

PRINCIPALES COMPONENTES DE LAS EMISIONES GASEOSAS Y CONSUMO DE COMBUSTIBLES DE AUTOBUSES DE SERVICIO URBANO DE PASAJEROS: APLICACIÓN A LA CIUDAD DE MADRID, ESPAÑA.

A. Arenas^(a), P. Argenti Salguero^(a), J. Robin^(a), F. Aparicio Izquierdo^(b), J. López Martínez^(b), F. Jiménez Alonso^(b), N. Flores Holgado^(b).

Facultad de Ingeniería. U.N.Sa

^(a) Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Salta. U.N.Sa. Campo Castañares. Avda. Bolivia 5.150 – Tel/fax 0387 4255470 – <http://www.unsa.edu.ar> - arenaa@unsa.edu.ar
Instituto de Ingeniería y Desarrollo Industrial de Salta (IIDISa)

^(b) Instituto Universitario del Automóvil (INSIA). Ctra de Valencia, km 7. Campus Sur Universidad Politécnica de Madrid. Madrid. 28031. España.

Recibido:23-12-2008 ; Aceptado:02-03-2009.

RESUMEN.- Este estudio es el resultado del trabajo en equipo entre grupos de investigación de la Universidad Nacional de Salta y la Universidad Politécnica de Madrid. Consiste en el análisis estadístico de datos experimentales de muestras del gas de escape de vehículos del transporte público de pasajeros de la Empresa Municipal de Transportes de la ciudad de Madrid. Las muestras son analizadas por el *Sistema de Medición de Emisiones a Bordo Horiba 2200*, y reporta las emisiones de monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrocarburos totales, óxidos de nitrógeno, como así también, consumo de combustible, velocidad instantánea del vehículo y tiempo. Las Emisiones de Partículas se obtienen con el *Sistema de Medida de Partículas en Motores Diesel Maha*. El objetivo del trabajo consiste en vincular las emisiones y consumo con variables cinemáticas del vehículo, como la velocidad y tiempo, a través de un modelo de simulación. Este modelo presenta la ventaja que es aplicable a otros entornos urbanos, se realiza en condiciones reales de explotación, y permite evaluar el consumo energético y el impacto ambiental, aspectos de gran interés en el campo social, económico y político. El modelo lineal obtenido presenta buen ajuste y permite inferir las emisiones y consumo energético a través de una formulación sencilla.

Palabras claves: contaminación atmosférica, emisiones locales y globales, consumo de combustibles fósiles, transporte público urbano, transporte sostenible.

MAIN COMPONENTS OF GASEOUS EMISSIONS AND FUEL CONSUMPTION OF THE URBAN PUBLIC TRANSPORT SYSTEM: THE APPLICATION TO MADRID, SPAIN.

ABSTRACT.- This study is the result of teamwork between research groups at the Universidad Nacional de Salta and the Universidad Politécnica de Madrid. It consists of the statistical analysis of experimental data from samples of the exhaust of vehicles of public transport of passengers of the Municipal Transport Company of Madrid. The samples are analyzed by the Emission Measurement System on Board *HORIBA 2200*, and report emissions of carbon monoxide, carbon dioxide, total hydrocarbons, oxides of nitrogen, as well also, fuel consumption, vehicle speed and time. Particles emissions are obtained with the *MAHA Diesel Particle Measurement System*. The aim of this work is to obtain emissions and consumption in terms of the kinematic variables of the vehicle, such as speed and time through a simulation model. This model has the advantage that it is applicable to other urban environments, is conducted in real conditions of exploitation, and it could be useful to assess the energy consumption and environmental impact, two aspects of great interest in the social, economic and political development. The linear model obtained presents good fit and makes it possible to calculate the emissions and energy consumption through a simple formulation.

Keywords: atmospheric pollutants, local and global emissions, fuel consumption, public urban transport, sustainable transport system.

1. INTRODUCCIÓN

La presencia de sustancias y partículas ajenas a la composición normal del aire ha ido en aumento en los últimos años. Las fuentes de emisiones de gases y partículas son las combustiones de distintos combustibles en centrales térmicas de producción de energía convencionales, en la

industria en general (hornos, calderas, etc.) y en motores de combustión interna de vehículos (uso particular, uso industrial, servicios de transporte urbano de pasajeros, etc.). El esmog (*unión de las palabras smoke y fog*) es la manifestación física de la contaminación en el aire. Está compuesto por pequeñas gotas de agua que contienen productos de las reacciones químicas que se transforman en

el aire por la presencia de componentes no naturales (contaminantes).

Los principales contaminantes en el aire, también llamado esmog fotoquímico, se producen a bajas altitudes, por la combinación de óxido nítrico (NO), de los hidrocarburos no quemados, emitidos a la atmósfera por motores de combustión interna y otras fuentes. Otros hidrocarburos, que se evaporan fácilmente, se denominan COVs, (Baird, 2001) y participan de las reacciones de contaminación fotoquímica. Estas sustancias, en presencia de oxígeno y bajo la acción de la luz solar, se convierten en ozono, ácido nítrico y compuestos orgánicos parcialmente oxidados.

En septiembre de 2005, la Organización Mundial de la Salud (OMS) señaló que 300.000 personas mueren prematuramente en Europa debido a la exposición a finas partículas del ambiente. Las distintas emisiones de gases que son productos de la combustión modifican el medio ambiente y por tanto, la composición de la atmósfera. Ésta, se divide en dos regiones, de acuerdo a su composición química (Pasquali, 2003). La más cercana a la superficie de la tierra y que se extiende hasta 80 ó 100 km aproximadamente, se llama *homosfera*. La segunda región es la denominada *heterosfera* y se caracteriza porque no presenta uniformidad en la composición química. En la *homosfera*, los gases que están presentes en una proporción constante, son el oxígeno (O₂), y nitrógeno (N₂), que constituyen el 21 y 78 % en volúmenes, respectivamente. El oxígeno participa en la respiración de seres vivos y en las reacciones de combustión. El nitrógeno es un inerte a la temperatura ambiente, sólo reacciona en condiciones extremas, como por ejemplo, cuando se producen descargas eléctricas en la atmósfera o en reacciones de combustión donde se alcanzan altas temperaturas (superiores a 1000 °C). Otros gases que mantienen una proporción constante son los gases nobles, como el argón siendo el más abundante (0.9 % en volumen). Estos gases son inertes químicamente y por lo tanto, no tienen interés desde el punto de vista ambiental.

Los otros gases, que se encuentran en proporciones variables en la *homosfera*, son el dióxido de carbono (CO₂), vapor de agua (H₂O (g)), ozono (O₃), y metano (CH₄), provocan el efecto invernadero absorbiendo la radiación solar. También están presentes en proporción variable, pero en menor cantidad, dióxido de azufre (SO₂), monóxido (NO) y dióxido de nitrógeno (NO₂), amoníaco (NH₃), CH₄ y CO.

El SO₂ y los óxidos de nitrógeno (NO_x) producen el denominado esmog y también la lluvia ácida. El CO afecta la oxigenación celular de las personas y animales.

Este trabajo presenta los modelos de las emisiones y consumo de combustible, en función de variables cinemáticas obtenidas de la explotación de los vehículos del transporte urbano de pasajeros (líneas 27 y 145).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Las emisiones de los gases de combustión; CO, CO₂, NO_x, combustible no quemado y el consumo de combustible se han determinado utilizando un equipo a bordo del vehículo, On Board Emisión Measurement System OBS - 2200, marca HORIBA (SMaB). El equipo de medición utiliza un tubo de Pitot para la medida de caudal de gas de escape, un detector infrarrojo (NDIR) para CO y CO₂, detector de ionización de llama (FID) para la medición de hidrocarburos

totales (THC), un detector de luminiscencia química (CLD) para la medida de los óxidos y dióxidos de nitrógeno (NO_x). La toma de muestra se realiza a través de un conducto conectado al caño de escape. El registro de las emisiones de gases y consumo de combustible se realizan cada segundo, con plaqueta de adquisición de datos a una computadora portátil, con software específico.

A modo de ejemplo se muestra en la tabla 1, el detalle de las emisiones de gases y consumo de combustible que reporta el equipo de mediciones. En la misma, se observa que las emisiones de CO, CO₂, NO_x, THC, partículas (P) y consumo de combustible se expresan en gramos por segundo (g/s), y el acumulado de masa de gas por kilómetro (km) recorrido en g/km. El consumo de combustible se obtiene por el balance de masa que realiza el equipo de medición en base a las emisiones de CO y CO₂ y THC.

Tabla 1. Datos de salida del detector HORIBA

Titulo del test				
Vehículo	Fecha del test:			
Emisiones en masa				
CO	29.141	g	179.217	g/km
CO ₂	460.996	g	2835.122	g/km
THC	0.290	g	1.783	g/km
NMHC	0.000	g	0.000	g/km
NO _x	0.969	g	5.959	g/km
NO _x (corregido)	0.862	g	0.8625.301	g/km
Fuel	160.653	g	0.860	g/km



Fig. 1. Reporte de emisiones y consumos del HORIBA.

En la figura 1 se muestra el registro de emisiones y consumos del equipo HORIBA, el mismo incluye la fecha, la identificación del vehículo utilizado en la prueba o test, y el título de la prueba. El equipo cuenta además con un sistema GPS que reporta la ubicación exacta del móvil y la velocidad que desarrolla el vehículo.

De la flota de transporte urbana de pasajeros de la ciudad de Madrid, se han seleccionado dos líneas de diferente recorrido para el estudio. El vehículo de la línea seleccionada se acondiciona especialmente para la prueba, lleva a bordo los equipos de medida y determinada condición de carga; media y plena carga, que se simulan mediante la colocación de pesos en el interior del autobús.

En media carga se incorporan 2500 kg y en plena carga, otros 1500 kg más. La condición de explotación del vehículo sin carga se denomina *vacío*, y representa la condición en la que el vehículo realiza su recorrido sin carga alguna.

El estudio de los datos experimentales se realiza sobre ciclos separados definidos por el estado de movimiento del vehículo. Se definen ciclos de movimiento y ciclos de parada del vehículo. Los datos originales de las pruebas obtenidas por el sistema de medición a bordo son procesados en el Programa *MATLAB*, para obtener la separación de ciclos. De esta manera, para cada línea considerada, la Línea 27 y la 145, en las condiciones de carga; Media Carga (MC) y Vacío (V), y el tipo de combustible utilizado (Gasoil) se obtienen datos de *Ciclos de Movimiento* (CiMov) y *Ciclos de Parada* (CiPa) en archivos diferentes. La línea 145, si bien es una línea urbana, un tramo de su recorrido es interurbano. La línea 27 es típicamente urbana.

Los datos de ciclos de movimiento, están resumidos en la velocidad media [Km/h], el tiempo que dura el ciclo, cantidad de gases y sustancias emitidas por segundo, en [g/s] y el consumo de combustible en [g/s].

Los datos de ciclos de parada están representados por: el tiempo que dura el ciclo, la cantidad de gases y sustancias emitidos por segundo [g/s] y el consumo de combustible (g/s). La variable velocidad en el ciclo de parada es cero.

El objetivo de este trabajo es el de desarrollar modelos de simulación con base estadística, que vinculen las emisiones y el consumo con las variables cinemáticas del vehículo, obtenidas de las medidas experimentales del equipo a bordo. El sistema a bordo para la medición de emisiones es un sistema costoso, pero de gran interés, por cuanto se pueden obtener los factores de emisión y de consumo de combustible, para una flota de vehículos en las condiciones de explotación reales.

En este estudio se muestra un modelo lineal para emisiones y consumo para vehículos del transporte urbano de pasajeros, con motores de combustión diesel.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis de las variables. Modelo de regresión de las emisiones y el consumo con la velocidad instantánea.

En primer lugar se ha analizado el comportamiento de las variables y las correlaciones entre ellas. Las variables consideradas son: la velocidad instantánea del vehículo, el tiempo, las emisiones y consumo de combustible. El test estadístico realizado conduce a rechazar la hipótesis nula de distribución normal de las variables velocidad instantánea, emisiones y consumo de combustible, (nivel de significancia $\alpha = 5\%$).

A modo de ejemplo, en las figuras 2 y 3 se muestran los gráficos de probabilidad normal y los resultados del estudio de normalidad para la velocidad instantánea y emisión de CO_2 .

En el análisis de regresión de las emisiones y consumo en función de la velocidad instantánea para los CiMov, y emisiones y consumo versus el tiempo para los CiPa del vehículo, se obtienen valores del coeficiente de

determinación muy bajos (menores que 0.6), por lo cual se han definido otras variables.

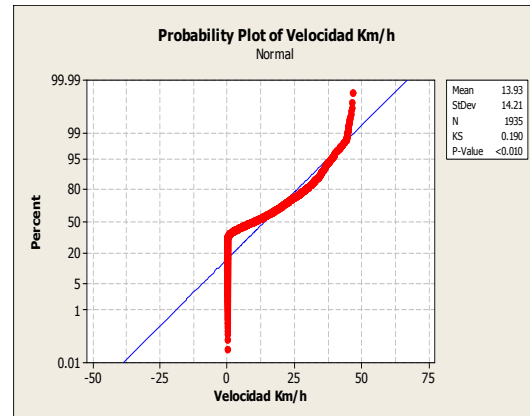


Fig.2: Gráfica de probabilidad normal para la velocidad instantánea del vehículo.

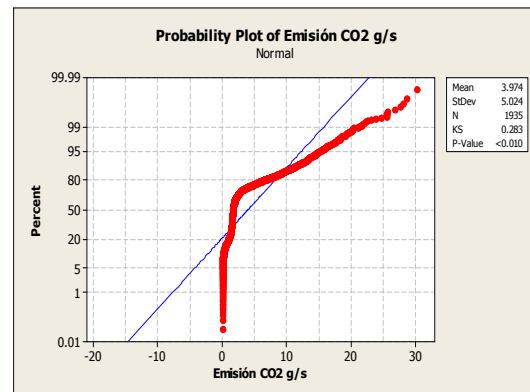


Fig. 3: Gráfica de probabilidad normal para la emisión de CO_2 . Correlación de emisiones y consumos con la velocidad instantánea

3.2. Modelo de regresión de las emisiones y el consumo con la velocidad media.

Las nuevas variables elegidas para caracterizar el ciclo correspondiente, son la *velocidad media*, *tiempo de duración del ciclo de movimiento* y *tiempo de parada*. El análisis de normalidad realizado indica que la *velocidad media* que se distribuye normalmente (*Teorema del Limite Central*). Las otras variables: emisiones acumuladas en ciclos de CiMov y CiPa también presentan una mejor aproximación a la distribución normal. En las figuras 4 y 5 se muestran los gráficos de probabilidad normal de la *velocidad media* y la *emisión de CO_2* de la línea 27, en condición de media carga, respectivamente.

En las figuras 6 y 7 se analizan las variables *tiempo de parada* y *emisión de CO_2* para los ciclos de parada.

En los mismos se observa un comportamiento similar al de los ciclos de movimiento, para las variables: *tiempo de parada* y *emisión de CO_2* .

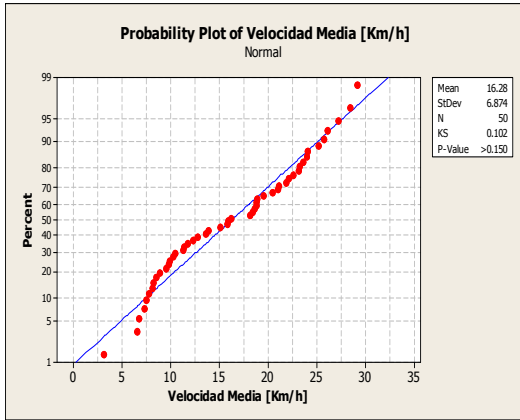


Fig.4: Gráfica de probabilidad normal para la velocidad media del ciclo de movimiento, línea 27, MC.

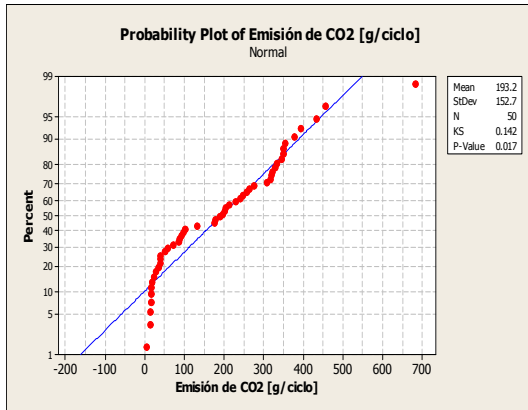


Fig. 5: Gráfica de probabilidad normal para la emisión acumulada de CO₂ en el ciclo de movimiento, línea 27, MC.

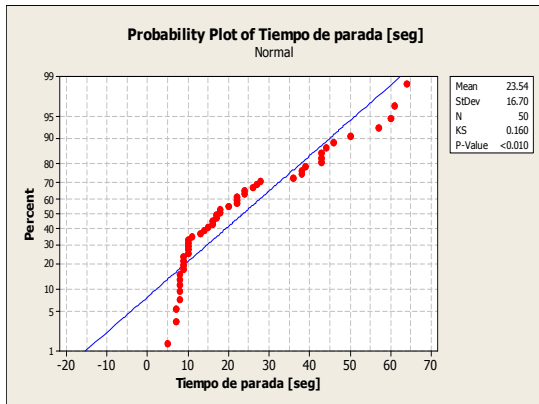


Fig. 6: Gráfica de probabilidad normal para el tiempo de ciclo de parada, línea 27, MC.

Se ha realizado el análisis de las emisiones de THC, CO y Partículas en los ciclos de parada, y los resultados obtenidos indican que es posible asumir errores de medición en origen, por lo que se han excluido del presente análisis.

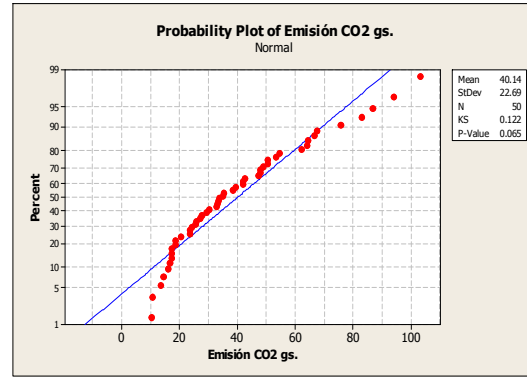


Fig. 7: Gráfica de probabilidad normal para la emisión de CO₂ en el ciclo de parada, línea 27, MC.

Se han ajustado modelos explicativos lineales y cuadráticos, para las variables dependientes: emisiones y consumo. Para comentar los resultados se ha adoptado el modelo lineal:

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \cdot x \quad (1)$$

que explica satisfactoriamente el fenómeno físico. El modelo cuadrático no aporta mejoras significativas al estudio. El ajuste de los modelos tanto de emisiones como de consumo, en función de la velocidad media es excelente (coeficientes de determinación $R^2 \geq 0,80$). En la figura 8 se muestra la recta de regresión para la emisión de CO₂ en función de la velocidad media, su expresión matemática y el valor del coeficiente de determinación R^2 .

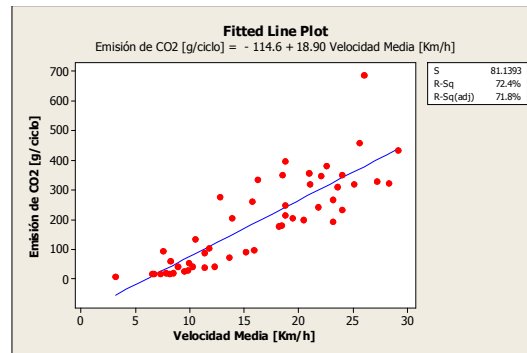


Fig. 8: Gráfica de la recta de regresión, su expresión matemática y el valor del coeficiente de determinación R^2 para la emisión de CO₂ en el ciclo de movimiento, línea 27, MC.

3.2. Modelo de regresión de las emisiones y el consumo con velocidad media por tiempo de ciclo.

En los CiMov se definió la nueva variable independiente *velocidad media por tiempo de duración* (*velocidad media x TC*, que se puede interpretar como el espacio recorrido durante el ciclo), para caracterizar el ciclo y el modelo de regresión para la emisión de CO₂ provee un mejor ajuste. En la figura 9 se muestra la recta de regresión, su expresión matemática y el valor del R^2 .

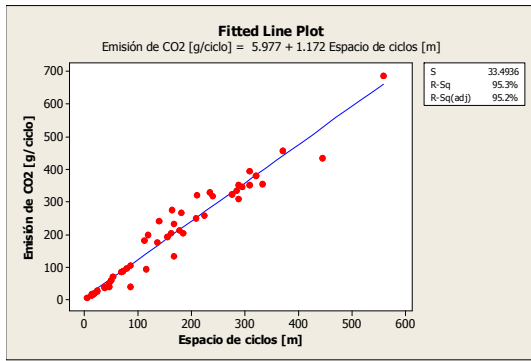


Fig. 9: Gráfica de la recta de regresión, su expresión matemática y el valor del R². Emisión de CO₂ en el ciclo de movimiento, línea 27, MC en función del espacio recorrido.

En las tablas 2 y 3 se muestran los resultados obtenidos para las Líneas 27 y 145 en ciclos de movimiento (CiMov), en condiciones de media carga y en condición de vacío, de los vehículos con motor de combustión interna de gasoil. La variable independiente es la velocidad media por el tiempo de duración del ciclo.

Tabla 2. Modelos de Regresión Lineal entre emisiones y consumo versus velocidad media por tiempo, en CiMov Línea 27, condición de MC y V, combustible gasoil.

NR: dato que no se reporta.
Consumo: es el consumo de combustible en gramos por ciclo (gasoil)

Línea 27 en condición de Media Carga		
Variable dependiente	Variable independiente	R ²
Emisión de CO ₂ [g/ciclo]	Velocidad Media [Km/h]	0.724
	Velocidad media por tiempo [m]	0.953
Emisión de THC [g/ciclo]	Velocidad media por tiempo [m]	0.619
Emisión de NOx [g/ciclo]	Velocidad media por tiempo [m]	0.923
Emisión Partículas [g/ciclo]	Velocidad media por tiempo [m]	0.740
Consumo [g/ciclo]	Velocidad media por tiempo [m]	0.953
Línea 27 en condición de Vacío		
Variable dependiente	Variable independiente	R ²
Emisión de CO ₂ [g/ciclo]	Velocidad media por tiempo [m]	0.771
Emisión de THC [g/ciclo]	Velocidad media por tiempo [m]	0.701
Emisión de NOx [g/ciclo]	Velocidad media por tiempo [m]	0.773
Emisión Partículas [g/ciclo]	Velocidad media por tiempo [m]	NR
Consumo [g/ciclo]	Velocidad media por tiempo [m]	0.771

En las tablas 4 y 5 se muestran los resultados obtenidos para las Líneas 27 y 145 en ciclos de Parada (CiPa), en condiciones de media carga y en condición de vacío, de los vehículos con motor de combustión interna de gasoil. La variable independiente es el tiempo de duración del ciclo (TC*). En la tabla 2, el ajuste del modelo para la emisión de

dióxido de carbono, con la variable independiente velocidad media por tiempo de ciclo (R² = 0.953) es significativamente mejor que el modelo con velocidad media, tanto en condiciones de media carga como en vacío.

Los otros modelos (Tabla 2) (emisiones de THC, NOx, P, y consumo), también muestran un mejor ajuste con la variable velocidad media por tiempo.

Tabla 3. Modelos de Regresión Lineal entre emisiones y consumo versus velocidad media por tiempo, en CiMov Línea 145, MC y V, combustible gasoil.

Línea 145 en condición de Media Carga		
Variable dependiente	Variable independiente	R ²
Emisión de CO ₂ [g/ciclo]	Velocidad media por tiempo[m]	0.931
Emisión de THC [g/ciclo]	Velocidad media por tiempo[m]	0.921
Emisión de NOx [g/ciclo]	Velocidad media por tiempo[m]	0.881
Emisión de P [g/ciclo]	Velocidad media por tiempo[m]	0.973
Consumo [g/ciclo]	Velocidad media por tiempo[m]	0.931
Línea 145 en condición de Vacío		
Variable dependiente	Variable independiente	R ²
Emisión de CO ₂ [g/ciclo]	Velocidad media por tiempo[m]	0.898
Emisión de THC [g/ciclo]	Velocidad media por tiempo[m]	0.737
Emisión de NOx [g/ciclo]	Velocidad media por tiempo[m]	0.865
Emisión de P [g/ciclo]	Velocidad media por tiempo[m]	0.843
Consumo [g/ciclo]	Velocidad media por tiempo[m]	0.898

Tabla 4. Modelos de Regresión Lineal entre emisiones y consumo versus tiempo de ciclos de paradas (TC*), en CiPa. Línea 27, condición de MC y V, combustible gasoil. NR: dato que no se reporta.

Línea 27 en condición de Media Carga		
Variable dependiente	Variable independiente	R ²
Emisión de CO ₂ [g/ciclo]	TC* [seg]	0.903
Emisión de THC [g/ciclo]	TC* [seg]	0.241
Emisión de NOx [g/ciclo]	TC* [seg]	0.978
Emisión de P [g/ciclo]	TC* [seg]	0.300
Consumo [g/ciclo]	TC* [seg]	0.903
Línea 27 en condición de Vacío		
Variable dependiente	Variable independiente	R ²
Emisión de CO ₂ [g/ciclo]	TC* [seg]	0.848
Emisión de THC [g/ciclo]	TC* [seg]	0.375
Emisión de NOx [g/ciclo]	TC* [seg]	0.827
Emisión de P [g/ciclo]	TC* [seg]	NR
Consumo [g/ciclo]	TC* [seg]	0.848

Tabla 5. Modelos de Regresión Lineal entre emisiones y consumo versus tiempo de ciclo de Paradas en CiPa. Línea 145, MC y V, combustible gasoil.
NR: dato que no se reporta

Línea 145 en condición de Media Carga		
Variable dependiente	Variable independiente	R ²
Emisión de CO ₂ [g/ciclo]	TC* [seg]	0.794
Emisión de THC [g/ciclo]	TC* [seg]	0.069
Emisión de NOx [g/ciclo]	TC* [seg]	0.820
Emisión de P [g/ciclo]	TC* [seg]	NR
Consumo [g/ciclo]	TC* [seg]	0.794
Línea 145 en condición de Vacío		
Variable dependiente	Variable independiente	R ²
Emisión de CO ₂ [g/ciclo]	TC* [seg]	0.982
Emisión de THC [g/ciclo]	TC* [seg]	0.902
Emisión de NOx [g/ciclo]	TC* [seg]	0.988
Emisión de P [g/ciclo]	TC* [seg]	NR
Consumo [g/ciclo]	TC* [seg]	0.982

El Análisis de Varianzas (ANOVA) confirma que el modelo lineal propuesto es adecuado, por lo que se debe rechazar la hipótesis nula de “No adecuación al modelo lineal”, como lo establecen los estadísticos F₀ y el “valor p” menor que el nivel de significancia “α” (con α = 5 %). En la tabla 6, se presenta, el análisis de varianza correspondiente al contraste realizado para el modelo de emisión de CO₂ en función del espacio del ciclo.

Tabla 6. Análisis de varianza (ANOVA). Modelo de emisión de CO₂ en función del espacio del ciclo.

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1089147.4	1	1089147.4	970.838	.000
	Residual	53849.418	48	1121.863		
	Total	1142996.8	49			

a. Predictors: (Constant), Espacio del ciclo [m]

b. Dependent Variable: Emisión CO₂ [g/ciclo]

La validación de los diferentes modelos ajustados se ha realizado mediante el análisis de residuos. Los residuos se suponen normalmente distribuidos con media cero y varianza constante. En caso de no cumplirse estas condiciones se invalidaría el modelo analizado. En la mayoría de los casos los residuos presentan distribución normal. En la figura 10 se muestra el histograma de residuales para CO₂.

Otra prueba de validación realizada es el gráfico de probabilidad normal. En la figura 11, se muestra el Gráfico de Probabilidad Normal de residuos del modelo de CO₂.

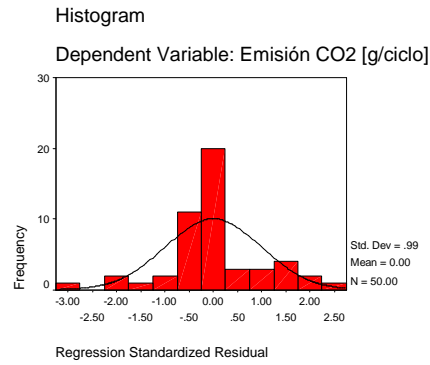


Fig. 10: Histograma de residuos del modelo de emisión de CO₂ en el ciclo de movimiento, línea 27, MC.

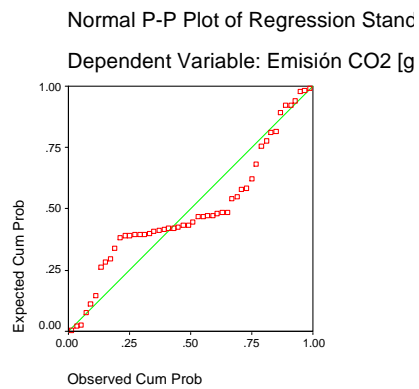


Fig. 11: Gráfico de Probabilidad Normal de residuos del modelo de emisión de CO₂ en el ciclo de movimiento, línea 27, MC.

La validación de residuos mediante el gráfico de Residuales vs. la variable dependiente, constituye otra herramienta muy útil para la validación de modelos. En este caso, los puntos deben encontrarse dispersos en un área definida en forma de rectángulo de tal manera que no se observe ninguna tendencia, que en caso contrario conduciría a asumir que se viola la hipótesis de homogeneidad de la varianza. En la figura 12 se muestra el Gráfico de Residuos vs. la variable dependiente emisión de CO₂.

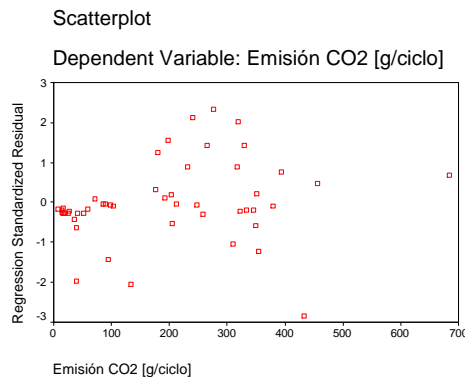


Fig. 12: Gráfico de Residuos vs. emisión de CO₂ en el ciclo de movimiento, línea 27, MC.

4. CONCLUSIONES

- Se han realizado una gran cantidad de horas de ensayos experimentales con el sistema de medición a bordo HORIBA 2200, en dos líneas de servicio del transporte urbano de pasajeros en la ciudad de Madrid. Estos datos se han analizado estadísticamente para determinar su comportamiento y ajustar los distintos modelos explicativos.
- El estudio se ha realizado en condiciones simuladas de explotación real de la flota de vehículos, a diferencia de otros modelos que se pueden obtener en bancos de prueba.
- Se han ajustado dos tipos de modelos: lineales y cuadráticos para explicar las variables emisiones y consumo de gasoil, en función de variables cinemáticas de los vehículos.
- El modelo lineal es el que proporciona el mejor ajuste estadístico de los datos disponibles. El coeficiente de determinación R^2 es muy próximo a uno, lo cual es indicativo que los errores de la predicción de la variable dependiente, en función de las explicativas, son pequeños.
- Los mejores modelos ajustados para las emisiones y el consumo de combustible son en función de la *velocidad media por tiempo* para los ciclos de movimiento. En cambio, los mejores modelos para

los ciclos de parada, son función del *tiempo de ciclo*.

- Estos modelos presentan la ventaja que son aplicables a otros entornos urbanos, en caso de disponibilidad de datos de explotación de las flotas correspondientes.
- Permiten evaluar el consumo de combustible y el impacto ambiental de las emisiones del sector de transporte de pasajeros, aspectos que son muy actuales y revisten gran interés en el campo social, económico y político en entornos urbanos.

REFERENCIAS

- Baird C. (2004) *Química Ambiental*, 1ª. Edición, pp. Editorial Reverté S.A., Barcelona.
- Mendenhall, W. y Sincich, T. (1997) *Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias*, 4ª edición, Prentice-Hall Hispanoamericana S.A., México.
- Pasquali, R. C. (2003) *Química Ambiental*, 1ª edición, Librería AKADIA Editorial, Buenos Aires.
- Peña, D. (2002) *Regresión y diseño de experimentos*, 1ª. Edición. Alianza Editorial S.A, Madrid.
- Peña, D. (2008) *Fundamentos de Estadística*, 1ª. Edición. Alianza Editorial, Madrid.