinta rueda” el cual fue creado y desarrollado por Centro de Investigación en Mecatrónica Automotriz del Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey (CIMA-ITESM) sede en Toluca (México). La quinta rueda, es el instrumento ilustrado en la figura 2, el cual consta de una carcasa de aluminio, un circuito integrado y una base que permite fijar a la rueda del vehículo.

El dispositivo se instala en una rueda trasera del vehículo y se sujeta a los pernos de la misma, asegurándose que el cable de adquisición de datos se encuentre sin obstáculos permitiendo que la quinta rueda gire libremente. El vehículo empleado fue un Mazda Allegro Sedán de 1.3 litros de cilindrada, 4 cilindros y 16 válvulas.



Figura 2. Quinta rueda – Instrumento desarrollado por ITESM – CIMA , Toluca –México

Este dispositivo cuenta con un sensor de velocidad angular o encoder incremental de 512 agujeros con 2 optoacopladores localizados a 90°. Este permite obtener 512 pulsos mientras la rueda gira una vuelta y mide el tiempo en microsegundos (Δt) que transcurren mientras la placa ranurada gira de un agujero a otro. Por tanto la

distancia recorrida (d), la velocidad lineal (V) y la aceleración lineal (a) del vehículo están dadas por las ecuaciones 1, 2 y 3 respectivamente.

$$d = \frac{2\pi R}{512 \times 10^{-6}} \sum_0^n \frac{\Delta\tau_n}{\Delta t_n} \quad (1)$$

$$V_n = \frac{2\pi R}{512 \times 10^{-6} \Delta t_n} \quad (2)$$

$$a = \frac{2\pi R}{512 \times 10^{-6} \Delta\tau_n} \left(\frac{1}{\Delta t_n} - \frac{1}{\Delta t_{n-1}} \right) \quad (3)$$

donde:

R radio dinámico de la rueda (m)

$\Delta\tau$ Tiempo de muestreo (s)

Δt_n Tiempo, dato tomado de quinta rueda.

En la figura 3 se ilustra el conjunto de elementos que conforman la adquisición de datos, a la izquierda se observa la quinta rueda, con su correspondiente cable para la interfase al computador y a la batería de alimentación. La batería alimenta los instrumentos de la configuración electrónica de la quinta rueda, y garantiza que siempre esté en funcionamiento.



Figura 3 Conjunto de elementos que conforman la adquisición de datos

Paso 2: Selección de vías [5]

Para efectuar las mediciones se seleccionaron diferentes sectores de la ciudad y de diferente nivel socio-económico. En cada uno de estos sectores se llevaron a cabo mediciones en tres tipos de vías:

- *Vías residenciales*
- *Vías arteriales principales:* vías de dos carriles en cada sentido, con semáforos que generalmente comunican las vías residenciales con las vías rápidas.
- *Vías arteriales secundarias [VAS]:* La vía arteria secundaria recibe el flujo de las zonas residenciales, comerciales e industriales del municipio y alimentan posteriormente las vías principales.
- *Vías rápidas:* vías con pocos o ningún semáforo y con cuatro o más carriles en cada sentido.
- Las vías arteriales secundarias se encuentran clasificadas en tres grupos según el ancho de la vía incluyendo el antejardín: La VAS-1 con un ancho de

40 [m], VAS-2 32.8 [m], V.A.S-2E 38 [m] (secundaria dos especial).

La tabla 1 muestra las vías seleccionadas inicialmente y de las cuales se tomaron las definitivas para el estudio.

Caracterización de las Vías	Recorridos
Vía rápida	Autopista del Café: Intersección El Pollo - La Romelia
Vía Arteria Principal	Avenida sur : Bomba de corales - Terminal Avenida 30 de Agosto: Intersección El Pollo - Gobernación Avenida El Río: Puente Mosquera - Turín Avenida del Ferrocarril: Viaducto - Barrio El Tulcán
Vía Arteria Secundaria	VAS-1 Avenida Los 2500 Lotes: Parque Cuba - Barrio 2500 Lotes Avenida Kennedy: Estadio Mora Mora - Avenida del Ferrocarril Avenida Belalcázar: Calle 25 y 26 - Avenida Juan R. Gutiérrez VAS-2 Avenida Consota: Avenida Las Américas (Cuba) - Estadio Vía el Jardín: Avenida 30de Agosto - Avenida Las Américas Calle 13 y 14: Carrera 4 - Barrio Ciudad Jardín Calle 21: Carrera 23 – Carrera 8

Tabla 1. Vías seleccionadas por su grado de importancia en la ciudad de Pereira.

Teniendo en cuenta esto, se realizó una selección considerando la importancia que desde el punto de vista de movilidad brinda cada una de las posibilidades para la ciudad. Las vías seleccionadas fueron:

Avenida sur: Esta vía tiene una basta zona residencial y comercial. Consta de dos carriles para el flujo vehicular y se considera una vía rápida. Tiene una longitud promedio de 6 [km] y un límite de velocidad de 50 [km/h].

Avenida 30 de Agosto: Comunica la zona metropolitana con el aeropuerto internacional Matecaña, se encuentran importantes zonas comerciales y una pequeña zona residencial. Consta de tres carriles, uno de ellos utilizado por el sistema de transporte masivo. Tiene una longitud promedio de 7,7 [km] y un límite de velocidad de 50 [km/h].

Calle 21: Inicia recorrido en la carrera 23 con dos carriles y termina en la carrera 5^a comunica la zona residencial de providencia y el centro de la ciudad, con una longitud promedio de 1,4 [km] y límite de velocidad de 30 [km/h].

Carrera cuarta: Es una vía que atraviesa longitudinalmente el centro de la ciudad, es una zona de alta actividad comercial y cuenta con dos carriles. Tiene una longitud promedio de 1,7 [km] y un límite de velocidad de 30 [km/h].

Carrera octava: Esta vía atraviesa el centro de la ciudad, compuesta de una basta zona comercial y residencial. Cuenta con una longitud promedio de 2,2 [km] el límite de velocidad es de 30 [km/h].

El conteo vehicular obtenido mediante el uso de cámara de video se realizó filmando el flujo vehicular de las vías recorridas por el vehículo instrumentado. Esta actividad generó información acerca del número y tipo de vehículos circulando por las calles, permitiendo recolectar información de la flota dinámica que circula por la ciudad.

Las filmaciones se realizaron en puentes peatonales de tal forma que se pudieran registrar ambos sentidos en el caso de la avenida 30 de Agosto y la sur. En las vías restantes se seleccionaron los puntos adecuados para este fin; Se realizaron en lapsos de tiempo de treinta minutos en horas de bajo, medio y alto flujo vehicular, el conteo se realizó teniendo en cuenta la clasificación que utiliza INVIAS² dependiendo del tipo de vehículo. La tabla 2, muestra el resultado del conteo vehicular en una de las principales vías de la ciudad.

Avenida sur

	Cuba-Terminal			Terminal-cuba		
	Hora pico	Hora media	Hora baja	Hora pico	Hora media	Hora baja
VP	572	540	441	1114	485	461
Motos	374	319	265	752	173	254
Taxis	305	193	96	360	292	95
Busetas	165	142	85	51	118	104
C _{2p}	30	21	25	51	38	30
C _{2g}	9	7	2	2	17	6
C ₅	3	2	1	2	1	1
Total	1458	1224	915	2332	1124	951

Tabla 2. Conteo vehicular sobre la Avenida Sur.

Vale la pena resaltar que el conteo vehicular se realizó sobre todas las vías seleccionadas para el estudio y siguiendo el mismo procedimiento, los resultados obtenidos, se emplearon como factor adicional de ponderación para la escogencia definitiva del ciclo de conducción representativo para la ciudad.

Paso 3: Recolección y análisis de la información

La recolección de información tardó un mes, tiempo en el cual se realizaron en su totalidad los recorridos para cada vía seleccionada. Estadísticamente una muestra piloto consta de 30, sin embargo, se consideró que 20 recorridos por vía eran suficientes para obtener un patrón representativo, además de representar menores costos.

Las horas seleccionadas para realización de las filmaciones y los recorridos fueron las 10:00 am, 11:00 am, 12:00 pm, 2:00 pm y 4:00 pm que representan horas

de bajo, medio y alto flujo vehicular. El recorrido debe suspenderse cuando se observen acontecimientos irregulares (accidentes, reparaciones, protestas, etc.) que alteren el flujo normal de tráfico. Los fines de semana y días festivos no se tuvieron en cuenta en el momento de realizar la toma de datos, debido a la gran cantidad de vehículos que llegan y dejan la ciudad, en estas fechas como consecuencia del turismo y otras actividades.

Los parámetros fundamentales para la elaboración del ciclo de conducción son: velocidad, tiempo, distancia, y aceleración. Haciendo un manejo adecuado de la información se pueden calcular: velocidad promedio, velocidad máxima, tiempo ralenti, número de paradas, tiempo total de recorrido, distancia recorrida, aceleración promedio positiva, aceleración positiva máxima, aceleración media positiva, tiempo con aceleración positiva.

La metodología propuesta para obtener un ciclo de conducción representativo de la zona de estudio consiste en escoger el recorrido más próximo a la media de todos los recorridos. Esto se puede realizar minimizando los promedios ponderados de la diferencia de cada parámetro con respecto a la media así:

$$Y = \sum f_i \cdot (x_i - \bar{x}) \quad (4)$$

Donde f_i es un factor de ponderación para cada parámetro y $(x_i - \bar{x})$ es la desviación estándar.

Los pesos de la ponderación se escogieron acorde a la importancia del parámetro asignado en valores múltiplos de 0,25. El mayor valor fue el número 1. Lo anterior se realizó basándose en la relevancia observada de cada parámetro, La tabla 3 muestra los valores asignados.

Parámetro	Peso de la ponderación
Velocidad promedio	1
Velocidad máxima	0,25
Tiempo ralenti	0,75
Número de paradas	0,25
Tiempo total de recorrido	1
Distancia recorrida	1
Aceleración promedio positiva	1
Aceleración positiva máxima	0,75
Tiempo con aceleración positiva	1
Total	7

Tabla 3. Pesos de la ponderación

Por medio de la ecuación 4 se le da un puntaje a cada recorrido seleccionando el valor mínimo, ya que este representa la menor desviación de todos los parámetros con respecto a la media. Para poder comparar estas variables se modifica la ecuación y se realiza el cálculo en términos adimensionales tal como lo indica la ecuación 5.

² INVIAS: Instituto Nacional de Vías

$$y = \min \left(\sum_i W_i \cdot \frac{|P_{i,j} - \bar{P}|}{\bar{P}} \right) \quad (5)$$

donde:

W_i : peso de la ponderación del parámetro i dividido el total de las ponderaciones.

$P_{i,j}$: valor del parámetro i , para el ciclo j .

\bar{P} : Promedio del parámetro i .

$\frac{|P_{i,j} - \bar{P}|}{\bar{P}}$: Desviación respecto a la media en términos adimensionales

Tratamiento estadístico [6]: Para el manejo de los datos se utilizaron la media aritmética, la mediana, la desviación estándar y el coeficiente de variación que se define como la desviación estándar dividida sobre la media. Se utiliza para hallar la variabilidad de una serie de datos respecto a su media y se expresa en términos porcentuales. Se considera que los datos tienen una variabilidad baja cuando este porcentaje es menor al 20%, si es mayor a este porcentaje se recomienda recolectar más muestras o trabajar con otra medida de tendencia central diferente a la media. En la tabla 4, se muestra los cálculos realizados para un recorrido típico.

Parámetros	Media	Mediana	Desviación estándar	%CV
Velocidad promedio [km/h]	34,020	33,960	2,75562	8,09
Velocidad máxima [km/h]	76,982	76,429	8,23530	10,69
Tiempo ralenti [s]	102	100,5	26,4886	25,96
Número de paradas	6,389	6,5	2,00408	31,36
Tiempo total de recorrido [s]	868,166	853	72,596	8,36
Distancia recorrida [m]	7727,778	7770,36	147,800	1,91
Aceleración media positiva [m/s ²]	0,459	0,430	0,07115	15,51
Aceleración positiva máxima [m/s ²]	1,981	1,910	0,31917	16,11
Tiempo con aceleración positiva [s]	384,722	381,5	31,0328	8,06

Tabla 4. Resultados del tratamiento estadístico realizado un recorrido

El porcentaje en el coeficiente de variación solo supera el 20% cuando se calcula para los parámetros *tiempo ralenti* y *número de paradas* ya que para cada recorrido tienen una gran variabilidad. A pesar de esto se sugiere trabajar con la media y con la mediana y luego determinar cuál es la medida de tendencia central adecuada.

Parámetros	W	$P_{i,j}$	\bar{P}	$\frac{ P_{i,j} - \bar{P} }{\bar{P}}$	$\left(\frac{w}{7}\right) \cdot \frac{ P_{i,j} - \bar{P} }{\bar{P}}$
Velocidad media	1	29,86	34,02	0,122	0,017
Velocidad máxima	0,25	59,56	76,98	0,226	0,008
Tiempo ralenti	0,75	82	102	0,196	0,021
Nº de paradas	0,25	6	6,388	0,060	0,002
Tiempo tota de recorrido	1	950	868,16	0,094	0,013
Distancia total	1	7431,5	7727,7	0,038	0,005
AP positiva	1	0,581	0,4587	0,26	0,038
AP máxima	0,75	2,995	1,981	0,51	0,055
Tiempo con AP	1	445	384,7	0,156	0,022
Total	7			Y	0,183

Tabla 5. Resultados del tratamiento estadístico realizado a los datos obtenidos de la Avenida 30 de Agosto

Se realizan los cálculos correspondientes y se observa que en la mayoría de los casos el ciclo obtenido utilizando la media aritmética es el mismo ciclo obtenido utilizando la mediana, lo que corrobora que el número de recorridos realizados fueron adecuados. La tabla 5 muestra a manera de ejemplo el procedimiento a seguir con el fin de encontrar el ciclo que más se acerque al promedio.

Aprovechando el conteo vehicular se dividen los Y_{\min} sobre el número total de vehículos que circulan en dichas horas y se selecciona el menor valor y se hace lo mismo para las demás vías.

En total se obtienen 7 ciclos previos, 2 ciclos para los 2 sentidos de la avenida 30 de Agosto, 2 ciclos para los 2 sentidos de la avenida sur, 1 ciclo para la calle 21, 1 ciclo para la carrera cuarta y 1 ciclo para la carrera octava.

El ciclo de conducción final se obtiene seleccionando el ciclo que tenga el menor valor de Y , ya que este representa la menor desviación de todos los parámetros con respecto a la media.

Se realizaron los cálculos correspondientes utilizando las 2 medidas de tendencia central previamente mencionadas y se observa que en la mayoría de los casos el ciclo obtenido utilizando la media aritmética es el mismo ciclo obtenido utilizando la mediana, lo que corrobora que el número de recorridos realizados fueron los adecuados.

4. RESULTADO

Teniendo en cuenta los criterios estadísticos ya mencionadas, el ciclo de conducción representativo para la ciudad de Pereira es el de la avenida sur que va desde el Terminal de Transportes Intermunicipales, hasta el barrio cuba y se muestra en la figura 4.

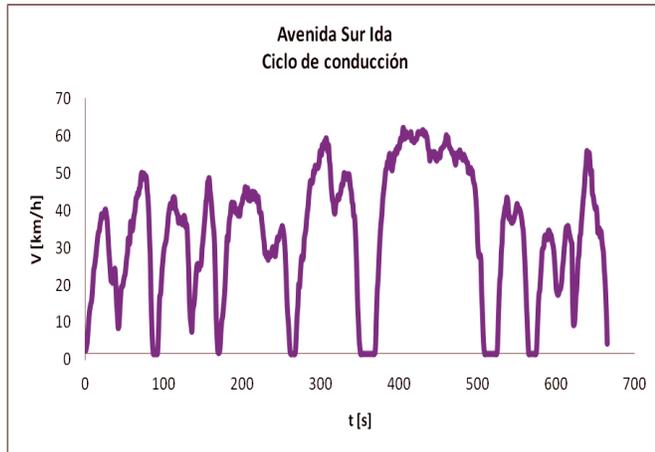


Figura 4. Ciclo de conducción representativo para la ciudad de Pereira

5. CONCLUSIONES

En la bibliografía consultada para este trabajo no se encontró un método o norma para la construcción de ciclos de conducción, ya que en los trabajos consultados las metodologías las modifican de acuerdo a las condiciones de la zona de estudio. Lo cual deja claro que este tipo de propuestas presentan validez.

El flujo vehicular es un parámetro muy importante que refleja que tan utilizada es la vía y que tipo de vehículos son los que más circulan según lo observado en los conteos realizados, permitiendo así una mejor selección de las vías en la zona e estudio.

El método estadístico seleccionado no sólo permite hallar el ciclo de conducción representativo para la ciudad de Pereira, sino también para cada vía de la ciudad en cada sentido, lo cual se demostró, lo cual resulta ventajoso dado que permite estudiar el comportamiento del flujo vehicular de una vía en particular.

La implementación de esta metodología tiene una utilización en el sector ambiental de gran importancia, ya que en estos momentos los factores de emisión de gases se tiene solo para fuentes estacionarias y ésta metodología propone una implementación dinámica, la cual sería un valor confiable con respecto a la forma actual.

6. AGRADECIMIENTOS

A la Vicerrectoría Académica y al Centro de Investigaciones y Extensión de la Universidad Tecnológica de Pereira. A los estudiantes de la Facultad de Ingeniería Mecánica involucrados en el proyecto y al CIMA – ITESM por la asesoría y prestamos de la 5ta rueda.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1]. DEPARTAMENTO TÉCNICO ADMINISTRATIVO DEL MEDIO AMBIENTE (DAMA), Resolución N° 867 del 19 junio de 2003. Disponible en internet: <http://64.233.167.104/search?q=cache:wGfd5tSM3aYJ:www.dama.gov.co/rl867.doc+Resoluci%C3%B3n+No+867+del+19+junio+del+2003%2Bdama&hl=es&gl=co&ct=clnk&cd=1>
- [2]. DEPARTAMENTO TÉCNICO ADMINISTRATIVO DEL MEDIO AMBIENTE (DAMA), Resolución N° 909 de 1996. Disponible en Internet: <http://64.233.167.104/search?q=cache:E8LJDCsrIngJ:www.dama.gov.co/indi/cdr/1.pdf+Resoluci%C3%B3n+No+909+de+1996&hl=es&gl=co&ct=clnk&cd=1>
- [3]. VELEZ AGUILERA, Alfredo. Determinación de un ciclo típico de conducción en el Municipio de Naucalpan. Toluca, 2005, 92p. Trabajo de grado (Maestría en Ingeniería Automotriz). Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey de México. Facultad de Ingeniería Automotriz. Área de desarrollo sostenible.
- [4]. MARTINEZ FORERO, Juan; CRUZ VALENCIA, Alexander y BEDOYA, Chris Ángela. Evaluación de vehículos en carretera. Disponible en Internet: <http://revistaing.uniandes.edu.co/pdf/Rev18-9.pdf?ri=eb49ae70618fb4eae38bb44d06abdfa-search=%22Rev18-9%22>
- [5]. INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS (INVIAS). Volumen de transito 2003. p 7-15,80-81.
- [6]. ECHEAFEER, Richard L. Elementos de muestreo, México. Editorial Iberoamericana. S.A. Agosto 2000. Pag 45-86-89