

## **SIMULACIÓN DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y EMISIONES DE VEHÍCULOS DE TRANSPORTE PÚBLICO EN LA CIUDAD DE AMBATO (ECUADOR) MEDIANTE COPERT 4**

### **SIMULATION OF FUEL CONSUMPTION AND EMISSIONS OF THE PUBLIC TRANSPORTATION FLEET IN AMBATO (ECUADOR) WITH COPERT 4**

John Jairo Ceballos Marcillo<sup>1</sup>, Francisco Vicente Tinaut Fluixá<sup>2</sup>,  
<sup>1,2</sup>.Universidad de Valladolid Uva – Escuela de Ingenierías Industriales – Paseo del Cauce, 59, Valladolid - España  
e – mail : ceballos@eii.uva<sup>1</sup>.es, tinaut@eii.uva.es<sup>2</sup>

Revista Energía Mecánica Innovación y Futuro, V Edición 2016, No. 6 (15)

#### **RESUMEN**

Se simula el consumo de combustible y emisiones de una flota de vehículos de transporte público a partir de información de circulación bajo configuraciones de relieve y orografía específica de la ciudad de Ambato, provincia de Tungurahua, en la República de Ecuador, mediante la utilización del Software COPERT 4

Se parte del señalamiento de un caso modelo inicial, donde se aplica el cálculo informático para un vehículo en un recorrido de un kilómetro, posterior a lo que se procede a la realización del ajuste de la metodología para aplicarlo al caso específico de la ciudad de Ambato, cuya estructura está compuesta por dos enfoques principales: una configuración de recorrido plano sin aplicación de la orografía característica de la urbe, y una conformación que incluya la orografía irregular partiendo de porcentajes de afección dentro del recorrido tipo que satisfaga los requerimientos característicos de un circuito general de transporte público local.

Se concluye el desarrollo con la presentación de proyecciones de emisión en escenarios hipotéticos de actualización o reforma completa de la flota hacia tecnologías con aplicación

de legislaciones de control con una mayor eficiencia, pudiendo así apoyar la toma de decisiones políticas iniciales por parte de los gobiernos locales hacia la transformación de la matriz de transporte eficiente y con menor índice de contaminación medioambiental.

#### **Palabras clave**

*COPERT, transporte público, consumo de combustible, emisiones contaminantes.*

#### **ABSTRACT**

Simulate fuel consumption and emissions of the fleet of public transport vehicles from information on specific configurations of relief and topography of the city of Ambato, Tungurahua Province, Republic of Ecuador, by using the Software COPERT 4.

The investigation starts from the assignment of an initial model case that represents the earliest computer calculations for only one vehicle at one kilometer of road. From this initial procedure, the investigation proceeds to the methodological adjustment of the COPERT model to apply in the specific case of Ambato, which structure is composed from two main perspectives: one plain road configuration analysis

without the influence of the typical urban topography, and another configuration that includes this irregular relief obtained from affection percentages of road inclination, satisfying the main requirements of the local public transportation circuit.

In the final chapter the future hypothetical effects of emissions in two different scenarios are presented: the update of one half of the fleet or the complete change of the entire fleet to technologies with highest efficiency control standards, providing the starting support for initial political decisions from local governments towards the transformation of a superb transportation matrix with less environment contamination levels.

### Keywords

*COPERT, Public Transportation, Fuel Consumption, Pollution Emissions.*

## 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, bajo un modelo de sociedad económicamente activa y productiva, los medios de transporte de tipología pública y privada son uno de los ejes principales de manutención de la esfera sostenida de movilización continua necesaria para la humanidad. La realización de la denominada “movilidad urbana” conlleva una serie de responsabilidades con respecto a temas de una relevada importancia global, el consumo de combustible y su relación directa con las emisiones contaminantes resultantes de los procesos de transformación energética propios de los procesos mecánicos que se llevan a cabo.[1]

Bajo este marco inicial, el desarrollo de un estudio investigativo sobre estimación de consumo de combustible y emisiones contaminantes a la

atmósfera [2] para la ciudad de Ambato, provincia de Tungurahua, en la República del Ecuador, parte de la necesidad de la ciudad de establecer de forma específica el desarrollo estimado de dichos parámetros en la movilidad de tipo pública, con la finalidad de poder realizar una serie de políticas de control y regulación a nivel local que propongan una agenda ambiental de control por parte del Gobierno Autónomo Descentralizado del Municipio de Ambato (GADMA), adjunto en el futuro al presente desarrollado por la municipalidad, cuyos ejes estratégicos son:

- Reducción de la contaminación ambiental.
- Consolidación de la autoridad para la prevención y el control de la contaminación y fortalecimiento de la institucionalidad ambiental.
- Reducción de las emisiones contaminantes, de fuentes estáticas y móviles.
- Optimización de las capacidades de conformación en políticas ambientales.
- Información y registros estimados de evolución de los sistemas originarios de la contaminación. [3]

Las normativas Euro (categoría de contaminantes) son un conjunto de requisitos que fijan los valores límite de las emisiones de los vehículos nuevos al momento que se encuentre válida la revisión actual de dicha norma. Acorde a [8], “en la fiscalidad de un vehículo, las emisiones de gases contaminantes tienen un papel muy importante porque el tipo impositivo depende también de la clasificación que establecen las diferentes normas Euro.” [3], [7], [8].

Estas limitaciones de emisiones se encuentran resumidas en las figuras 1 y 2.

Limitaciones a las emisiones para vehículos nuevos con motor de gasolina						
	válido a partir de	CO (g/km)	HC (g/km)	NOx (g/km)	HC+NOx (g/km)	PM
Euro I	12/92	2,72	-	-	0,97	-
Euro II	01/97	2,20	-	-	0,5	-
Euro III	01/00	2,30	0,20	0,15	-	-
Euro IV	01/05	1,00	0,10	0,08	-	-
Euro V	09/09	1,00	0,10	0,06	-	0,005*
Euro VI	08/14	1,00	0,10	0,06	-	0,005*

\* con inyección directa

Limitaciones a las emisiones para vehículos con motor de gasolina

Figura 1. Limitaciones a las emisiones para vehículos nuevos con motor de gasolina.

Limitaciones a las emisiones para vehículos nuevos con motor diésel						
	válido a partir de	CO (g/km)	HC (g/km)	NOx (g/km)	HC+NOx (g/km)	PM
Euro I	01/92	3,16	-	-	1,13	0,14
Euro II	01/96	1,00	0,15	0,55	0,70	0,08
Euro III	01/00	0,64	0,06	0,50	0,56	0,05
Euro IV	01/05	0,50	0,05	0,25	0,30	-
Euro V	09/09	0,50	0,05	0,18	0,23	0,005
Euro VI	08/14	0,50	0,09	0,08	0,17	0,005

El nivel de emisiones para vehículos con motor diésel

Figura 2. Limitaciones a las emisiones para vehículos nuevos con motor diésel.

Con la finalidad de poder estimar y documentar las emisiones anuales nacionales y su evolución dentro del espacio temporal, se han desarrollado una serie de modelos, principalmente de tipo informáticos, como el propuesto dentro del presente artículo científico: COPERT (Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport). [4][5][6]

COPERT 4 en su última versión es una herramienta informática de utilidad práctica dentro del sector del transporte en carretera, ya que permite el cálculo del consumo de combustible y las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas, y el cálculo de emisiones de todos los contaminantes regulados (CO, NO<sub>x</sub>, COV y PM) emitidos por diferentes categorías de vehículos (coches de pasajeros, vehículos ligeros y pesados, ciclomotores y motocicletas) además de estimar las emisiones de otros compuestos como CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, metales pesados, HAP (hidrocarburos aromáticos policíclicos) y COP (contaminantes orgánicos persistentes). [7] [8]

Se evalúan los consumos y las emisiones de la flota de vehículos de transporte público de la ciudad de Ambato, con la

mayor exactitud posible a partir de la información disponible, para los años 2000, 2007 y 2015.

Predice escenarios posibles de consumo de combustible y emisiones de la flota a en situaciones hipotéticas de transformación de la misma hacia normas regulatorias más restrictivas en emisiones.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

El programa informático COPERT 4 parte de un enfoque de tipología “top-down”, el mismo que ofrece un volumen general de consumo o emisiones para todo el conjunto de la actividad del transporte o para alguno de sus modos, dados mediante regresiones en la que las variables se alimentan de estadísticas ya elaboradas.

El software mencionado, específicamente en el campo de previsión de estimaciones para el sector de autobuses toma en cuenta una serie de categorías de estratificación específica de las flotas:

- Según tipo de combustible (Diésel, GNC, Biodiésel)
- Según forma estructural (Midi <= 15 tons, estándar 15 tons, articulados > 15 tons, entre otros)
- Según tipo de tecnología de control de emisiones (convencional, Euro I, II, III, IV, V, VI).

Para la estimación de emisiones el programa informático además utiliza una formulación de patrones de conducción dependiente de la velocidad, desarrollado de forma empírica a través de análisis y comprobación estadística e múltiples tests reales mundiales bajo diferentes condiciones de manejo [7] [8]. Estos patrones de conducción son tres: conducción urbana (velocidad < 50 km/h), conducción rural (velocidad entre 50 – 100 km/h) y conducción en

autopista (100 – 120 km/h).

Tomadas en cuenta características de la flota, forma estructural, tipo de tecnología de control de emisión, además de los patrones de conducción anteriormente mencionados [10] [11], COPERT establece el cálculo final mediante la suma de tres fuentes distintas de emisiones: aquellas obtenidas cuando el motor se encuentra en una fase térmica estabilizada (hot emisión), aquellas recabadas durante la fase de calentamiento del sistema (cold emissions) y finalmente las obtenidas por evaporación del combustible (fuel evaporative emissions) según se indica en la siguiente ecuación:

$$E_{TOTAL} = E_{HOT} + E_{COLD} + E_{EVAP} \quad Ec. 1$$

De esta manera dentro del desarrollo estructural de modelo de estimación de emisiones expuesto por COPERT 4 se distingue 3 tipos de patrones de conducción:

- Patrón de conducción urbana. Se identifica por tener velocidades en un rango inferior a 50 km/h, con parada y arranques frecuentes del vehículo, siendo aplicada especialmente en centros característicos de ciudad.
- Patrón de conducción rural. Engloba la tipología de carretera externa a las ciudades, la misma que en ocasiones puede ser interrumpida por cruces o semáforos. El rango de velocidades se encuentra entre 50 km/h y 90-100 km/h.
- Patrón de conducción en autopista. Se caracteriza por incluir las velocidades en vías de recorrido rápido y de gran capacidad, donde por naturaleza no existen interrupciones en el tráfico. El rango de velocidades está entre 100-120 km/h.

Al ser COPERT 4 un software informático, con la finalidad de calcular la contaminación generada por cada categoría bajo las circunstancias de entrada que introduce el usuario, dentro de su esquematización de programación tiene que cumplir una serie de procesos en secuencia determinados a continuación:

- Cálculo de factores de emisión en caliente (Hot emission factors calculation). El factor de emisión en caliente es una expresión numérica para la cantidad de figura 3, contaminación que un vehículo genera por kilómetro en condiciones normales. Para este cálculo se utilizan los siguientes parámetros:
  - ▶ Parámetros del motor.
  - ▶ Año de producción del vehículo.
  - ▶ Modo de conducción.
  - ▶ Velocidad promedio.

#### **Cálculo del factor de emisión en frío (Cold emission factor calculation).**

Este factor de emisión representa la contaminación producida por Km por los vehículos cuando no están en estado térmico estable. Sucede en el principio de cualquier viaje. Dentro de esta medición, a parte de los parámetros utilizados en el cálculo de factores de emisión en caliente se utiliza:

- ▶ Registro de temperatura del país.
- ▶ Parámetros típicos del motor.
- ▶ Año de producción.
- ▶ Modo de conducción.

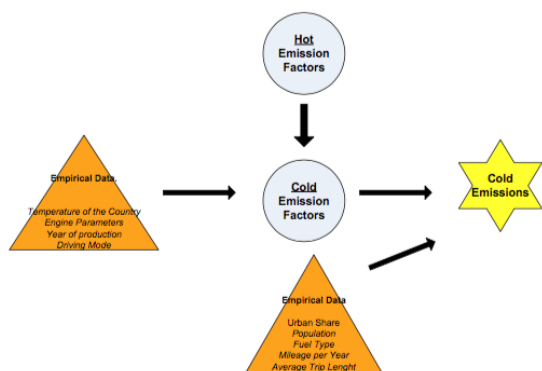


Figura 4. Cálculo de emisiones en frío en COPERT 4

### Cálculo de emisiones en frío

Este valor representa la contaminación producida en un año por una categoría de vehículos en un país mientras llega el sistema a su estabilización térmica. Para realización de este cálculo la programación informática de COPERT 4 utiliza:

- ▶ Recorrido del vehículo en ciclo urbano.
- ▶ Recorrido total de la flota por año.
- ▶ Total de unidades contenido en la flota por categoría.
- ▶ Tipo de combustible.
- ▶ Longitud promedio del viaje.

### Cálculo de efecto del combustible

Este factor participa en el cálculo de los factores de emisión en caliente para ayudar a la obtención de una mayor precisión, ya que se supone que dependiendo de la tecnología el vehículo va a responder de mejor manera a la producción de contaminantes del combustible.

### Cálculo de degradación por kilometraje

La influencia de degradación se obtiene por el estado del vehículo con el pasar del tiempo. Este proceso toma en cuenta las millas realizadas por el vehículo desde su construcción, la velocidad realizada

en diferentes tramos del camino además de factores inclusivos acerca de los rangos de velocidades. Para autobuses se evidenció que no se toma en cuenta la degradación por kilometraje, comprobado posteriormente.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### INTRODUCCIÓN DE DATOS EN COPERT

Caso inicial modelo (1 vehículo- recorrido 1 km)

Selección de país y año

Para la ciudad de Ambato, desde un enfoque inicial modelo donde se buscan, conocer el comportamiento del programa en un análisis de un solo vehículo por cada tipología de flota existente en los tres años que se pretende realizar (2000, 2007 y 2015), en la selección de país y año se introduce la información mostrada en la Tabla 1.

Tabla 1. Recorrido medio y tiempo de recorrido

		Re cor rido medio	Tiempo de recorrido
		Ltrip (km)	t_trip (h)
Caso inicial modelo	1		0.05

### Información específica de la ciudad

Posterior al ingreso de ciudad y los años que se van a realizar los análisis específicos, COPERT 4 brinda la posibilidad de ingresar información propia de la ciudad, siendo estos valores de tipo meteorológicos (temperatura registrada, humedad relativa) y el valor de presión de vapor Reid (Reid vapor pressure) del combustible. (Figura 5)

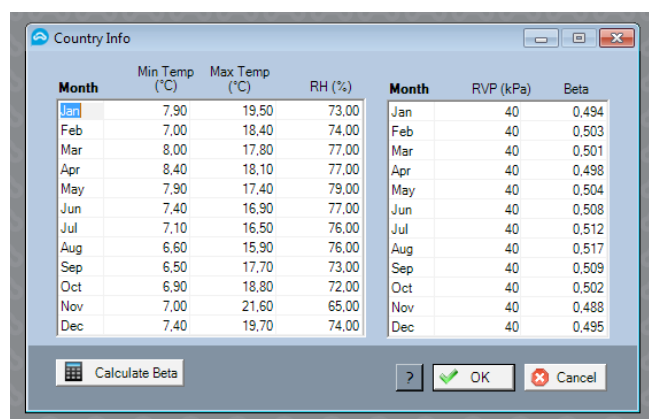


Figura 5. Cálculo de emisiones en caliente en COPERT 4

### Información técnica del combustible

De forma definida para el Diesel, combustible común utilizado en los autobuses en la región ecuatoriana, se ingresa los valores de densidad del combustible (kg/m<sup>3</sup>), porcentaje de componentes aromáticos PCA (%v/v), el número de Cetano CN, el T95 o temperatura a la que el 90% - 95% del diésel se evapora y el contenido de azufre en el combustible (mg/kg).

Tabla 2. Características de Diesel para Ecuador

Año	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	PCA (% v/v)	CN	T95 (°C)	Azufre (mg/kg)
2000	840	7	53	330	450
2005	835	5	53	320	450
2009	835	5	45	288	450

### Ingreso de valores de la flota de vehículos

En el caso inicial modelo, se verifican el comportamiento de software únicamente para las características del espacio temporal utilizadas posteriormente en el caso indicado para la ciudad de Ambato, tanto en su enfoque plano completo y el correspondiente enfoque real con participación activa del porcentaje de pendiente positiva y negativa, por lo que al ser empleado el software para estudios estadísticos amplios se

requiere ingresar una flota amplia y posteriormente de forma manual dividir el valor de emisiones para la flota ingresada, según el ejemplo propuesto en la tabla 3.

Tabla 3. Datos de entrada flota caso inicial

Subsector	Legislation Standard	Population	Mileage (km/year)	Mean fleet mileage (km)
Urban buses standar 15 t.	HD Euro I - 91/542/EEC Stage	1000000	1000	15000
Urban buses standar 15 t.	HD Euro II - 91/542/EEC Stage	1000000	1000	8000
Urban buses standar 15 t.	HD Euro III - 2000 standars	1000000	1000	5000

El valor de "Mean fleet mileage" se obtiene a partir de la multiplicación de los kilómetros/año por el número de años que está la flota a ese momento, siguiendo como ejemplo valores expuestos en la tabla 4.

Tabla 4. Datos Mean Fleet Mileage caso inicial

Subsector	Legislation Standard	Mileage (km/year)	Años activos flota	Mean fleet mileage (km)
Urban buses standar 15 t.	HD Euro I - 91/542/EEC Stage	1000	15	15000
Urban buses standar 15 t.	HD Euro II - 91/542/EEC Stage	1000	8	8000
Urban buses standar 15 t.	HD Euro III - 2000 standars	1000	5	5000

### Datos de entrada velocidad de circulación

En el caso del transporte público de la ciudad de Ambato se especifica una velocidad media de 25 km/h, con un porcentaje de participación de 100% de ciclo urbano (Figura 6). Dentro del análisis del caso inicial modelo, se añaden 2 posibilidades más (velocidades a 20km/h, y 35km/h) para poder visualizar el comportamiento del consumo de combustible y emisiones con respecto al cambio de la velocidad media del vehículo.

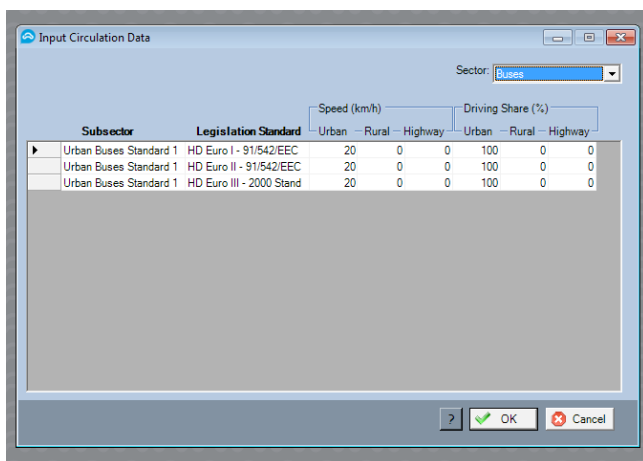


Figura 6. Información velocidad circulación COPERT 4

### Emisiones CO<sub>2</sub> por el aceite lubricante

Al estar el aceite en continuo proceso de lubricación de los componentes estructurales del motor en la combustión interna, estos también producen una cantidad de emisiones por su consumo. COPERT 4 toma en cuenta este proceso de emisiones y lo agrega a las emisiones de CO<sub>2</sub> generales del proceso mismo de la combustión, cuyos factores de emisión los calcula por defecto el mismo software, dando además la posibilidad de incluir un valor propio del usuario.

Tabla 5. Factores de emisión por consumo de aceite.

Subsector	Legislation Standar	Emission Factor (g/km)		
		Urban	Regular	Highway
Urban	Conventional	2.65	2.65	2.65
Buses	HD Euro I -	2.05	2.05	2.05
Standar.	HD Euro II -	1.46	1.46	1.46
15 tone-ladas	HD Euro III	0.861	0.861	0.861

### Caracterización de las simulaciones de copert en condiciones de referencia

#### Resultados caso modelo inicial

Los resultados del caso inicial modelo presentados a continuación son obtenidos para una primera configuración, detallada a continuación:

- Velocidad media de recorrido: 20 km/h.
- Vehicle load / axles: 100% / 2.
- Road Slope: 0% (sin road slope).

### Consumo de combustible y emisiones de CO<sub>2</sub>

A continuación se presenta el comportamiento del consumo de combustible y emisiones de CO<sub>2</sub> para un vehículo, por kilómetro realizado, correspondiente a la configuración de presencia de la normativa de acuerdo a los años medidos, así como su evolución en el tiempo con respecto a la presencia de la normativa (Conventional, Euro I, Euro II y Euro III) dentro de las especificaciones características de Ambato.

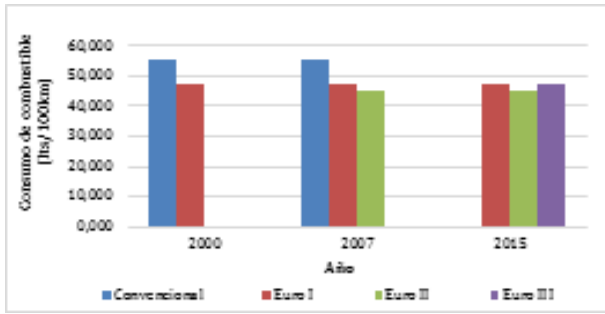


Figura 7. Comportamiento del consumo de combustible



Figura 8. Comportamiento de la emisión de CO<sub>2</sub>

### Casos de influencia en las estimaciones de emisión

En orden hacia la comprensión final del software, y establecer su comportamiento bajo distintas configuraciones, se procede a analizar una serie de casos de influencia en las estimaciones de emisión, variando varios parámetros dentro de COPERT 4. Los casos de influencia en las estimaciones de emisión son:

- Cambios por variación de la pendiente.
- Cambios por variación de la carga.
- Cambios por variación de la velocidad media de recorrido.

### Cambios por influencia de la variación de la pendiente

COPERT 4 permite la selección del grado de pendiente que tiene la carretera, siendo este nivel de pendiente decreciente o ascendente, en grados de

-6°, -4°, -2°, 0°, 2°, 4° y 6°. Los resultados obtenidos tanto para consumo de combustible como para emisión de CO<sub>2</sub> se especifican en la figura 9.

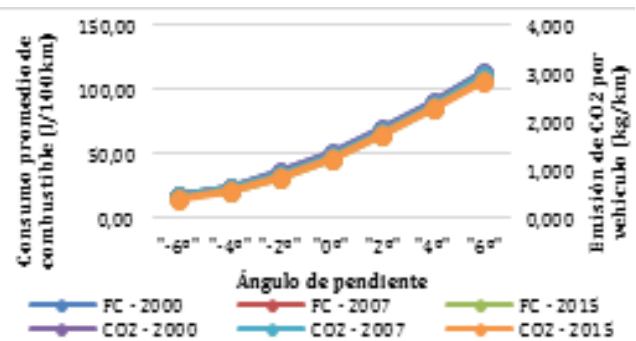


Figura 9. Comportamiento por variación de pendiente

### Cambios por influencia de la variación de la carga

El factor componente al nivel de carga que soporta el vehículo tiene una gran importancia en cuanto al consumo final de combustible y por tanto el aumento o disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub> y otros productos contaminantes al ambiente.

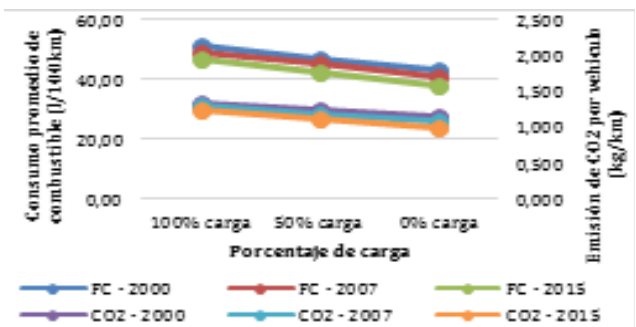


Figura 10. Comportamiento por variación de carga

### Cambios por influencia de la variación de la velocidad media del recorrido

En verdad para determinación teórica del consumo de combustible, y su relación con el aumento o disminución de la velocidad parte de la diferenciación de dos conceptos totalmente diferentes (velocidad y aceleración), en situaciones de trabajo de igual manera distintas (tipo de marcha, rango de velocidad a la



que se recorre, etc.). A continuación se verifica la variación del comportamiento de FC y CO<sub>2</sub> por influencia de la velocidad.

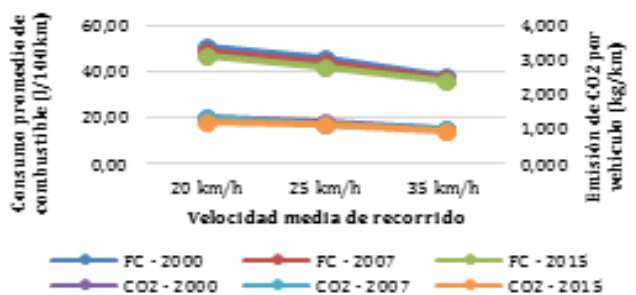


Figura 11. Comportamiento por variación de velocidad media

### Resultados de la simulación con COPERT caso específico ciudad Ambato

Para la obtención de resultados de la simulación con COPERT 4, para el caso específico de la ciudad de Ambato, tomando en cuenta que se mantienen los mismos valores de información meteorológica, información técnica del combustible, categorización de vehículos, velocidad media de recorrido y carga del vehículo, se ingresan en este punto los valores efectivos de entrada de la flota bajo los siguientes valores a continuación:

Tabla 6. Datos de flota Coop Tungurahua

Cooperativa Tungurahua			
	2000	2007	2015
Convencional	74	84	0
Euro I	38	21	0
Euro II	0	29	97
Euro III	0	0	51

Tabla 7. Datos de flota Coop Jerpazsol

Cooperativa Jerpazsol			
	2000	2007	2015
Convencional	0	0	0
Euro I	35	35	0
Euro II	0	12	16
Euro III	0	0	35

Tabla 8. Datos de flota Coop Libertadores y de Ambato

Cooperativa Libertadores y Ambato			
	2000	2007	2015
Convencional	41	41	0
Euro I	9	9	31
Euro II	0	8	23
Euro III	0	0	11

Total de buses de la flota real			
	2000	2007	2015
Convencional	115	125	0
Euro I	82	65	31
Euro II	0	49	136
Euro III	0	0	97
Total	197	239	264

### Emisiones caso específico ciudad de Ambato - configuración plana

Para valores de configuración plana de la ciudad de Ambato, con un recorrido medio de 51,2 km y un tiempo medio de recorrido de 3 horas, una velocidad media de tipo urbana 100% de 25 km/h se agregan los siguientes valores de entrada de la flota para el año 2000, 2007 y 2015.

Tabla 9. Datos de la flota año 2000 configuración plana

Año 2000			
	Población	Km/año	Mean Fleet Mileage (km)
Convencional	115	62290.4	622903.6
Euro I	82	62290.4	62290.4

Tabla 10. Datos de la flota año 2007 configuración plana

Año 2007			
	Población	Km/año	Mean Fleet Mileage (km)
Convencional	125	62290,4	1058936,2
Euro I	65	62290,4	436032,6
Euro II	49	62290,4	62290,4

Tabla 11. Datos de la flota año 2015 configuración plana

Año 2015			
	Población	Km/año	Mean Fleet Mileage (km)
Conveccional	31	62290,4	934355,5
Euro I	136	62290,4	498322,9
Euro II	97	62290,4	311451,8

Para esta configuración plana se presenta las siguientes estimaciones de consumo de combustible y emisiones de CO<sub>2</sub>.

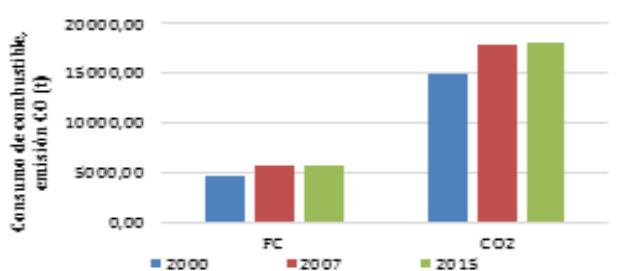


Figura 12. FC y emisión de CO<sub>2</sub> configuración plana

### Emisiones caso específico ciudad de Ambato – configuración real

Al suponer un circuito con afección directa de la orografía, el recorrido se subdivide en dos tramos (recorrido de ida y recorrido de vuelta), los mismos que a su vez se dividen en tres porciones (porción de recorrido con pendiente positiva, porción de recorrido plano, y porción de recorrido con pendiente negativa), los mismos que englobarían los cambios de pendiente dentro de la ciudad.

Tabla 12. Datos recorrido medio y tiempo de ida

	Recorrido medio Ltrip (km)	Tiempo de recorrido t_trip (h)	Ángulo de variación pendiente
Descendente	4,864	0,29	-2°
Tramo plano	16,128	0,95	0°
Ascendente	4,608	0,27	4°

Tabla 13. Datos recorrido medio y tiempo de regreso

	Recorrido medio Ltrip (km)	Tiempo de recorrido t_trip (h)	Ángulo de variación pendiente
Descendente	4,608	0,27	-4°
Tramo plano	16,128	0,95	0°
Ascendente	4,864	0,29	2°

En la aplicación de la configuración real, los valores de población de la flota, kilometraje anual recorrido kilometraje principal de la flota, tanto para el tramo de ida, como tramo de vuelta quedan determinados acorde a información organizada a continuación:

Tabla 14. Datos año 2000 ida descend. - regreso ascend.

Año 2000			
	Población	Km/año	Mean Fleet Mileage (km)
Conveccional	115	5917,58	59175,58
Euro I	82	5917,58	5917,58

Tabla 15. Datos año 2007 ida descend. - regreso ascend.

Año 2007			
	Población	Km/año	Mean Fleet Mileage (km)
Conveccional	125	5917,58	100598,94
Euro I	65	5917,58	41423,09
Euro II	49	59175,58	59175,58

Tabla 16. Datos año 2015 ida descend. - regreso ascend.

Año 2015			
	Población	Km/año	Mean Fleet Mileage (km)
Conveccional	31	5917,58	88763,77
Euro I	136	5917,58	47340,68
Euro II	97	59175,58	29587,92

Tabla 17. Datos año 2000 ida plano - regreso plano

Año 2000			
	Población	Km/año	Mean Fleet Mileage (km)
Convencional	115	19621,46	196214,65
Euro I	82	19621,46	19621,46

Tabla 18. Datos año 2007 ida plano - regreso plano

Año 2007			
	Población	Km/año	Mean Fleet Mileage (km)
Convencional	125	19621,46	333567,90
Euro I	65	19621,46	137350,25
Euro II	49	19621,46	19621,46

Tabla 19. Datos año 2015 ida plano - regreso plano

Año 2015			
	Población	Km/año	Mean Fleet Mileage (km)
Convencional	31	19621,46	294321,97
Euro I	136	19621,46	156971,72
Euro II	97	19621,46	98107,32

Tabla 20. Datos año 2000 ida ascend. - regreso descend.

Año 2000			
	Población	Km/año	Mean Fleet Mileage (km)
Convencional	115	5606,13	56061,33
Euro I	82	5606,13	5606,13

Tabla 21. Datos año 2007 ida ascend. - regreso descend.

Año 2007			
	Población	Km/año	Mean Fleet Mileage (km)
Convencional	125	5606,13	95304,26
Euro I	65	5606,13	39242,93
Euro II	49	5606,13	5606,13

Tabla 22. Datos año 2015 ida ascend. - regreso descend.

Año 2015			
	Población	Km/año	Mean Fleet Mileage (km)
Convencional	31	5606,13	84091,99
Euro I	136	5606,13	44849,06
Euro II	97	5606,13	28030,66

En este caso específico bajo configuración real, es necesario especificar otros valores complementarios de ingreso en COPERT 4 tal como se expresa en la tabla 23.

Tabla 23. Valores complementarios de ingreso

Parámetro	Valor complementario
Emisión CO <sub>2</sub> por lubricante	Predeterminadas
Datos de selección de carga	100% - Apply
Variación de pendientes	De acuerdo situación.
Relación de NO <sub>2</sub> a NO <sub>x</sub>	Predeterminadas.
Fracción carbono elemental y carbono orgánico en PM	Predeterminado.
Factores emisión en caliente	Predeterminado

COPERT 4 para esta configuración real, donde se toma en cuenta la afección de la orografía, después de aplicación de su esquema metodológico presenta una serie de resultados que posteriormente son comparados con la configuración plana.



Figura 13. FC y emisión de CO<sub>2</sub> configuración real

### Estudio comparativo configuración plana - real ciudad de Ambato

Relación de diferencia en consumo de combustible y CO<sub>2</sub>.

Tanto en el caso del consumo de combustible FC, como en la emisión de CO<sub>2</sub> correspondiente se observa una diferencia positiva, lo que explicaría que en casos de ciudades como Ambato por su orografía irregular se evidencia en la realidad un mayor consumo y una mayor emisión de CO<sub>2</sub> con respecto a ciudades planas.

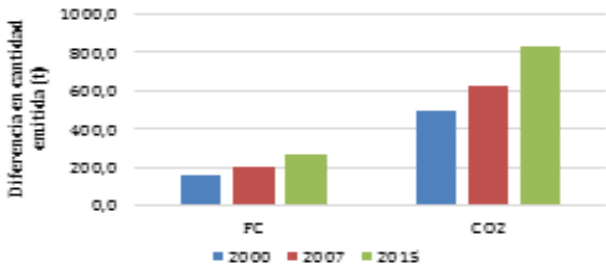


Figura 14. Diferencia FC y emisión de CO<sub>2</sub> – configuración plana -real

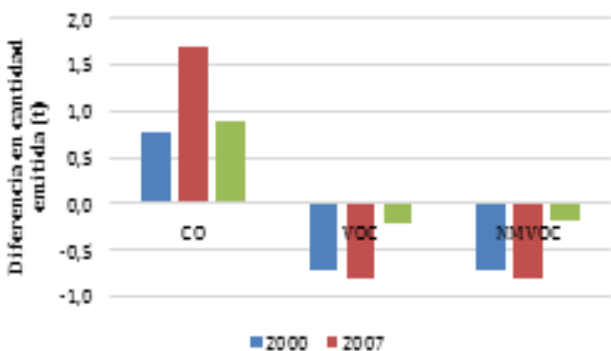


Figura 15. Diferencia CO, VOC y NMVOC – configuración plana -real

En el caso de las diferencia expresadas en relación a la comparativa entre emisiones de CO, VOC y NMVOC se constata un efecto particular, la diferencia de CO es positiva, mientras que la diferencia de VOC y NMVOC es negativa, lo que señalaría que en el caso real según la metodología de COPERT, se emitiría menos cantidad de VOC y NMVOC en ciudades con características orográficas irregulares con respecto a ciudades con configuración plana.

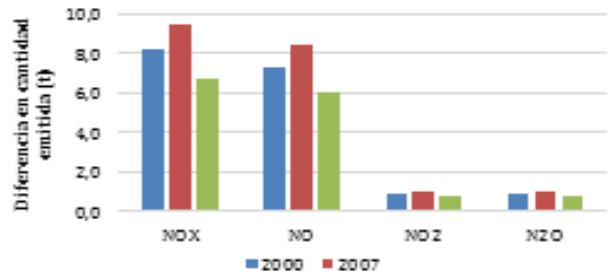


Figura 16. Diferencia NO<sub>x</sub>, NO, NO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>O – configuración plana -real

Finalmente, de forma complementaria a la comparación de las estimaciones de emisión para ambas configuraciones propuestas (plana y real), se añaden los resultados expuestos para el resto de componentes nocivos identificados por la metodología COPERT, verificando que en todos los casos se certificó una diferencia positiva, enunciando así el incremento de emisiones en el caso real aproximado con respecto al análisis con configuración plana.



Figura 17. Diferencia Material particulado y carbón – configuración plana -real

### Proyecciones en escenarios hipotéticos

Para la ciudad de Ambato, una de las principales prioridades establecidas por el Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) Municipalidad de Ambato dentro de su plan maestro de movilidad y transporte 2012 – 2032, se centra en la renovación parcial o total de la flota hacia tecnología con una mayor eficiencia y menor emisión de fuentes

contaminantes.

En aplicación la meta propuesta por el GAD Municipalidad de Ambato, dentro del presente artículo se proponen dos situaciones hipotéticas a corto plazo para poder justificar estadísticamente las ventajas que se obtendrían se esta actualización de tecnología, siendo las dos opciones:

- Actualización de la flota del año 2015 a una flota potencial 50% Euro II – 50% Euro III.
- Actualización de la flota del año 2015 a una flota potencial 100% Euro III.
- Introducción de nuevas normativas a flotas 100% Euro IV y 100% Euro V.

Aplicando cada una de las situaciones de aplicación para al estimación del consumo de combustible FC y emisión de CO<sub>2</sub> se presencia inicialmente un aumento de sus valores hasta aplicación del 100% Euro III y posteriormente una reducción amplia de la misma para introducción de Euro IV y Euro V.

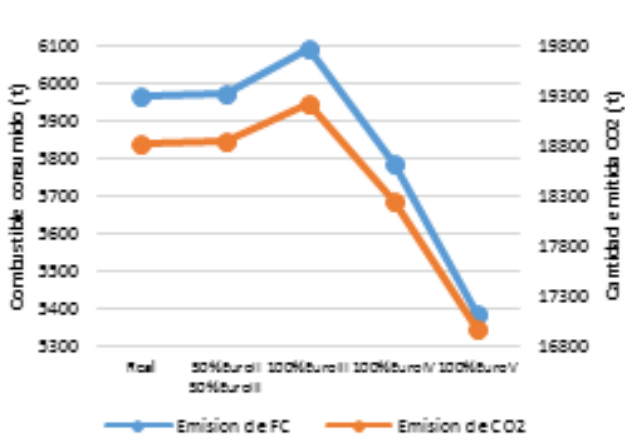


Figura 18. Evolución caso hipotético FC y emisión CO<sub>2</sub>

Adicionalmente se adjuntan las evoluciones de reducción de emisiones de CO, VOC, NMVOC (Figura 19), emisiones de CH<sub>4</sub>, SO<sub>2</sub> (Figura 20) y emisiones de NO<sub>x</sub>, NO y NO<sub>2</sub> (Figura 21).

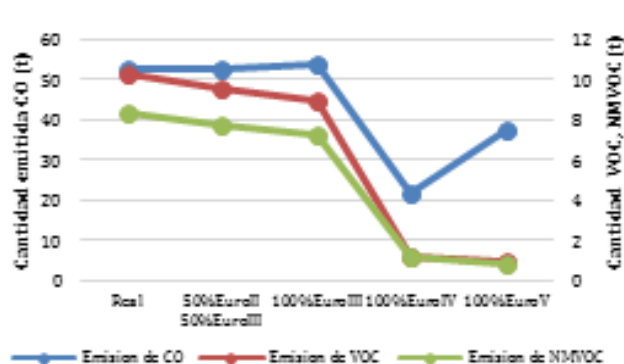


Figura 19. Evolución caso hipotético CO, VOC, NMVOC

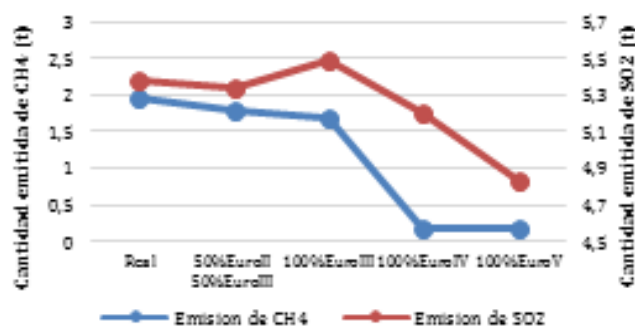


Figura 20. Evolución caso hipotético CH<sub>4</sub> y SO<sub>2</sub>

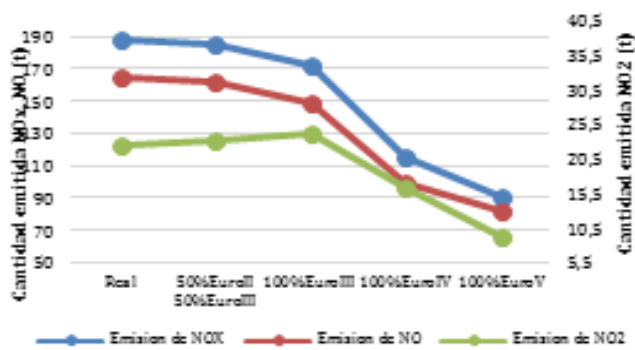


Figura 21. Evolución caso hipotético NO<sub>x</sub>, NO y NO<sub>2</sub>

#### 4. CONCLUSIONES

- Los resultados del estudio comparativo de la configuración plana con respecto a la real de la ciudad de Ambato, muestran para la orografía real un mayor consumo de combustible (FC) y aumento de emisiones de CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, material particulado y de carbón en el caso real, experimentándose solamente una reducción de emisión de VOC y NMVOC para todos los años registrados (2000, 2007 y 2015).
- Bajo establecimiento de valores normalizados, a partir de los resultados obtenidos del caso específico real de la ciudad de Ambato, se concluye que bajo esta configuración aproximada que ejemplifica la influencia de la orografía propia de la urbe central del Ecuador, en los casos de consumo de combustible y emisión de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, por autobús por kilómetro recorrido a velocidad de 25 km/h, siguiendo el mismo patrón lineal expuesto en el caso modelo inicial, para la normativa convencional (2000, 2007) existe un consumo de combustible de 50,13 l/100km de recorrido con una emisión de 1,32 kg/km de CO<sub>2</sub>, para Euro I (2000, 2007, 2015) se mantiene un consumo de combustible de 43,82 l/100km de recorrido con emisión de 1,16 kg/km de CO<sub>2</sub>, para la Euro II (2007, 2015) el consumo de combustible es de 42,67 l/100km de recorrido con emisión de 1,12 kg/km de CO<sub>2</sub> y, finalmente para Euro III (2015) se experimenta un consumo de combustible de 44,37 l/100km de recorrido con una emisión de 1,17 kg/km de CO<sub>2</sub>.
- La proyección según la metodología empleada por COPERT del consumo de combustible y emisiones en escenarios hipotéticos, de flota potencial 50% Euro II – 50% Euro III o flota potencial

100% Euro III, demuestran que si bien es cierto que el consumo de combustible (FC) y emisión de CO<sub>2</sub> aumenta, las estimaciones de emisiones de CO, VOC, NMVOC, CH<sub>4</sub>, NO<sub>x</sub>, NO, N<sub>2</sub>O, material particulado, de carbón y metálico, representan una reducción porcentual favorable que, teóricamente, apoyarían la toma de decisiones políticas hacia la actualización o renovación de la flota de transporte público en la ciudad de Ambato.

#### 5. REFERENCIAS

- [1] D. Gkatzoflias (Emisia S.A.), C. Kouridis (Emisia S.A.), L. Ntziachristos (LAT/AUTH), Z. Samaras (LAT/AUTH). (2012). COPERT IV Users Manual. Thessaloniki, Grecia: Emisia S.A.
- [2] L. Ntziachristos, P. Boulter (2009). EMEP/CORINAIR Atmospheric Emissions Inventory Guidebook chapter on tyre, break and surface wear. EEA.
- [3] L. Ntziachristos, Z. Samaras (2014). EMEP/CORINAIR Atmospheric Emissions Inventory Guidebook chapter on exhaust emissions from road transport. EEA.
- [4] G. Mellios, L. Ntziachristos (2009). EMEP/CORINAIR Atmospheric Emissions Inventory Guidebook chapter on fuel evaporation from gasoline vehicles. EEA.
- [5] Almodóvar, J. A. (2015). Simulación de emisiones y consumo de combustible de la flota de Valladolid con COPERT 4. Valladolid, España: UVA.
- [6] Baumert, K., Herzog, T., & Pershing, J. (2005). Navigating the number: Greenhouse Gas Data

and International Climate Policy. Washington D.C., Estados Unidos: Instituto de Recursos Mundiales.

Medioambientales y Tecnológicas: <http://www.ciemat.es/MCAportal/portal.do;jsessionid>

[7] Bahamonde, A. (2001). Eliminación de NOX en gases de combustión, reducción catalítica selectiva. Madrid: CSIC.

[14] Economiasimple.net. (18 de Agosto del 2011). Consultada en 21 de diciembre de 2015 desde Economía doméstica, factores a tomar en cuenta para ahorrar combustible <http://www.economiasimple.net/factores-a-tener-en-cuenta-para-ahorrar-combustible.html>

[8] Cives Vilar, J. (2011). La sonda lambda como elemento de control de emisiones. Leganés, España: Universidad Carlos III de Madrid.

[9] Clean Air Institute. (2013). Metodologías para la estimación de emisiones de transporte urbano y de carga y guías para la recompilación y organización de datos. Washington D.C., Estados Unidos: CAI Clean Air Institute.

[10] González, R. (2005). Los ciclos de manejo, una herramienta útil si es dinámica para evaluar el consumo de combustible y las emisiones contaminantes del auto transporte. México Distrito Federal, México: UNAM MX.

[11] Macías, J., Martínez, H., & Unal, A. (2010). Bus Technology Meta-Analysis. Bus Technology Meta-Analysis. Reunión anual del Consejo de Investigación sobre el Transporte.

[12] Agencia de protección ambiental EPA. (23 de Julio de 2012). [www.epa.gov](http://www.epa.gov). Consultada en 3 de Enero de 2015 desde Agencia de protección ambiental de los Estados Unidos: <http://www.epa.gov/air/airpollutants.html>

[13] Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas. (15 de Agosto de 2010). [www.ciemat.es](http://www.ciemat.es). Consultada en 3 de Enero de 2016 from Centro de Investigaciones Energéticas,

## 6. BIOGRAFÍA



<sup>1</sup>John Jairo Ceballos, nació en Ambato en 1987. Ingeniero Automotriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Máster en Ingeniería de Automoción en la Universidad de Valladolid. Asesor de desarrollo de proyectos científicos y planificación de planes metodológicos automotrices.



<sup>2</sup>Francisco Tinaut, nació en Valencia el 29 de mayo de 1958. Ingeniero Industrial (Especialidad Energética) por la Universidad Politécnica de Valencia, donde obtuvo el doctorado en 1986. Master of Science in Mechanical Engineering, en la Universidad Carnegie-Mellon de Pittsburgh (EEUU). Catedrático de Máquinas y Motores Térmicos, en el Departamento de Ingeniería Energética y Fluidomecánica de la Universidad de Valladolid. Subdirector General y Director del Área de Energía y Medio Ambiente (fundador, desde julio de 1993) de la Fundación CIDAUT - Centro de

Investigación y Desarrollo en Transporte y Energía. Parque Tecnológico de Boecillo, Valladolid. Secretario de la Asociación Foro de Automoción de Castilla y León - FACYL (promovió la constitución de la asociación en noviembre de 2001); Socio Fundador de la Asociación Española del Hidrógeno AeH2; y Vicepresidente y Socio Fundador de la Asociación Española de Profesionales de Automoción - ASEPA.

REGISTRO DE LA PUBLICACIÓN

Fecha recepción	22 junio 2016
Fecha aceptación	02 diciembre 2016

