



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

"Medición del tráfico a través de
drones para la estimación del
consumo y emisiones de
contaminantes en carreteras."

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Aeroespacial

AUTOR/A: Aroca García, Enrique

Tutor/a: Bares Moreno, Pau

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

Mecida y contenida en un cráneo humano, enclaustrada en tenebrosa reclusión, fatigada de ir consumiendo los años, yace hoy dormida una mente. Arrullada por la voz del maestro y el áureo brillo de la pantalla del televisor; mantenida en procesión por las caricias del mundo y el constante zumbido de la prensa publicitaria. La marioneta detesta la luz, llega la tragedia y muestra la verdad. Hay un camino mejor para la vida, y la mente despierta a la luz del día.

Laurence J. Peter

Índice de contenidos

Índice de contenidos	4
Índice de figuras	7
Índice de tablas	8
Resumen	9
Nomenclatura	10
I Memoria	12
1. Introducción	13
1.1. Descripción general	13
1.2. Justificación y antecedentes	13
1.3. Objetivos	15
1.4. Estructura del proyecto	15
Parte I. Memoria	16
Parte II. Pliego de condiciones	16
Parte III. Presupuesto	16
Parte IV. Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)	16
2. Modelado de los vehículos	16
2.1. Tipo de vehículo y motorización	17
2.2. Parámetros principales del vehículo	18
2.3. Mapas motor	19
2.4. Ecuaciones del comportamiento del vehículo y motor	23
2.5. Resultados sobre conducción real	24
2.6. Gasto másico de combustible y consumo de combustible	25
2.7. Emisión de CO_2	29
2.8. Emisión de NOx	29
2.9. Emisión de CO	33
2.10. Conclusiones	36

3. Simulaciones de tráfico analizadas	37
3.1. Avenida de los Naranjos	37
3.2. Autovía A-3 desde kilómetro 332 hasta 340	38
3.3. Simulación con SUMO	41
3.3.1. Obtención de los mapas	41
3.3.2. Definición de flujos	42
3.3.3. Definición de semáforos	46
4. Análisis y comparación de datos	49
4.1. Simulaciones de tráfico en ámbito urbano	49
4.1.1. Consumo de combustible	50
4.1.2. Emisión de CO_2	51
4.1.3. Emisión y concentración de NOx	52
4.1.4. Emisión de CO	56
4.2. Estudio de contaminantes mediante dron en autovía	59
4.2.1. Consumo de combustible	61
4.2.2. Emisión de CO_2	63
4.2.3. Emisión y concentración de NOx	64
4.2.4. Emisión y concentración de CO	68
4.3. Análisis de los errores de los datos tomados por el UAV	72
4.4. Conclusiones y estudios futuros	74
II Pliego de condiciones	77
1. Introducción	78
2. Condiciones generales	78
2.1. Condiciones técnicas	86
2.1.1. Especificaciones del software y hardware	86
2.1.2. Conocimientos necesarios	87
2.1.3. Supervisión del proyecto	88
III Presupuesto	89

1. Introducción	90
2. Costes	90
2.1. Coste del Software	91
2.2. Coste del Hardware	92
2.3. Coste de los trabajadores	93
2.4. Coste del lugar de trabajo	93
2.5. Coste del desplazamiento	94
2.6. Coste total del estudio	94
IV Objetivos de Desarrollo Sostenible	96
1. Introducción	97
2. Relación de los ODS con el estudio	97
Referencias	102

Índice de figuras

1.	Imagen tomada de la ficha técnica del Mercedes-Benz Citaro Hybrid [2].	22
2.	Velocidad en función del tiempo.	26
3.	Gasto másico de combustible en función del tiempo. En rojo el coche con motorización gasolina, en azul el coche con motorización diésel y en verde el autobús con motorización diésel.	27
4.	Consumo de combustible en función del tiempo. En rojo el coche con motorización gasolina, en azul el coche con motorización diésel y en verde el autobús con motorización diésel.	28
5.	Emisión de CO_2 en función del tiempo. En rojo el coche con motorización gasolina, en azul el coche con motorización diésel y en verde el autobús con motorización diésel.	30
6.	Gasto másico de NO_x con SCR en función del tiempo. En azul el coche con motorización diésel y en verde el autobús con motorización diésel.	31
7.	Concentración de especies contaminantes en el coche gasolina. En discontinuo los valores antes del postratamiento y en continuo los valores después del postratamiento. [3]	35
8.	Gasto másico de CO en función del tiempo (coche gasolina).	35
9.	Figura extraída de Google Earth donde se ve el primer tramo a estudiar (Av. de los Naranjos), de rotonda a rotonda.	38
10.	Figura extraída de UAV Works donde se observa el VALAQ 120 [5].	39
11.	Figura extraída de Google Earth donde se ve el segundo tramo a estudiar (autovía A-3).	40
12.	Selección realizada en la herramienta OSM Web Wizard for SUMO.	42
13.	Mapa del tramo de la A-3 de la selección realizada con OSM Web Wizard for SUMO.	43
14.	Mapa del tramo de Av. de los Naranjos de la selección realizada con OSM Web Wizard for SUMO.	44

15.	Mapa de las diferentes rutas con sus identificadores de Av. de los Naranjos.	46
16.	Mapa de las diferentes puntos kilométricos donde se ubican las cámaras en la autovía A-3.	47
17.	Ficha de la programación del semáforo.	48
18.	Programación de un semáforo de la Av. de los Naranjos. A la izquierda, se aprecian las fases verde (G), ambar (y) y rojo (r).	48
19.	Consumo total de combustible desde las 06:30 de la mañana hasta las 21:30 de la noche. En rojo los coches con motorización gasolina, en azul los coches con motorización diésel y en verde los autobuses.	50
20.	Emisión total de CO_2 desde las 06:30 de la mañana hasta las 21:30 de la noche. En rojo los coches con motorización gasolina, en azul los coches con motorización diésel y en verde los autobuses.	52
21.	Emisión total y concentración de NO_x desde las 06:30 de la mañana hasta las 21:30 de la noche. En azul la emisión total y en rojo la concentración del coche diésel y el autobús.	55
22.	Mapa de concentración de NO_x en partes por millón (PPM) en el tramo estudiado de la Av. de los Naranjos en función de la longitud de la vía y de la hora del día.	56
23.	Emisión total y concentración de CO desde las 06:30 de la mañana hasta las 21:30 de la noche. En azul la emisión total y en rojo la concentración.	57
24.	Mapa de concentración de CO en partes por millón (PPM) en el tramo estudiado de la Av. de los Naranjos en función de la longitud de la vía y de la hora del día.	59
25.	Consumo total de combustible desde las 06:30 de la mañana hasta las 21:30 de la noche. En rojo los datos reales de coches con motorización gasolina, en azul los datos reales de coches con motorización diésel y en verde los datos reales de autobuses. En el mismo color pero con la línea punteada se representan los datos tomados por el UAV respectivamente.	62

26.	Emisión total de CO_2 desde las 06:30 de la mañana hasta las 21:30 de la noche. En rojo los datos reales de coches con motorización gasolina, en azul los datos reales de coches con motorización diésel y en verde los datos reales de camiones. En el mismo color pero con la línea punteada se representan los datos tomados por el UAV respectivamente.	64
27.	Emisión total y concentración de NO_x desde las 06:30 de la mañana hasta las 21:30 de la noche. En la primera gráfica (emisión total): en azul los datos reales de coches con motorización diésel y en verde los datos reales de camiones. En el mismo color pero con la línea punteada se representan los datos tomados por el UAV respectivamente. En la segunda gráfica (concentración): en rojo la curva que representa los datos reales, y en azul la curva que representa los datos tomados por el UAV.	66
28.	Mapa de concentración de NO_x en partes por millón (PPM) en el tramo estudiado de la autovía A-3 en función de la longitud de la vía.	68
29.	Emisión total y concentración de CO desde las 06:30 de la mañana hasta las 21:30 de la noche. En rojo los datos reales y en el mismo color pero con la línea punteada se representan los datos tomados por el UAV.	70
30.	Mapa de concentración de CO en partes por millón (PPM) en el tramo estudiado de la autovía A-3 en función de la longitud de la vía.	71
31.	Histograma del error relativo en valor absoluto del consumo de combustible, emisión de NO_x , emisión de CO y sus respectivas concentraciones.	73

Índice de tablas

1.	Valor de los parámetros principales según tipo de vehículo. . .	19
2.	Mapa motor de posición del pedal del acelerador [%] (eje vertical) frente a velocidad de giro del motor [rpm] (eje horizontal) representando el par.	20
3.	Número de vehículos por hora en Av. de los Naranjos según número de ruta a las 18:30 un miércoles.	45
4.	Número de vehículos por hora en autovía A-3 según cámara de tráfico a las 18:30 un miércoles.	47
5.	Número de vehículos por hora en autovía A-3 según las cámara de tráfico desde las 06:30 hasta las 21:30 un miércoles.	61
6.	Desglose del coste total del trabajo.	95
7.	Grado de relación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible con el estudio.	98

Resumen

Este trabajo trata de analizar la viabilidad de una aplicación comercial que permita obtener una estimación de la contaminación en carreteras a partir del vuelo de drones en determinadas áreas.

Los contaminantes de estudio elegidos han sido los NO_x , CO_2 y CO emitidos por vehículos diésel y gasolina, para lo que se han utilizado tres modelos de vehículos representativos: vehículo ligero de encendido por compresión (diésel), vehículo ligero de encendido provocado (gasolina) y vehículo pesado de encendido por compresión (diésel).

Para estimar el tráfico existente se propone la utilización de simuladores de tráfico a los que se debe proporcionar información puntual del número de vehículos en algunos puntos.

El trabajo actual utiliza espiras electromagnéticas en ambiente urbano y cámaras de tráfico en carretera para reproducir condiciones de tráfico realistas y busca estimar el error posible al conocer la contaminación existente mediante UAV que puedan sobrevolar la zona en ciertas zonas horarias.

Nomenclatura

Acrónimos

- **UPV** - Universitat Politècnica de València
- **TFG** - Trabajo Fin de Grado
- **ETSID** - Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño
- **CMT** - Centro de Motores Térmicos
- **SUMO** - Simulation of Urban MObility
- **OSM** - OpenStreetMap
- **PGC** - Potencial de Calentamiento Global
- **GEI** - Gases de Efecto Invernadero
- **ZBE** - Zonas de Bajas Emisiones
- **ODS** - Objetivos de Desarrollo Sostenible
- **NO_x** - Óxidos de nitrógeno
- **SCR** - Selective Catalytic Reduction
- **EMT** - Empresa Municipal de Transporte
- **DGT** - Dirección General de Tráfico
- **OMS** - Organización Mundial de la Salud
- **UAV** - Unmanned Aerial Vehicle
- **VTOL** - Vertical Take-Off and Landing

Símbolos

- R_w - Radio de la rueda [m]
- C_D - Coeficiente de resistencia aerodinámica $[-]$
- A_p - Área frontal proyectada [m^2]

- m - Masa del vehículo [kg]
- μ - Coeficiente de rozamiento [-]
- I_w - Inercia de la rueda [$\frac{kg}{m^2}$]
- l - Longitud del vehículo [m]
- ρ - Densidad del aire [$\frac{kg}{m^3}$]
- v - Velocidad del vehículo [$\frac{m}{s}$]
- g - Gravedad de la Tierra [$\frac{m}{s^2}$]
- a - Aceleración del vehículo [$\frac{m}{s^2}$]
- λ - Relación aire-combustible [-]
- c - Constante de corrección de concentración de contaminantes de modelos vehiculares [-]

Parte I

Memoria

1. Introducción

El documento que aquí se expone supone la memoria realizada del Trabajo Final de Grado de la titulación Grado en Ingeniería Aeronáutica impartida por la Universitat Politècnica de València (UPV), en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño (ETSID), correspondiente a la promoción de los años 2019 a 2023. Dicho trabajo se ha realizado en el Centro de Motores Térmicos (CMT).

1.1. Descripción general

En el presente documento se realizan una serie de simulaciones, seguidas de sus análisis, secundadas por los datos de tráfico del Ayuntamiento de València que ayudan a entender la relación existente entre el tráfico, las emisiones contaminantes y el consumo de combustible.

Así mismo se estudia la viabilidad de extraer los datos de consumo de combustible y emisiones contaminantes de la autovía A-3 mediante un UAV.

Para llevar a cabo estas simulaciones se ha hecho uso del programa SUMO, que es capaz de otorgarnos los datos necesarios para extraer los contaminantes y consumo; y el programa Matlab, con el se han tratado los datos y se ha realizado un análisis de ellos.

1.2. Justificación y antecedentes

En primer lugar, este trabajo se halla motivado por el interés de realizar una evaluación de las concentraciones de las principales especies contaminantes de los productos de la combustión de un motor de combustión interna en las carreteras españolas mediante el uso de un dron de ala fija y comparar los resultados con una fuente fiable.

El estudio de las principales especies contaminantes como el NO_x , CO_2 y CO es importante de cara al calentamiento global y la salud pública.

La magnitud de Potencial de Calentamiento Global (PGC) es una medida utilizada en climatología y en la ciencia del cambio climático para comparar

el impacto de diversos gases de efecto invernadero (GEI) en el calentamiento global durante un período de tiempo específico. Este período de tiempo se suele establecer en 100 años. Es decir, esta magnitud describe la capacidad de un gas de efecto invernadero de atrapar calor en la atmósfera y contribuir al cambio climático. [1]

El óxido nitroso (N_2O), que pertenece al grupo de los óxidos de nitrógeno, tiene un potencial de calentamiento global muy grande, de 273. Si este valor se compara con el PGC del CO_2 que se establece en 1 por definición es directo que su contribución es grande.

No es así con el CO , que tiene un potencial de calentamiento global bajo, pero que en contramedida tiene un impacto más relevante en la calidad del aire y en la salud pública, pues en concentraciones elevadas es un gas tóxico que puede causar problemas respiratorios entre otros.

Además, el uso de un UAV puede ser una herramienta interesante para analizar el tráfico, pues en relación con herramientas convencionales de localización fija usadas para medir la densidad de tráfico como puede ser las cámaras de tráfico o las espiras electromagnéticas enterradas en el pavimento, el UAV no necesita de una infraestructura adicional y permite que un día se realicen mediciones en una carretera y al día siguiente en otra diferente. Es decir, el UAV reúne la versatilidad que estas dos herramientas no pueden.

En comparación con un helicóptero el UAV permite operar con unos costes mucho más bajos ya que se prescinde de un piloto y de una aeronave de ala giratoria que tiene unos costes en cuanto a mantenimiento y consumo de combustible se refiere muy altos. Además, permite operar durante más tiempo que un helicóptero al poder intercambiar las baterías cuando se descargan. Mencionar también el coste medioambiental en cuanto al vuelo de un UAV se refiere, mucho menor que el vuelo de un helicóptero, cuyo motor funciona con hidrocarburos.

Adicionalmente, este trabajo suple el creciente interés en la contaminación derivada del tráfico en las ciudades, así como por la implantación de las Zonas de Bajas Emisiones (ZBE) derivada de los problemas de salud pública mencionados. También tiene importancia en un contexto donde la futura

normativa europea que deberán cumplir los vehículos que se vendan en la Unión Europea, la EURO 7, está aún por determinar, pero es de esperar que se impongan bastantes restricciones a las emisiones de los vehículos con motores de combustión interna.

Este trabajo pretende ser un complemento de cara al estudio de la contaminación en las ciudades, sirviendo como herramienta para la toma de las medidas oportunas en lo que concierne a la limitación a la circulación de coches por ciertas vías de las ciudades, algo que ya se está considerando en muchas ciudades de España.

1.3. Objetivos

En cuanto a los objetivos que se plantean en este trabajo, se pueden describir como a continuación:

1. **Validación de los modelos vehiculares:** relacionar el tráfico en un momento dado con el nivel de contaminación del aire y el consumo de combustible, y con ello validar los modelos vehiculares.
2. **Ajuste de las emisiones contaminantes de los modelos vehiculares:** ajuste de las emisiones contaminantes de los modelos vehiculares con ayuda de datos reales de la Av. de los Naranjos.
3. **Simulación de la utilización de UAV para estimar el tráfico y estimar el error cometido:** se busca evaluar la idoneidad en cuanto a la extracción de datos de tráfico en una carretera por medio de un vehículo aéreo no tripulado, un UAV, que disponga de una cámara, programada debidamente para saber identificar los distintos tipos de vehículos circulando y llevar un cómputo del número de ellos.

1.4. Estructura del proyecto

Con el fin de establecer una estructura clara, el documento se divide en las siguientes secciones.

Parte I. Memoria

Sección 1: Introducción. Se compone de la descripción general, justificación y antecedentes y objetivos del proyecto.

Sección 2: Modelado de los vehículos. Se describirá en detalle como se ha modelado los diferentes vehículos que componen el tráfico.

Sección 3: Simulaciones de tráfico analizadas. Se explicarán las razones por las que se han escogido dos zonas para lanzar las simulaciones, así como las condiciones particulares de cada zona y los datos tenidos en cuenta para lanzar cada simulación. Además se describirá la puesta en marcha del programa SUMO y los pasos que se han seguido para lanzar la simulación en cada zona.

Sección 4: Análisis y comparación de datos. Se realizará una comparación de datos de las diferentes simulaciones y se realizará un exhaustivo análisis de ellos. A su vez se presentarán las conclusiones de la parte 1.

Parte II. Pliego de condiciones

En dicha parte se procede a detallar todas las condiciones necesarias que se han dado para llevar a cabo este trabajo.

Parte III. Presupuesto

En dicha parte se realizará una estimación del coste asociado a dicho proyecto teniendo en cuenta el tiempo invertido y las herramientas necesarias.

Parte IV. Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

Por último se relacionarán los resultados extraídos en la Memoria con los Objetivos de Desarrollo Sostenible que se hayan relacionados.

2. Modelado de los vehículos

En esta sección se procede a describir los supuestos que se han tenido en cuenta para el modelado de los diferentes vehículos: un coche con motorización gasolina, otro con motorización diésel y un autobus diésel.

Para el modelado de los vehículos se han tenido en cuenta aspectos como el radio de las ruedas, el coeficiente de resistencia aerodinámica (C_D), la masa del vehículo o la inercia de las ruedas. Dichos parámetros influyen de manera determinante a los modelos, y por tanto en los consumos de combustible y las emisiones de contaminantes.

Los principales parámetros que guardan relación con el coche como son el radio y la inercia de la rueda, el coeficiente de resistencia aerodinámica, el área frontal proyectada, la masa y longitud del vehículo y el coeficiente de rozamiento. Los símbolos de estos parámetros se detallan en la sección de Nomenclatura.

La ruta que se ha escogido para analizar los modelos vehiculares es la de València - Canals, donde se realiza un primer y tercer tramo de ciudad, contando con un tramo intermedio que cubre la mayoría de la ruta, que se realiza por autovía.

A continuación se procede a explicar los tres modelos por separado.

2.1. Tipo de vehículo y motorización

Coche con motorización diésel

En cuanto al coche con motorización diésel se ha escogido como modelo de referencia uno correspondiente a la carrocería de los berlinas, montado el motor DV5RC que otorga una potencia declarada de 130 [CV]. Se supone por tanto que todos los coches que se ejecutarán en las siguientes simulaciones de tráfico corresponden a esta carrocería de coche con esta motorización.

Coche con motorización gasolina

La motorización elegida para el vehículo gasolina ha sido un Peugeot 2.2i 16V que otorga una potencia máxima de 160 [CV], cuyos mapas motor dispone el CMT, y se supone montado en un coche con carrocería tipo berlina. Los coches con motor gasolina que se ejecuten en simulaciones posteriores de tráfico se supondrá que montan dicho motor y dicha carrocería.

Autobús con motorización diésel

Para tener un modelo de referencia dentro de los autobuses, se ha escogido un modelo con abundante presencia en el mercado y en especial en la Empresa Municipal de Transporte de la ciudad de València, que es donde se está realizando este trabajo. El modelo escogido es de la marca Mercedes-Benz, llamado Citaro Hybrid, que monta el motor OM 936 con una potencia máxima declarada de 220 [kW] y un par motor máximo de 1200 [$N \cdot m$] [2].

Se supondrá por tanto que todos los autobuses generados en las simulaciones serán este modelo y montarán este motor. Respecto a las simulaciones de autovía, donde normalmente no hay tanta número de autobuses como de camiones, se supondrá con el fin de simplificar que los camiones son este modelo de autobús, pues a pesar de las diferencias de potencia y peso que puedan existir, es la clase de vehículo que más se acerca a un camión.

2.2. Parámetros principales del vehículo

Los parámetros principales en cuanto a lo que se refiere al coche diésel y gasolina, se han fijado como valores de referencia dentro del ámbito de las berlinas.

Los parámetros principales del autobús escogido se han podido sacar en su mayoría de la ficha técnica del fabricante, así como de un artículo donde se muestra el valor de referencia de coeficiente de resistencia aerodinámica para un autobús.

Así, en la tabla 1 se detallan los valores de estos parámetros:

En adición a estos parámetros que definen la carrocería del vehículo, también se ha tenido en cuenta parámetros típicos de la transmisión como puede ser la eficiencia de la caja de cambios, los ratios que existen entre las diferentes marchas del vehículo, así como el número de estas. Para simplificar los modelos, se han supuesto iguales en los vehículos analizados

Parámetro	Coche diésel	Coche gasolina	Autobús
R_w [m]	0.3	0.3	0.42
C_D [-]	0.32	0.32	0.6
A_p [m ²]	2.239	2.239	7.66
m [kg]	1700	1570	15450
μ [-]	0.01	0.01	0.01
I_w [$\frac{kg}{m^2}$]	4.5	4.5	5.67
l [m]	5	5	12.135

Tabla 1: Valor de los parámetros principales según tipo de vehículo.

2.3. Mapas motor

Coche con motorización diésel

A continuación, se comentan los mapas motor del DV5RC proporcionados por el mismo CMT con los que se calcularán los consumos y emisiones de contaminantes en un futuro. Estos mapas proporcionados que nos permiten obtener el gasto másico de combustible o las emisiones de NOx, se representan de manera que el eje horizontal se corresponde con las revoluciones del motor [rpm] y el eje vertical se corresponde con la posición del pedal del acelerador.

El rango de revoluciones del cual se dispone datos de este motor cubre de 1000 [rpm] a 3000 [rpm]. Se trata de un rango coherente sabiendo que un motor diésel no trabaja frecuentemente a altas revoluciones y es una zona de trabajo que se puede obviar. Respecto a la posición del pedal del acelerador, este cubre desde 0% hasta 100%.

En la tabla 2 se presenta en el eje vertical la posición del pedal del acelerador, y en el eje horizontal las velocidad de giro del motor, hasta 2500 [rpm].

Destacar que el mapa motor de emisión de NOx otorgado por el CMT no está presente el postratamiento de los gases de escape y se ha obtenido un mapa motor con el eje horizontal como revoluciones del motor y el eje vertical, el par que este otorga, donde la variable representada se trata de la eficiencia del SCR (Selective Catalytic Reduction) que en la mayoría de los casos es en

Pedal/Vel. motor	1000	1250	1500	1750	2000	2250	2500
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	0.5	1.2	1.8	1.6	0.4	-0.5	-0.3
20	23.9	28.9	33.5	37.1	38.5	38.4	38.2
30	46.5	55.6	64.8	72.4	76.5	77.6	77.0
40	68.5	82.2	96.3	107.9	114.5	116.4	115.5
50	90.2	108.9	128.0	143.7	152.4	154.8	153.2
60	111.7	135.6	159.7	179.1	189.5	192	189.6
70	132.5	161.4	189.9	212.6	224.5	227.1	223.7
80	152.1	185.0	217.3	242.4	255.3	258.0	254.3
90	170.3	205.5	240.5	266.9	280.4	283.2	280.0
100	187.8	223.7	260.4	288.2	302.5	305.8	303.4

Tabla 2: Mapa motor de posición del pedal del acelerador [%] (eje vertical) frente a velocidad de giro del motor [rpm] (eje horizontal) representando el par.

torno al 95 %.

Coche con motorización gasolina

A continuación, se describen los mapas motor de la citada motorización gasolina que ha proporcionado el CMT. Estos mapas son los de gasto másico de combustible, y par del motor; ambos con eje vertical la posición del pedal del acelerador y con eje horizontal las revoluciones del motor.

No se han incorporado mapas motor relacionados con los óxidos de nitrógeno ya que en los motores gasolina la emisión de estos compuestos es muy baja. Respecto a la emisión de monóxido de carbono (CO), si que se ha tenido en cuenta, pero se ha extraído el valor de las emisiones no a partir del mapa motor, ya que no tenemos estos datos, sino a partir del ajuste de la reacción de combustión teniendo en cuenta que no se disocia completamente en CO_2 y H_2O , sino que también existen especies como el CO.

Al igual que en la motorización diésel se ha tenido en cuenta, que existe postratamiento de los gases de escape, es decir, existe un catalizador de 3

vías que en cuanto al monóxido de carbono se encarga de reducir su paso al ambiente. La eficiencia de este catalizador suele rondar valores altos, al igual que el SCR del diésel, en valores en torno al 100 %. A este hecho hay que sumar que en un motor gasolina se conoce que la emisión de CO es mucho más baja si se compara la emisión de NOx en diésel. Por tanto la emisión y concentración de CO en el escape será bastante reducida.

Autobús con motorización diésel

Respecto al mapa motor que permite obtener el valor de potencia para unas revoluciones dadas y una posición del pedal del acelerador, se ha podido extraer a través de la ficha técnica del vehículo [2] donde se halla la figura 1.

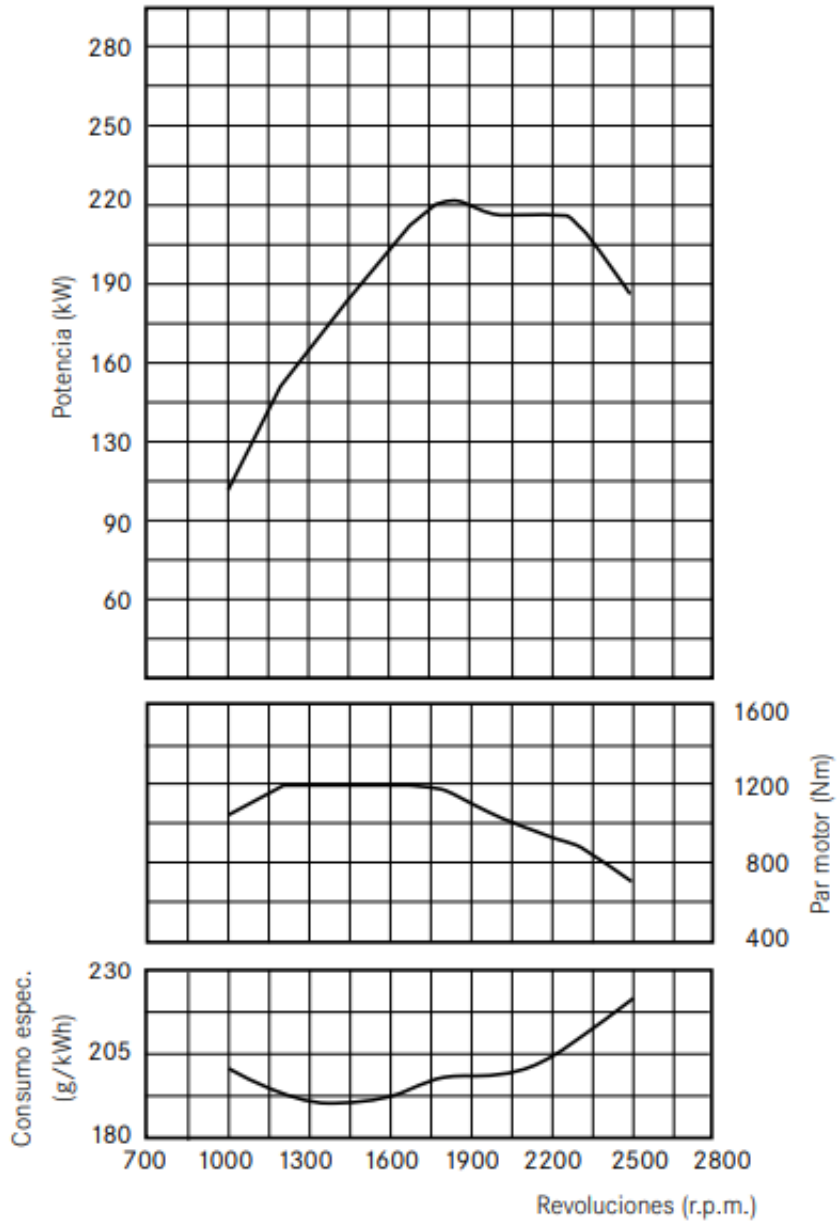
Se observan tres curvas, correspondientes a la potencia, par motor y consumo específico. Como eje horizontal común a todas ellas se encuentran las revoluciones.

El primer paso para calcular el mapa motor de potencia es obtener una relación entre la posición del pedal del acelerador, que recorre desde el 0 % hasta el 100 % y el par otorgado por el motor, para cada velocidad de giro del motor. Esta relación, que se supondrá lineal para simplificar el problema, se puede obtener entonces mediante dos puntos. El primero de ellos se corresponderá a la posición de pedal del 0 %, que tendrá un par de 0 [$N \cdot m$], y el segundo punto se obtendrá de la gráfica de la ficha técnica del vehículo, donde para 1000 [rpm], el par motor máximo es de 1040 [$N \cdot m$], que por definición se dará con una posición del pedal del 100 %.

Esta relación se construirá para cada velocidad del motor. En este trabajo se ha realizado desde las 1000 [rpm] hasta las 2400 [rpm] con un paso de 200 [rpm], un rango coherente para un motor diésel de un autobús. Con estos dos puntos ya se puede construir la relación lineal entre par y posición del pedal del acelerador.

En segundo lugar, se construirá otra relación entre la posición del pedal del acelerador y la potencia otorgada por el motor, para cada velocidad de giro del motor. Esta relación, al igual que en el anterior caso se supondrá lineal. El primer punto que se ha escogido corresponde a la posición del pedal del

Motor OM 936 h/OM 936 (Euro VI D)



P_{max} 220 kW a 1.800 r.p.m. (80/1269/CEE)
 Md_{max} 1.200 Nm a 1.200 - 1.600 r.p.m.

Curvas estacionarias a plena carga

Figura 1: Imagen tomada de la ficha técnica del Mercedes-Benz Citaro Hybrid [2].

acelerador de 0% con una potencia de 0 [kW]. El segundo punto será el correspondiente a la potencia máxima para 1000 [rpm], que será de 108 [kW] aproximadamente. Con ello ya se puede establecer una relación lineal.

Lo mismo se realizará con el consumo específico donde el primer punto será la posición del pedal del acelerador de 0% con un consumo específico de 0 [$\frac{g}{kWh}$]. El segundo punto corresponderá al 100% del pedal con un consumo específico de 200 [$\frac{g}{kWh}$].

Una vez obtenidos los valores de potencia y consumo específico para cada par de datos de revoluciones y de par motor (calculado mediante la ecuación 5), si se realiza el producto de ambos y se divide entre 3600, se tiene el gasto másico de combustible expresado en [$\frac{g}{s}$].

Para llevar a cabo el cálculo de los óxidos de nitrógeno, se ha tenido en cuenta la proporción existente entre el consumo de combustible y la emisión de NOx en la motorización diésel del coche. Esta es un supuesto coherente, pues a pesar de las diferencias de tamaño, potencia y par que existe entre los dos motores, ambos parten del mismo ciclo termodinámico ideal, el 'ciclo diésel'.

2.4. Ecuaciones del comportamiento del vehículo y motor

Primeramente, se parte de la velocidad del vehículo y el radio de la rueda para calcular la velocidad angular mediante la ecuación 1:

$$\omega = \frac{v}{R_w} \left[\frac{rad}{s} \right] \quad (1)$$

Conocida la velocidad angular de las ruedas se selecciona la marcha a utilizar conocidos los parámetros de la transmisión del vehículo. Con dicha marcha es directo conocer el valor de velocidad del cigüeñal, pues el ratio que transforma la velocidad de las ruedas a la velocidad del cigüeñal viene dado por la marcha que se esté usando.

A continuación se tienen en cuenta todas las fuerzas y momentos que aparecen en el desplazamiento del vehículo.

La ecuación 2 que modela la fuerza de resistencia aerodinámica:

$$F_{resist. \text{aero}} = \frac{1}{2} \cdot C_D \cdot A_p \cdot \rho \cdot v^2 [N] \quad (2)$$

La ecuación 3 que modela la fuerza de resistencia a la rodadura (suponiendo pendiente nula):

$$F_{resist. \text{rodadura}} = m \cdot g \cdot \mu [N] \quad (3)$$

La ecuación 4 que modela la fuerza que se origina debido al peso:

$$F_{peso} = m \cdot g [N] \quad (4)$$

Se calcula el par que demanda el motor mediante la ecuación 5, que depende de aparte de los parámetros ya presentados, de la aceleración del vehículo (a) y del ratio ($ratio$) que viene definido por la marcha que se está usando.

$$T_v = \frac{a \cdot \left(\frac{I_w}{R_w} + m \cdot R_w\right) + (F_{resist. \text{aero}} + F_{resist. \text{rodadura}} + F_{peso}) \cdot R_w}{ratio} [N \cdot m] \quad (5)$$

Una vez calculadas todas estas variables se realiza una interpolación con las revoluciones y el par del motor calculados tomando como referencia los mapas motor de revoluciones y par motor, de manera que dicho cálculo arroja un valor, que será el valor de gasto másico de combustible, gasto másico de NOx y eficiencia de SCR (coche diésel y autobús). Los valores de CO (coche gasolina) se calculan en base a la estequiometría de la reacción y la eficiencia del catalizador de tres vías que se describirá más adelante.

2.5. Resultados sobre conducción real

A continuación se procede a generar los datos considerados necesarios respecto al consumo de combustible y emisiones para verificar la validez de los modelos vehiculares descritos. Como ejemplo se ha utilizado un ciclo de conducción real.

Dichos datos se generan bajo la entrada de un ciclo de conducción que brinda un vector de velocidades y un vector de tiempo. Con estos dos vectores y las

ecuaciones del apartado anterior se pueden realizar los cálculos de consumo de combustible y emisiones que después se representarán en forma de gráficos.

Cabe recalcar que el método de cálculo de datos del código que se ha utilizado en este trabajo se ha realiza segundo a segundo, siendo por tanto los resultados que se presentarán a continuación una concatenación de valores durante el tiempo que dura todo el ciclo de tráfico.

El ciclo de tráfico escogido para representar a los vehículos diésel, gasolina y autobús es el mismo en los tres casos, y se puede considerar un ciclo de tráfico combinado, donde existe un lapso de tiempo al inicio y final del ciclo que se realiza por ciudad, a bajas velocidades y la mayor parte del ciclo se realiza por autovía, a una velocidad de $120 \left[\frac{km}{h} \right]$.

En la siguiente gráfica, la figura 2, se muestra una representación del ciclo de tráfico, velocidad frente a tiempo, donde se observa que en los primeros 500 [s] la velocidad del vehículo es baja-moderada con bajadas bruscas de la velocidad, por lo que el vehículo está realizando algún tramo de ciudad o pueblo. Desde los 500 [s] hasta los 2000 [s] se observa que el vehículo viaja a velocidad casi constante de $33 \left[\frac{m}{s} \right]$ aproximadamente, que se corresponden con los $120 \left[\frac{km}{h} \right]$. El último tramo, desde los 2000 [s] hasta los 2600 [s] el vehículo decelera progresivamente, por lo que se asume que está entrando en un tramo de ciudad o pueblo.

2.6. Gasto másico de combustible y consumo de combustible

En este apartado se tratará el consumo de combustible.

A continuación se analiza el coche con motorización diésel y gasolina juntos, no así con el autobús, pues las escalas de representación de las variables en este último caso son más grandes.

Así, el consumo de combustible en función del tiempo se muestra en la figura 3.

Si se compara la anterior gráfica (figura 3) con la figura 2 aparecen picos de

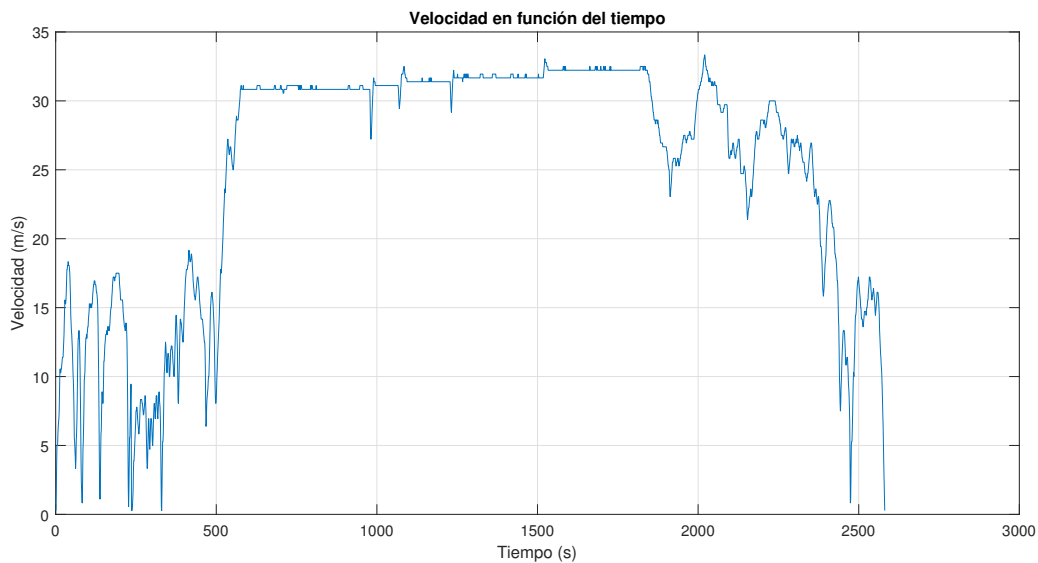


Figura 2: Velocidad en función del tiempo.

consumo de combustible cuando la velocidad aumenta súbitamente y viceversa. Ello nos da un indicador de que el consumo está relacionado directamente con la aceleración del vehículo.

También se observa que la forma que presentan ambas curvas es la misma, con los picos en los mismos instantes de tiempo. Esto tiene sentido ya que el ciclo de tráfico bajo el cual están calculados es el mismo para el vehículo diésel, gasolina y autobús. Lo único que varía es la intensidad de estos picos, ya que en el caso gasolina, el gasto másico de combustible es más alto respecto al coche diésel (se superpone la curva roja a la azul) y en el caso del gasto másico de combustible del autobús tiene unos picos más pronunciados que si lo comparamos con la respectiva gráfica del coche diésel y gasolina. Además, en el caso del autobús, la escala que se observa en el eje vertical es mucho mayor, llegando a ser hasta cinco veces más grande que la de los coches diésel y gasolina.

En el caso diésel el gasto másico promedio de combustible en el segundo tramo se halla alrededor de $1.25 \left[\frac{g}{s} \right]$ mientras que en el caso gasolina es de alrededor de $1.5 \left[\frac{g}{s} \right]$ y en autobús el gasto se estabiliza en $5 \left[\frac{g}{s} \right]$ aproximadamente a pesar de tener picos abruptos debido al cambio de velocidad. Ello delata

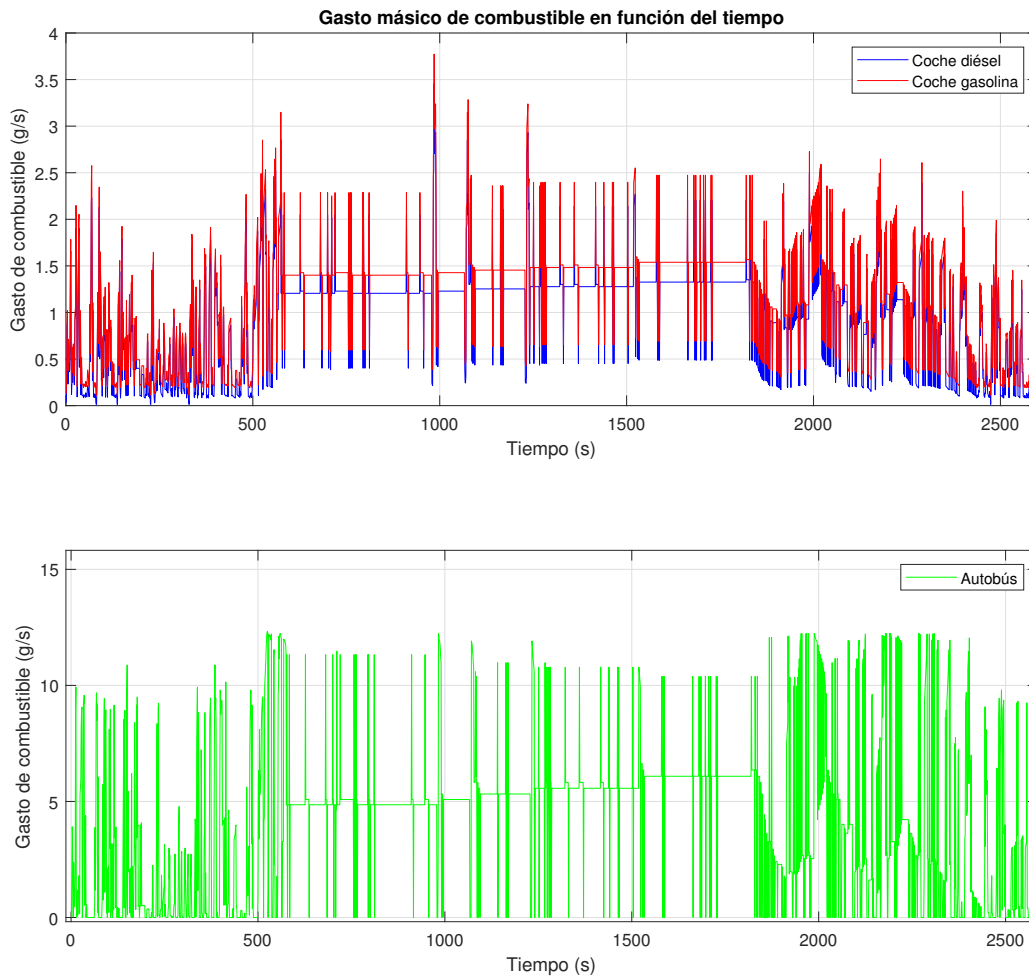


Figura 3: Gasto másico de combustible en función del tiempo. En rojo el coche con motorización gasolina, en azul el coche con motorización diésel y en verde el autobús con motorización diésel.

que el promedio expresado en $[\frac{L}{100km}]$ será más alto para el autobús con motorización diésel, seguido del coche gasolina, tal y como se aprecia en la gráfica 4.

Si bien sigue representando el consumo de combustible, ahora lo hace en litros a los 100 kilómetros $[\frac{L}{100km}]$, y se aprecia como en el recorrido por autovía el valor se estabiliza en torno a los 5 $[\frac{L}{100km}]$ para el coche diésel y 7.41 $[\frac{L}{100km}]$ para el coche gasolina y 20.6 $[\frac{L}{100km}]$ para el autobús. La diferencia entre el

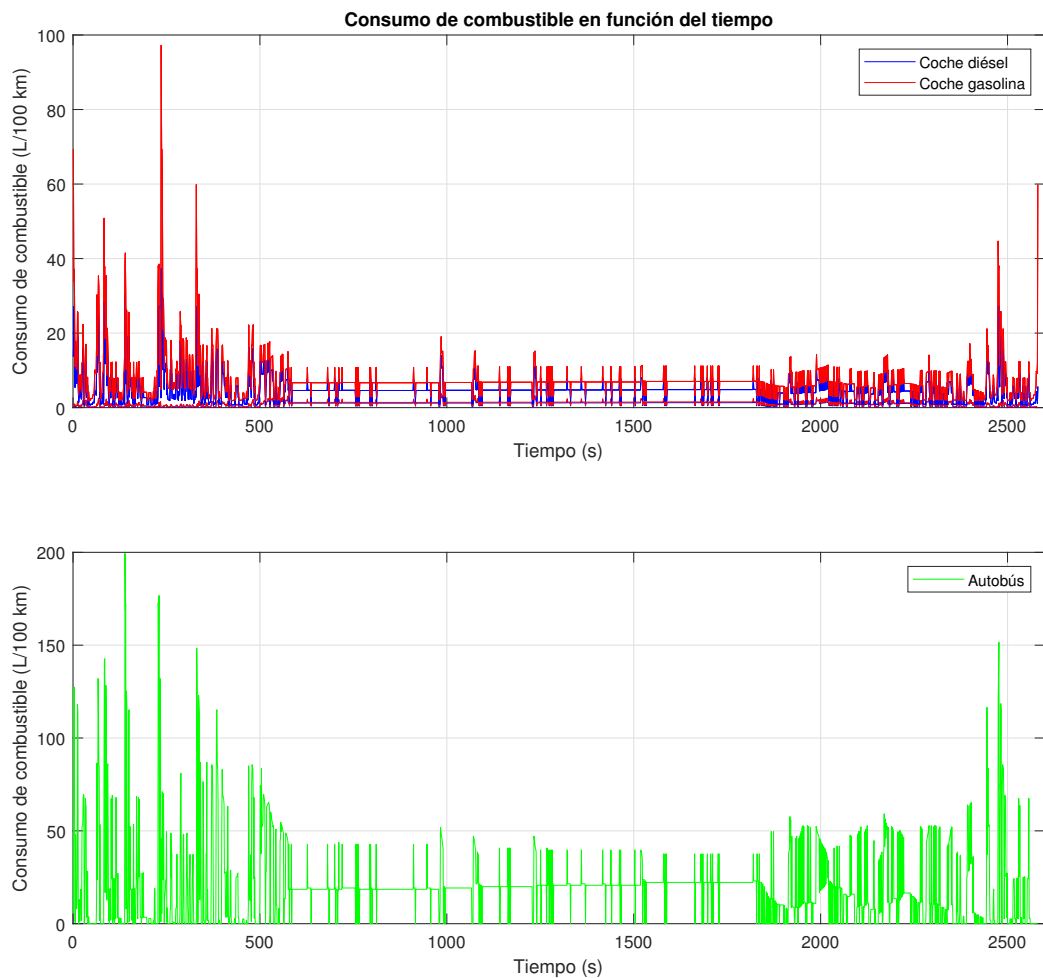


Figura 4: Consumo de combustible en función del tiempo. En rojo el coche con motorización gasolina, en azul el coche con motorización diésel y en verde el autobús con motorización diésel.

consumo del coche diésel y el coche gasolina es muy clara, consumiendo cerca de un 50 % más el coche gasolina respecto al diésel; así como la diferencia entre el autobús con motorización diésel y el coche con motorización diésel, donde este último consume un cuarto de la cantidad de combustible que consume el autobús. Esta diferencia se debe entre otras cosas al peso del vehículo o sus dimensiones, ya que el autobús tiene una masa varias veces mayor y es más grande que el coche diésel. Aún así, pese a la gran diferencia de peso, el consumo no se ve excesivamente penalizado, y esto puede ser en

parte porque la potencia del motor del autobús, a diferencia del par, que es varias veces mayor, es aproximadamente solamente el doble que la del coche diésel, y ello condiciona el consumo ya que la potencia es una medida de la energía que se gasta por unidad de tiempo.

2.7. Emisión de CO_2

Seguidamente, aunque no se considera un contaminante, ya que es un producto que se espera que salga de la reacción química de combustión, se analizará la distribución de emisión de CO_2 en el tiempo en comparación con la distribución de consumo de combustible para los 3 vehículos.

Como se puede observar en la figura 5, el gasto másico de CO_2 está directamente relacionado con el gasto másico de combustible, pues se conoce que la proporción entre ambas viene dada por la estequiometría de la reacción de combustión. Ello se refleja en que en la gráfica anterior se repiten las mismas formas y picos que se repiten en la figura 3, siendo lo único diferente la escala del eje vertical, que tiene unos valores bastante más altos que en el consumo de combustible. De hecho el ratio que nos define la relación entre la masa de combustible y la de CO_2 , es de 3.10 para el caso del coche diésel y el autobús (usan el mismo combustible) y de 2.97 para el coche gasolina. Es decir, por cada gramo de combustible (gasóleo) se emiten 3.10 gramos de CO_2 en el coche diésel y el autobús y 2.97 en el coche gasolina.

Por último el promedio de emisión de CO_2 expresado en $[\frac{kg}{100km}]$ se sitúa en 12.89 para la motorización diésel, 14.99 para la motorización gasolina y 54.3 para el autobús. Esta mayor emisión de CO_2 se halla directamente relacionada con el mayor consumo de combustible del autobús.

2.8. Emisión de NO_x

Después de haber tratado el consumo de combustible se trata la emisión de NO_x . El haber tratado primeramente el consumo de combustible sirve para establecer relaciones y tendencias que puedan existir.

Se presenta solamente el gasto másico de NO_x con el catalizador de NO_x

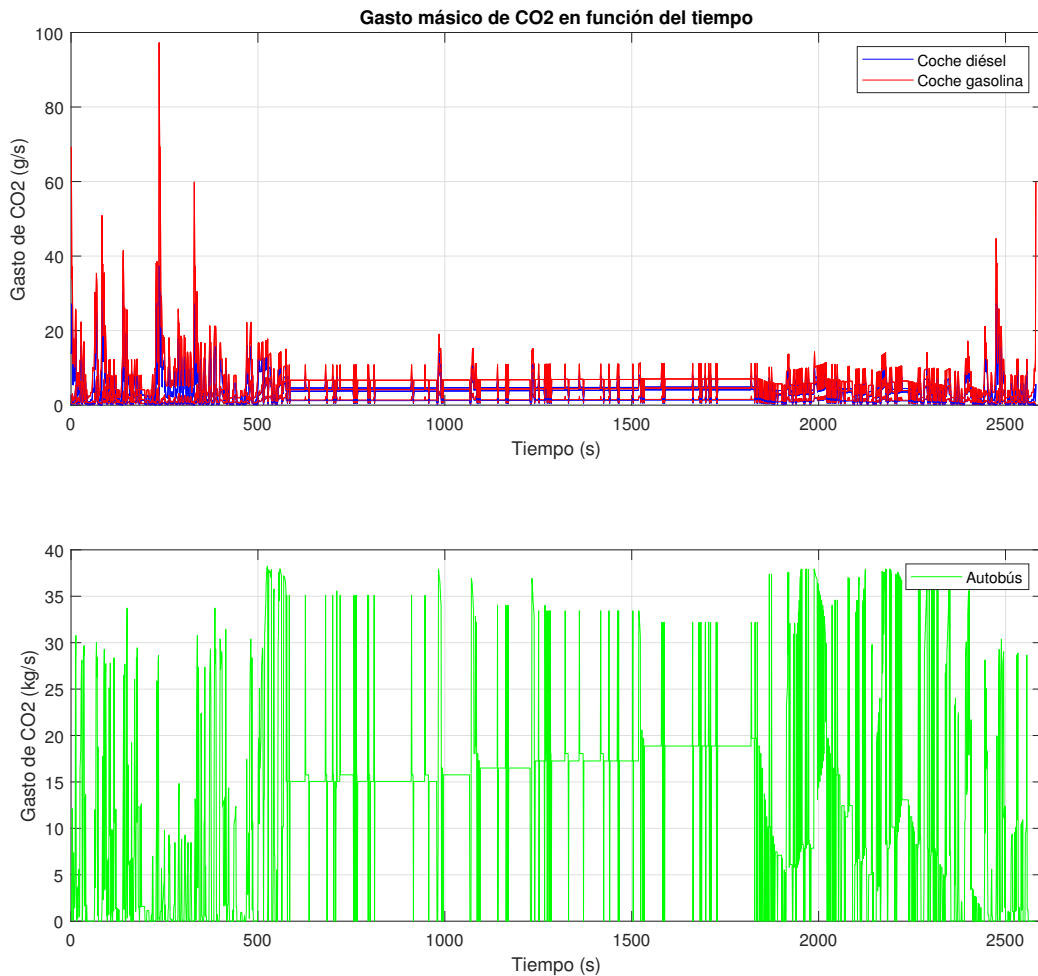


Figura 5: Emisión de CO_2 en función del tiempo. En rojo el coche con motorización gasolina, en azul el coche con motorización diésel y en verde el autobús con motorización diésel.

pues la diferencia que existe entre el gasto másico de emisión de NO_x sin SCR y con SCR es el orden de magnitud, que en el caso de la figura con SCR, es aproximadamente un orden de magnitud menor que el respectivo caso sin SCR.

A continuación se presenta la evolución del gasto másico de NO_x con el catalizador en la figura 6.

Como se ve en la anterior gráfica, el gasto másico de emisión de NO_x pre-

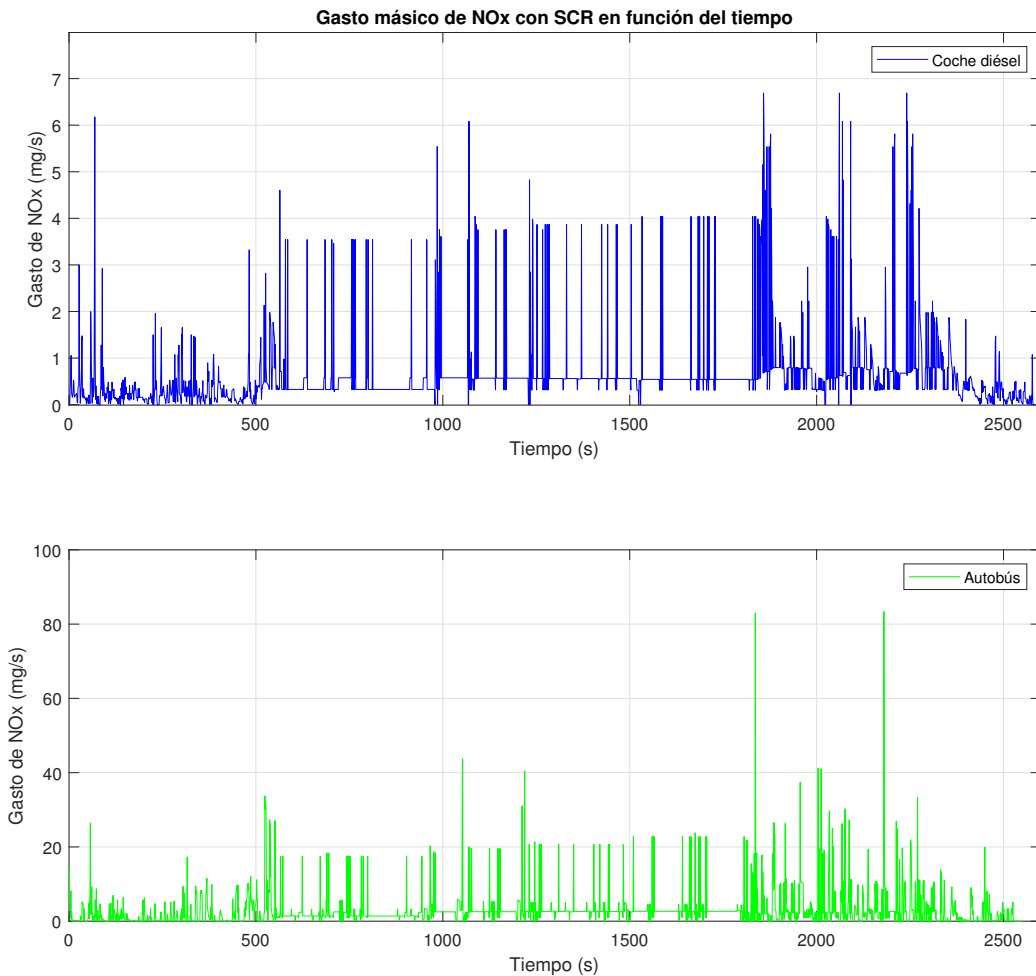


Figura 6: Gasto másico de NOx con SCR en función del tiempo. En azul el coche con motorización diésel y en verde el autobús con motorización diésel.

senta una tendencia bastante parecida a la del gasto másico de combustible, siguiendo en líneas generales su forma, donde si se observa más en detalle se percibe como los picos que se aprecian en la figura 3 se ven reflejados en la figura 6. Uno de los ejemplos más claros es seguramente el de los picos que se producen en el gasto másico de NOx entre los 1800 y 2300 [s], que se aprecian en la figura de gasto másico de combustible; y el del pico sobre los 1000 [s] del gasto másico de combustible que se ve reflejado en el gasto másico de NOx.

Otro hecho que se puede percibir, es que si se analiza la gráfica separadamente en los tres tramos que componen el ciclo, un primer tramo de ciudad, un segundo tramo de autovía y un tercer tramo de ciudad, se puede apreciar como tanto el gasto másico de combustible, como el gasto másico de emisión de NOx presentan un promedio del primer tramo bastante menor que el segundo tramo, aún teniendo sus picos notables, y como el promedio del tercer tramo ya no es tan bajo, y es ligeramente inferior al promedio del segundo tramo.

A pesar de que los picos se perciben sin ningún problema en ambas figuras, sí que es cierto que no se corresponden en intensidad, como el pico de los 1000 [s] en la figura 3, que a pesar de ser el más grande, en la figura 6 no es el más grande. Ello se puede deber a la acción del catalizador de óxidos de nitrógeno, que si bien su eficiencia se sitúa en torno al 95 % en la mayoría de las condiciones, hay algunas donde baja más o sube más, y ello puede llevar a que no se correspondan los picos en intensidad en ambas gráficas.

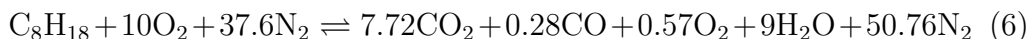
Ello sugiere que el gasto másico de combustible y gasto másico de emisión de NOx está ligado con la velocidad, siendo estos últimos mayores cuanto mayor es la velocidad. Este hecho tiene sentido ya que a mayor velocidad del vehículo se requiere mayor energía y por tanto mayor inyección de combustible, y derivado de esto último va a ir la emisión de NOx, que en consonancia será mayor. También tiene sentido que los picos de gasto másico de combustible se reflejen en el NOx, ya que en los transitorios es donde las emisiones de NOx son mayores, donde cambia el dosado relativo súbitamente y el combustible no se quema en las mejores condiciones. En estos transitorios el catalizador no funciona de manera óptima y por tanto la eficiencia baja, dejando pasar más NOx para lo que está diseñado.

Después de quedar clara la relación entre el gasto másico de combustible y la emisión de NOx, se presentan los valores de emisión de NOx expresados en $[\frac{g}{100km}]$, donde el coche diésel emite 2.75 $[\frac{g}{100km}]$ con SCR, frente a los 33.4 $[\frac{g}{100km}]$ sin SCR; frente al autobús que con SCR baja a 13.50 $[\frac{g}{100km}]$, frente a los 140.82 $[\frac{g}{100km}]$ sin SCR.

2.9. Emisión de CO

Tal y como se ha comentado anteriormente, la emisión de monóxido de carbono se ha calculado en base al ajuste de la reacción de combustión teniendo en cuenta que los reactivos no se disocian completamente en CO_2 y H_2O , es decir que existen especies intermedias entre las cuales se halla el monóxido de carbono.

A continuación se presenta la reacción de combustión con disociación incompleta en CO_2 y H_2O mediante la ecuación 6.

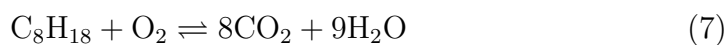


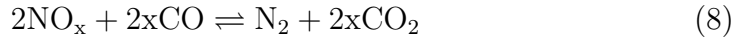
En base a la anterior ecuación se deduce que por cada mol que se consume de C_8H_{18} se generan 0.28 moles de CO. En otras palabras, por cada 14.57 gramos de C_8H_{18} se genera 1 gramo de CO. Esta sería la emisión de CO en el escape si no existiera sistema de postratamiento. Hoy en día, debido a las exigentes normativas de contaminación, los coches con motorización gasolina suelen equiparse con un catalizador de tres vías, pues es la opción más coherente tal y como se explica a continuación.

Con el catalizador de tres vías se consigue disminuir la concentración de tres especies contaminantes a la vez:

- Se oxidan los hidrocarburos sin quemar con el oxígeno y se convierten en dióxido de carbono y vapor de agua.
- Se reducen los óxidos de nitrógeno con el monóxido de carbono y se convierten en dióxido de carbono y nitrógeno molecular.
- Se oxida el monóxido de carbono con el oxígeno y se convierte en dióxido de carbono.

Estas tres reacciones químicas comentadas anteriormente se pueden modelar del siguiente modo:





Estas tres reacciones químicas presentadas, las ecuaciones 7, 8 y 9, que constituyen el catalizador de tres vías, se desplazan casi totalmente a los productos cuando la relación aire-combustible (λ) es entorno a la unidad. En cuanto este ratio es ligeramente mayor o menor a la unidad, la eficiencia de conversión de los reactivos contaminantes de las tres reacciones químicas baja rápidamente.

Ello se puede observar en la figura 7, donde en el eje vertical se representa la concentración de contaminante y en el eje horizontal el factor λ . La curva punteada describe los valores de los contaminantes antes del postratamiento de gases y la curva continua describe los valores de contaminantes después del postratamiento de gases.

En base a la anterior figura y teniendo en cuenta que el coche con motorización gasolina se va a mover en un valor de $\lambda = 1$, se puede asumir que la eficiencia de conversión del monóxido de carbono estará entorno al 95%. Con este valor, y a falta de un mapa motor que nos describe el valor de la eficiencia en cada instante para cada posición del pedal del acelerador y para velocidad de giro del motor, se asume que el coche opera con este valor de eficiencia en todo momento.

Con todo ello, se presenta la siguiente gráfica, la figura 8, donde se observa la distribución de gasto másico de CO con el catalizador de tres vías en $[\frac{mg}{s}]$. En esta gráfica se puede observar como la tendencia que sigue se corresponde con la respectiva de consumo de combustible.

Tanto en la figura de gasto másico de combustible, la figura 3, como en la gráfica de gasto másico de CO, la figura 8, se observa que en el segundo tramo, el que se realiza por autovía, el gasto másico de ambas es el mayor de los tres tramos. Esto contrasta con las gráficas correspondientes al consumo de

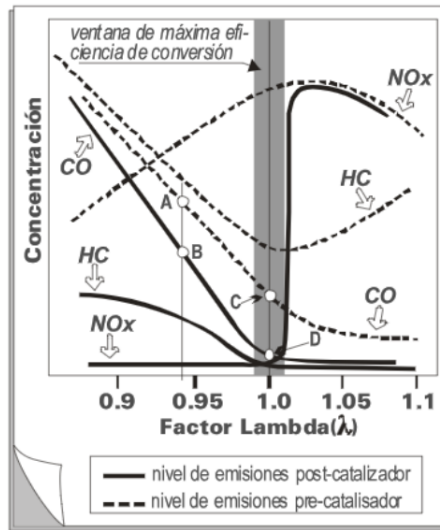


Figura 7: Concentración de especies contaminantes en el coche gasolina. En discontinuo los valores antes del postratamiento y en continuo los valores después del postratamiento. [3]

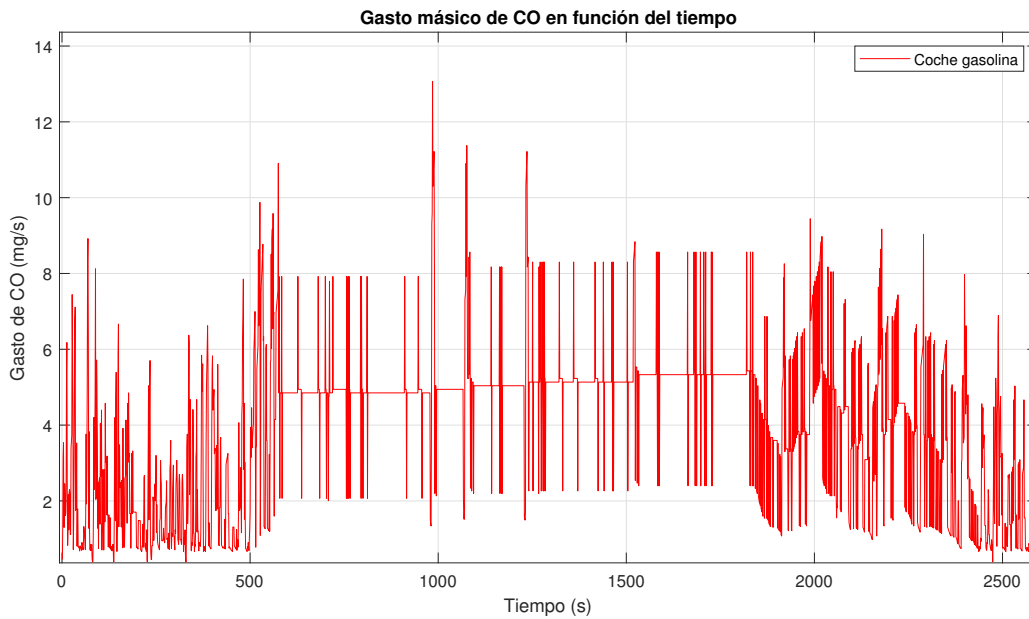


Figura 8: Gasto másico de CO en función del tiempo (coche gasolina).

combustible en $[\frac{L}{100km}]$, donde el segundo tramo ya no presenta unos valores tan altos; de hecho son ligeramente inferiores a los otros tramos o iguales.

Esto hecho se debe a que al ir a mayor velocidad el vehículo en el segundo tramo comparado con los otros dos, el número de kilómetros que se recorren en este tramo por unidad de tiempo es mayor, y por tanto, resulta en un valor expresado en $[\frac{L}{100km}]$ menor.

Por último el promedio de emisión de CO expresado en $[\frac{g}{100km}]$ es de 17.46, un valor sensiblemente más alto al correspondiente a la emisión de NOx en el coche diésel, casi un orden de magnitud por encima. Ello explica la relevancia del control de la emisión de monóxido de carbono en los coches con motorización gasolina y el control del parámetro λ , pues en cuanto este parámetro es ligeramente mayor o menor que la unidad, las emisiones de CO son mucho mayores a las expuestas.

Con todo lo presentado finaliza la explicación de los tres modelos usados en las simulaciones. A continuación, se exponen las principales conclusiones a las que se ha llegado en este capítulo.

2.10. Conclusiones

En primer lugar, se ha observado como las tendencias que presentan los tres vehículos en cuanto a consumo de combustible casan con la realidad, siendo el autobús el vehículo que presenta un mayor consumo expresado en $[\frac{L}{100km}]$, seguido del vehículo gasolina y el vehículo diésel. A su vez el consumo de combustible se halla directamente relacionado con la emisión de dióxido de carbono.

En segundo lugar, se ha determinado como el gasto másico de combustible y el de óxidos de nitrógeno está ligado con la velocidad, siendo que cuanto mayor es esta última, mayor es el gasto másico de combustible y el de óxidos de nitrógeno.

En tercer lugar, se ha determinado que la emisión de CO es aproximadamente un orden de magnitud mayor a la emisión de NOx.

A la vista de estas conclusiones y con los resultados expuestos en las anteriores secciones quedan validados los modelos vehiculares referentes al coche diésel, coche gasolina y autobús diésel.

3. Simulaciones de tráfico analizadas

En este trabajo se han escogido dos zonas para lanzar las simulaciones: la Avenida de los Naranjos, València y la autovía A-3 desde el kilómetro 332 hasta el 340. En ambos tramos se ha tenido en cuenta los dos sentidos de circulación.

Además se ha hecho uso del programa SUMO para realizar estas simulaciones. En consecuencia, se tratará en profundidad la puesta en marcha del programa SUMO. Se describirán las hipótesis supuestas en cada apartado y la fuente de los datos de cada simulación. Así, quedará definido el procedimiento seguido para lanzar cada simulación.

3.1. Avenida de los Naranjos

La razón por la que se ha escogido la primera zona, se debe principalmente a la existencia de una estación de medición de gases, la estación de medida de la Universitat Politècnica que se ubica dentro del campus de la misma universidad, para poder comparar las medidas tomadas por esta estación de medición con las medidas resultantes de incorporar los modelos ya presentados a las simulaciones de tráfico ejecutadas en esta avenida.

Los datos para lanzar las simulaciones a diferentes horas del día se han tomado de la página web del Ayuntamiento de València, donde figura un registro del número de vehículos que circulan a cada hora del día por cada calle. Esto es posible gracias a la instalación en el suelo de las calles de una espiras o bucles magnéticos que son capaces de registrar el número de vehículos que las atraviesa por hora en todo el ancho del pavimento asfaltado. Este es el sistema que se ha implantado en las calles de València [4].

También se han tenido en cuenta las programaciones de los semáforos de la zona con el fin de representar lo más fielmente posible el tráfico real.

Esta avenida comprende desde la rotonda que intersecta con Calle del Ingeniero Fausto Elío hasta la rotonda que intersecta con Avenida de Cataluña. En la figura 9, se observa el tramo a estudiar.

zona donde se requiera controlar la concentración de especies contaminantes derivadas del tráfico terrestre.

Seguidamente se muestra una imagen del UAV en la figura 10 [5].



Figura 10: Figura extraída de UAV Works donde se observa el VALAQ 120 [5].

A continuación se muestra la figura 11, que representa el tramo a estudiar:

Los datos que se van a usar para lanzar las simulaciones a diferentes horas del día, se han extraído por una parte de las cuatro cámaras de tráfico ubicadas en los kilómetros 331.75, 334.25, 336.6 y 340.0. Dichos datos se han extraído siguiendo el siguiente procedimiento:

- En primer lugar, se ha contado el número de vehículos existentes en cada imagen de tráfico, ya que no se tiene acceso público al vídeo continuo de las cámaras de tráfico, solo se puede acceder a las imágenes realizadas aproximadamente cada 8 minutos.
- En segundo lugar, una vez contado el número de vehículos en cada tramo (se han contado los 2 sentidos de circulación), disgregando en coches y camiones (modelo de autobús); se ha realizado una estimación visual del alcance de la cámara de tráfico, es decir, la distancia a la cual se puede alcanzar a ver. Con esta distancia ya se tiene un promedio del



Figura 11: Figura extraída de Google Earth donde se ve el segundo tramo a estudiar (autovía A-3).

número de vehículos por unidad de distancia en cada cámara.

- En tercer lugar, conocido este promedio de vehículos por unidad de distancia se ha multiplicado por la velocidad media de cada tipo de vehículo. En el caso de los coches la velocidad media es de $105 \left[\frac{km}{h} \right]$ aproximadamente, y en el caso de los vehículos pesados como los camiones, el valor es de $90 \left[\frac{km}{h} \right]$ aproximadamente [6]. Esta multiplicación da como resultado un valor de vehículos dividido entre una unidad de tiempo, que en el caso que se estudia será vehículos por hora.

En forma de ecuación el proceso sería el siguiente, poniendo como ejemplo que se ha medido 50 coches en 200 [m], la ecuación 10:

$$\frac{50 \text{ vehículos}}{200 \text{ m}} \cdot \frac{105 \text{ km}}{\text{h}} \cdot \frac{10^3 \text{ m}}{1 \text{ km}} = 26250 \left[\frac{\text{vehículos}}{\text{h}} \right] \quad (10)$$

Una vez procesados los datos de la simulación, se plantea la comparación entre los datos reales de tráfico (se suponen extraídos de las diferentes cámaras de tráfico en este tramo de autovía), con los datos que podría llegar a obtener un dron que volase con una cámara debidamente escogida para esta tarea, para computar el número de vehículos y clasificarlos en turismos, o camiones/autobuses. Es esta comparación, el objetivo principal de estudio de este trabajo. Con ello se podrá ver la viabilidad de la extracción de datos

de emisiones mediante UAV y la frecuencia de paso para que estos datos se pueden considerar fiables.

Se deja planteado para futuros estudios la viabilidad de la incorporación de UAV para el análisis de las especies contaminantes de los motores de combustión interna en las ciudades, debido a la estricta normativa sobre el vuelo de drones en los cielos de las ciudades. En este trabajo se aborda la viabilidad del estudio de estas especies contaminantes mediante UAV en carretera únicamente.

3.3. Simulación con SUMO

3.3.1. Obtención de los mapas

En el siguiente apartado se va a tratar como se han obtenido los dos mapas correspondientes a la Av. de los Naranjos y el tramo de la autovía A-3 estudiado. Se supone realizada correctamente la instalación y la vinculación con Matlab.

En primer lugar, se han extraído los mapas a estudiar por medio la herramienta de OSM Web Wizard for SUMO que viene incorporada en el paquete de instalación de SUMO. Para ejecutar esta herramienta también se requiere de la instalación del lenguaje de programación Python, ya que muchas herramientas de SUMO están escritas en este lenguaje. La herramienta web mencionada se apoya en la herramienta web de código abierto OpenStreet-Map [7].

Estos mapas se han extraído entrando en la página web y buscando en el mapa del mundo, nuestros tramos elegidos. Con esta herramienta se puede trazar un rectángulo de las dimensiones que se requiere y escoger la duración total de la simulación. En el caso de este trabajo se han dejado todos los parámetros que aparecen predeterminados por defecto, y únicamente se ha deseleccionado todos los medios de transporte salvo los coches y camiones (donde se puede establecer el número de ellos por hora, pero no es necesario porque se definen después) y se también se ha deseleccionado todas las vías que no son "motorway", "primary", "secondary", o "tertiary". En la figura

12 se observa la selección.

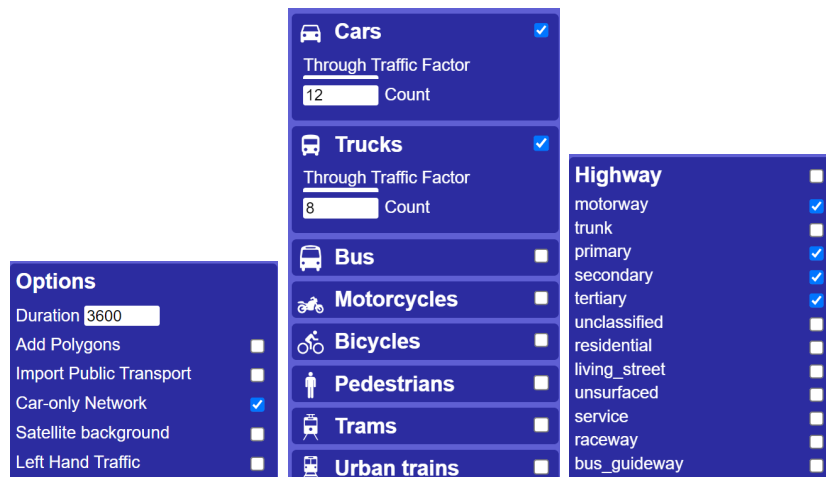


Figura 12: Selección realizada en la herramienta OSM Web Wizard for SUMO.

Después de aplicar esta selección y delimitar el área a estudiar, con la herramienta "sumo-gui" se puede ver como se han definido los mapas en la figura 13 para la autovía A-3 y la figura 14 para la Av. de los Naranjos:

3.3.2. Definición de flujos

Avenida de los Naranjos

En el siguiente apartado se procede a explicar brevemente como se han definido los flujos de tráfico de en SUMO de la Av. de los Naranjos y del tramo estudiado de la autovía A-3.

Respecto al tráfico en la Av. de los Naranjos, por una parte, los datos de flujos de tráfico se han extraído de la página web del Ayuntamiento de València [8], donde se pueden obtener los datos de tráfico en cada calle, mediante el método de las espiras ya comentado, y donde cada ruta o tramo se identifica con un número y su correspondiente número de vehículos por hora.

Como las espiras no hacen distinción entre los tipos de vehículos se escoge una distribución razonable de coches y de autobuses. Esta distribución se puede establecer en base a los datos de la Dirección General de Tráfico [9] por el cual si se realiza la proporción entre los coches matriculados en València (se

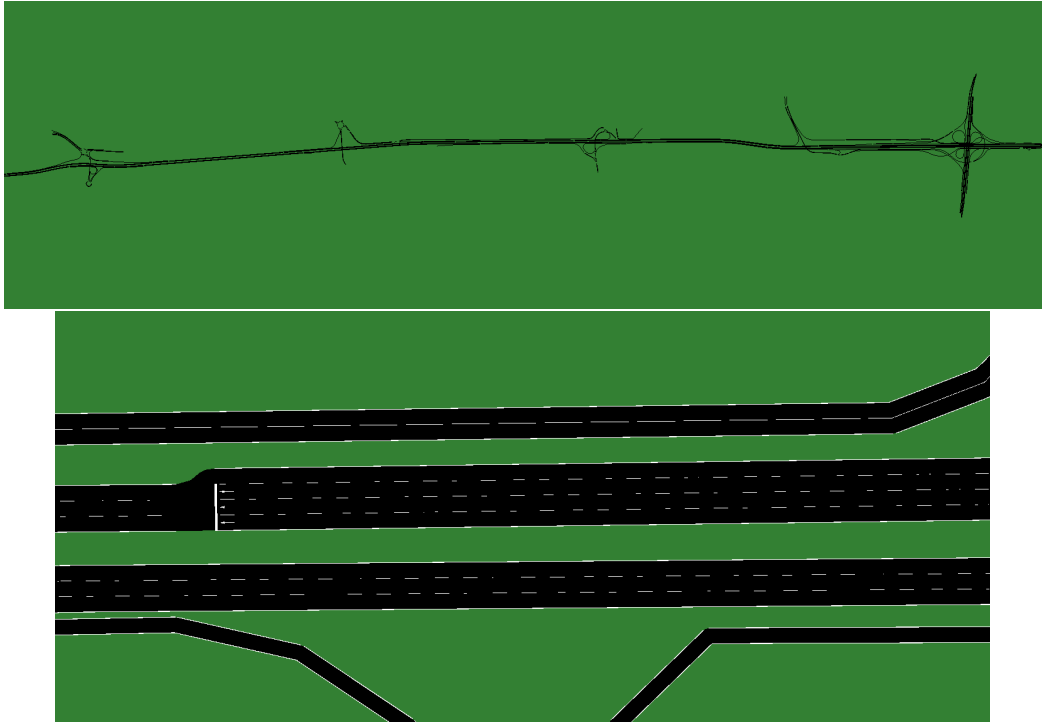


Figura 13: Mapa del tramo de la A-3 de la selección realizada con OSM Web Wizard for SUMO.

tiene en cuanto solo los turismos) y los autobuses, se tiene que hay 535 coches por cada autobús, o lo que es lo mismo, el 0.19 % de la flota son autobuses. Aún así, este ratio no es representativo de la ciudad, ya que normalmente en estas suelen haber una mayor proporción de autobuses debido al transporte público.

Con objeto de extraer una proporción realista se tiene que analizar el tramo escogido, y ver cuales son las líneas de autobús de la EMT de València que circulan por dicho tramo. En el tramo escogido de la Avenida de los Naranjos se tiene que circulan las líneas 18, 93 y 98. Destacar que la línea 18 solo opera en un tramo pequeño de la avenida, pero aún así entra dentro del cómputo. Suponiendo un tiempo de espera entre autobús y autobús de la misma línea de 15 min, y sabiendo que hay dos sentidos de la circulación, se tiene que el total de autobuses que circulan por hora por todo el tramo estudiado es de aproximadamente 24.

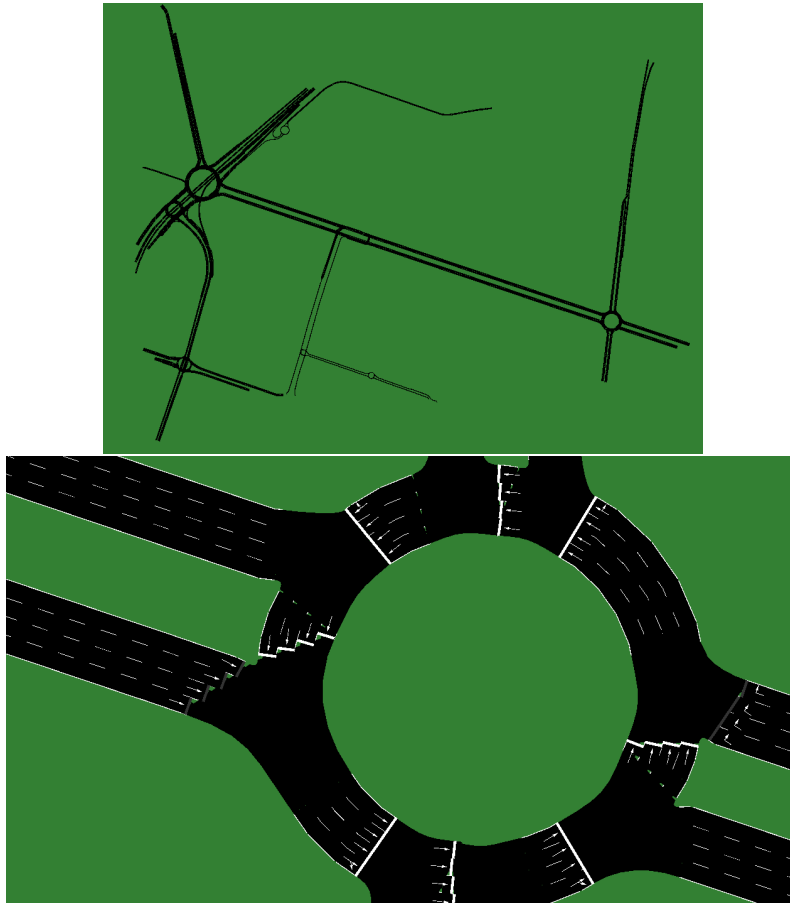


Figura 14: Mapa del tramo de Av. de los Naranjos de la selección realizada con OSM Web Wizard for SUMO.

Dentro de la categoría de los coches, están los diésel y los gasolina principalmente, y a partir de los datos de la Dirección General de Tráfico [9] se tiene que en la ciudad de València, el porcentaje de coches diésel es del 52% y de los coches gasolina es del 48%. A partir de este dato conocido el número de coches se tiene la distribución de ellos en diésel y gasolina.

No se tienen en cuenta los camiones, ya que el número de estos últimos es despreciable frente al de autobuses, que serán en su mayoría de la EMT de València.

Con este número de vehículos por hora en cada tramo, modificando el código de los archivos xml que genera el programa SUMO y mediante el lenguaje

de programación python, se pueden asignar a cada tramo un número de vehículos por hora determinado. No se describirá este proceso pues no se considera el objetivo de este trabajo y su explicación es extensa.

A continuación se muestra la tabla 3, acompañada de la figura 15 donde se puede ver las diferentes rutas, el número de vehículos que engloban y su ubicación en el mapa. Los datos de esta tabla proceden del tráfico de un miércoles a las 18:30.

Nº ruta	Descripción	Vehículos/hora
P2044	De Ramón Llull a Luís Peixó	1311
P2045	De Ramón Llull a Av. Cataluña	1126
P2046	De Ramón Llull a Av. Cataluña	1426
P2049	De Av. Cataluña a Ramón Llull	1785
P2817	De Ramón Llull a Luís Peixó	1293
P2818	De Ramón Llull a Luís Peixó	1194
P2819	De Ramón Llull a Luís Peixó	1182
P2820	De Ramón Llull a Luís Peixó	1109
P2823	De Luis Peixó a Tramoyeres	494
P2824	De Beato Juan Grande a Fausto Elio	377
P2939	De Dr. Lluch a Cavite	461
P2940	De Cavite a Av. Malvarrosa	397

Tabla 3: Número de vehículos por hora en Av. de los Naranjos según número de ruta a las 18:30 un miércoles.

Autovía A-3 desde kilómetro 332 hasta 340

Respecto al segundo tramo estudiado, el de la autovía de la A-3, que corresponde desde el kilómetro 332 hasta el 340 aproximadamente, se ha seguido un procedimiento similar al anterior caso. La diferencia radica en que la fuente de los datos ha sido las imágenes de las cámaras de la Dirección General de Tráfico (DGT), con la menor exactitud que eso conlleva, comparado con los datos del Ayuntamiento de València, donde el número de vehículos se mide mediante espiras instaladas en el suelo. La ventaja respecto a los datos del

Ubicación cámara	Coches/hora	Camiones/hora
Km. 331.75	12100	2470
Km. 334.25	6050	1710
Km. 336.6	9400	5605
Km. 340	7940	3220

Tabla 4: Número de vehículos por hora en autovía A-3 según cámara de tráfico a las 18:30 un miércoles.



Figura 16: Mapa de las diferentes puntos kilométricos donde se ubican las cámaras en la autovía A-3.

pues la autovía A-3 no tiene semáforos.

Primeramente se debe entrar en la página web del Ayuntamiento de València para buscar las fichas de programación de los semáforos relativos al tramo a estudiar. Estas fichas normalmente están realizadas por la empresa Etra. A continuación se puede ver la figura 17, una porción de la ficha de programación de un semáforo de la Av. de los Naranjos.

Una vez obtenidas todas las fichas necesarias con la herramienta NETEDIT se pueden establecer los semáforos en los diversos puntos, estableciendo los tiempos que están en verde, ambar y rojo, siempre referidos estos tiempos a la parte del semáforo que ve el vehículo, no el peatón. A continuación, se puede ver una imagen donde se aprecian los diferentes tiempos mediante la

DIAGRAMA DE BARRAS

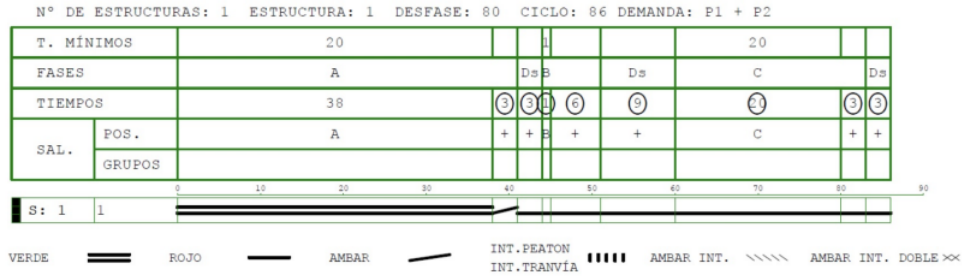


Figura 17: Ficha de la programación del semáforo.

figura 18.

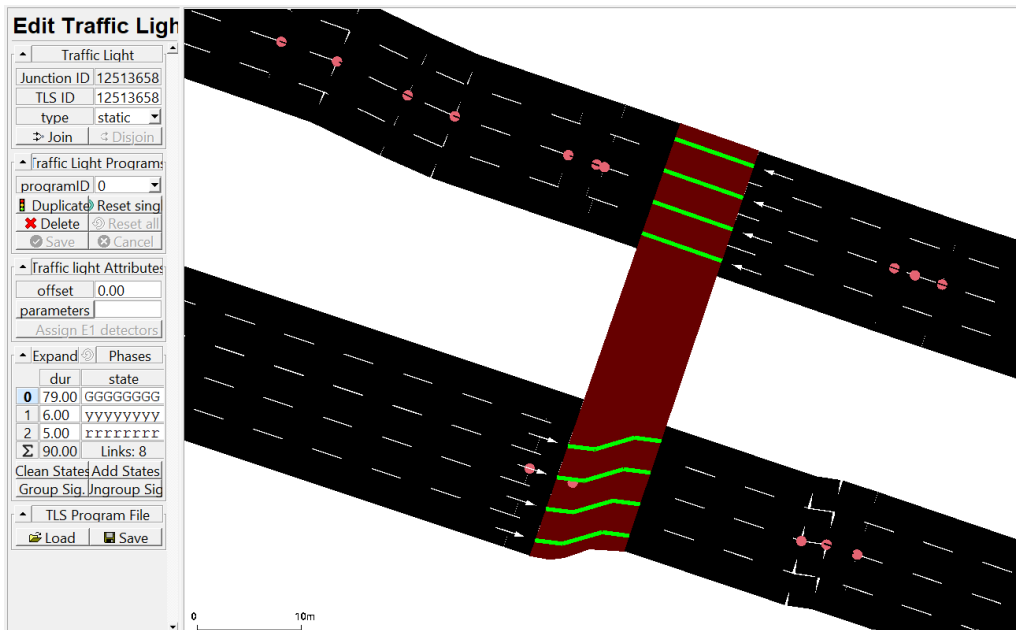


Figura 18: Programación de un semáforo de la Av. de los Naranjos. A la izquierda, se aprecian las fases verde (G), ambar (y) y rojo (r).

Habiendo quedado previamente definidos los flujos de tráfico en el apartado anterior y quedando ahora perfectamente definidos los semáforos ya se puede proceder a lanzar la simulación.

4. Análisis y comparación de datos

En la siguiente sección se va a proceder a presentar los resultados del tratamiento de los datos que se ha realizado con la ayuda de Matlab. No se profundizará en el propio tratamiento de los datos que se ha realizado con Matlab, ya que al igual que con la configuración de las simulaciones de SUMO, la explicación resultaría extensa y no es el objeto de este documento. Se procederá directamente a presentar los datos, en forma de valores, gráficas, histogramas o tablas para realizar un análisis comparativo de ellos teniendo en cuenta tanto el número de vehículos a cada hora del día, y la fuente de los datos.

Se procede primeramente a analizar las simulaciones en ámbito urbano seguido del estudio de contaminantes mediante UAV en autovía.

4.1. Simulaciones de tráfico en ámbito urbano

En la siguiente subsección se van a analizar los datos de las simulaciones de la Av. de los Naranjos a diferentes horas del día, desde las 06:30 de la mañana, hasta las 21:30 de la noche, pues son las horas del día de mayor densidad de tráfico. Analizar las horas que se comprenden entre las 21:30 y las 06:30 supondría un mayor tiempo de cálculo para procesar los datos y no resultaría significativo.

Además, el período de muestreo se ha establecido en tres horas y se ha escogido los datos del tercer día de la semana, es decir, de un miércoles, pues como se ha demostrado con los datos extraídos del Ayuntamiento de València [8], los cinco días de trabajo de una jornada laboral corriente, de lunes a viernes, muestran una tendencia parecida en cuanto a densidad de tráfico durante las horas estudiadas.

Los datos obtenidos del procesado de la simulación con los datos de tráfico del Ayuntamiento de València se van a comparar con los datos procedentes de la estación de medida de gases de la Univesitat Politècnica de València con objeto de ajustar los modelos vehiculares presentados en la sección 2 a la contaminación real del ambiente.

Antes de exponer los datos de emisión de gases expresados en partes por millón (PPM), se procede a comentar las gráficas de consumo de combustible, emisión de CO_2 , emisión de NO_x y emisión de CO .

4.1.1. Consumo de combustible

A continuación, se presentan las curvas de consumo total de combustible, es decir, el volumen de combustible expresado en litros [L] que se ha gastado a las diferentes horas para cada tipo de vehículo en el espacio recorrido de la Av. de los Naranjos.

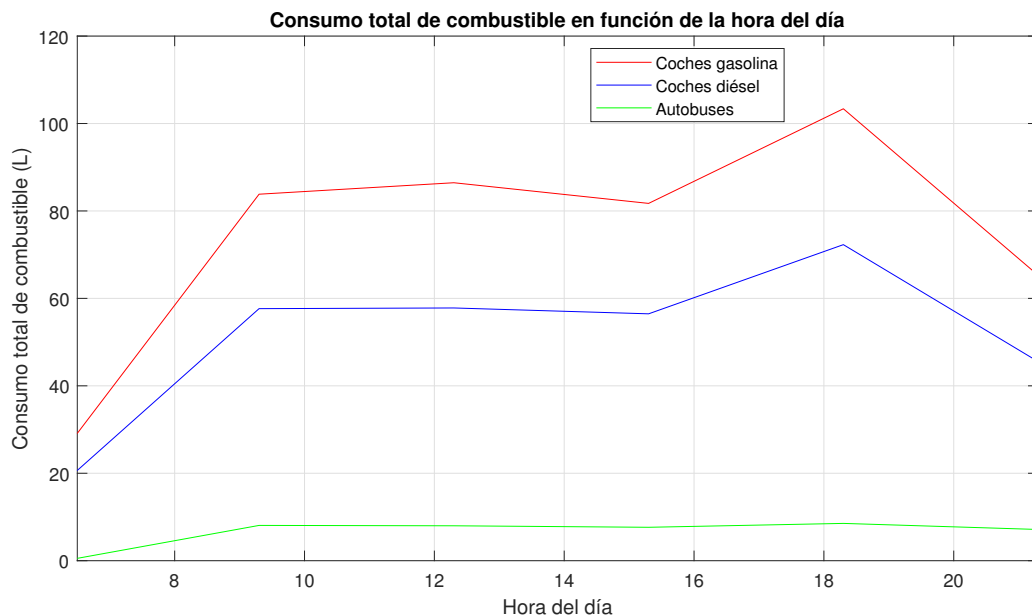


Figura 19: Consumo total de combustible desde las 06:30 de la mañana hasta las 21:30 de la noche. En rojo los coches con motorización gasolina, en azul los coches con motorización diésel y en verde los autobuses.

En la figura 19 se observa en rojo los coches con motorización gasolina, en azul los coches con motorización diésel y en verde los autobuses. Se aprecia como el tipo de vehículo que más litros de combustible gasta es el coche gasolina, a pesar de que representa el 48% de los coches que circulan por València. El coche con motorización diésel gasta bastante menos representando el 52% de los coches que circulan; y los autobuses son sin duda los que menos gastan

ya que el número de ellos que circulan es de 24 autobuses por hora, excepto a las 06:30 de la mañana, que el número de ellos es nulo.

Respecto al consumo de combustible expresado en $[\frac{L}{100km}]$, se tiene que el coche gasolina tiene un promedio de 17.94, el coche diésel de 11.29 y el autobús de 41.3. Estos consumos son más altos que los presentados en la sección 2, ya que a diferencia de esa sección, los vehículos realizan un tramo único por ciudad.

En cuanto a la evolución que presentan las curvas se observa como tanto el coche con motorización gasolina como el diésel presentan un máximo de consumo de combustible a las 18:30. Presentan una zona estable de consumo entre las 09:30 y las 15:30 y tienen un mínimo de consumo a las 06:30 de la mañana. Esta evolución en el consumo se puede deber al desplazamiento de los trabajadores para realizar su jornada laboral.

Respecto a la evolución de los autobuses, salvo a las 06:30, el consumo es estable, prácticamente el mismo hasta las 21:30 debido a que hay el mismo número de autobuses circulando a cada hora.

4.1.2. Emisión de CO_2

En la siguiente gráfica, la figura 20 se observan las curvas de emisión total de CO_2 , expresado en [kg], donde aparece en rojo los coches con motorización gasolina, en azul los coches con motorización diésel y en verde los autobuses.

Como se puede observar, al igual que con el consumo de combustible, el coche gasolina es el que mayor emisión presenta. Esta vez la diferencia entre el coche diésel y el gasolina es menor, ya que a pesar de que el consumo es menor en el caso diésel y debería emitir menos CO_2 que el gasolina, la cadena que representa el gasóil, el dodecano, modelada como $C_{12}H_{26}$ tiene 12 átomos de carbono, mientras que la cadena que representa a la gasolina, el octano, modelado como C_8H_{18} , tiene 8 átomos de carbono. Ello hace que la diferencia que debería haber en emisión de CO_2 se vea muy reducida.

Ello se puede ver en el promedio expresado en $[\frac{kg}{100km}]$ donde para el caso gasolina el valor es de 42.3, para el caso diésel es de 29.7 y para el autobús,

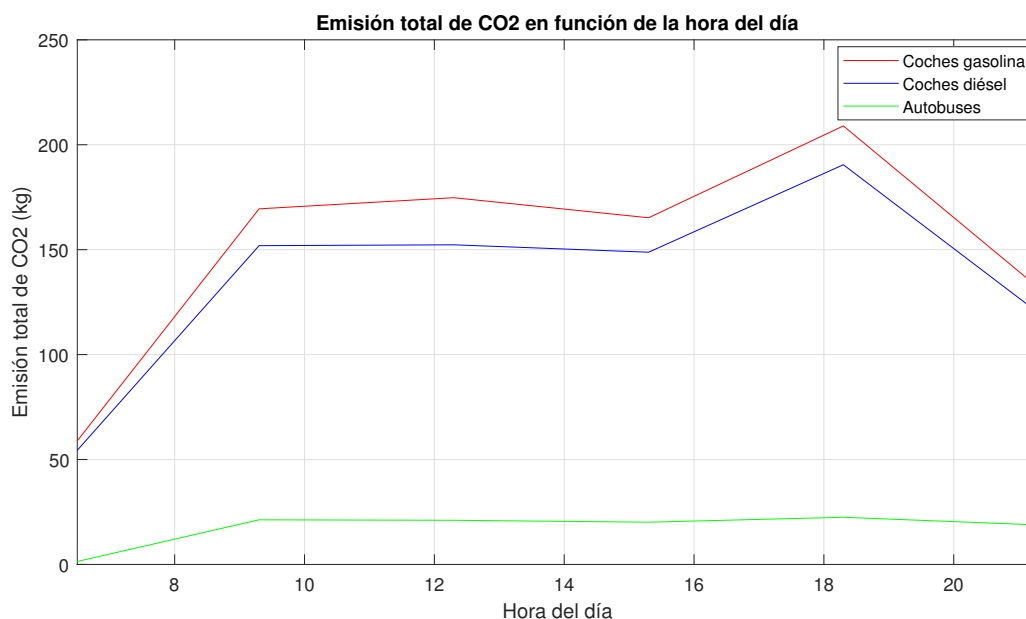


Figura 20: Emisión total de CO_2 desde las 06:30 de la mañana hasta las 21:30 de la noche. En rojo los coches con motorización gasolina, en azul los coches con motorización diésel y en verde los autobuses.

es de 108.8, el más elevado.

En cuanto a la evolución a lo largo de las horas estudiadas, es esencialmente la misma que la del consumo de combustible.

4.1.3. Emisión y concentración de NO_x

A continuación se presentan las curvas de emisión total y concentración de NO_x , expresado en [g] y en PPM respectivamente, donde aparece en azul el eje izquierdo y las curvas de emisión de los coches con motorización diésel y los autobuses, y en rojo el eje derecho y las curvas de concentración de los coches con motorización diésel y los autobuses. La emisión de NO_x en los coches gasolina se considera despreciable.

Respecto a la concentración de NO_x , expresada en PPM, se parte de los datos de la estación de medición de gases de la UPV y por otra parte del procesado de los datos la simulación. No se puede hacer así con la concentración de

CO, pues no se disponen de datos de este contaminante por parte de la estación UPV, por lo que solo se presentarán los resultados del procesado de la simulación y se analizarán.

Respecto al procesado de los datos de la simulación se tiene que los únicos que contribuyen a la concentración de NOx es el coche diésel y el autobús. Como la concentración en PPM se trata de una medida relativa a la masa en el escape de cada vehículo, y el autobús tiene una masa diferente que el del coche diésel, se ha decidido unificar la concentración de PPM respecto a la masa del escape del coche diésel.

Las fórmulas que nos representan la concentración en el coche diésel y en el autobús, son las ecuaciones 11 y 12 respectivamente:

$$PPM_{NOx \text{ diésel}} = 10^6 \cdot \frac{m_{NOx \text{ diésel}}}{m_{\text{escape diésel}}} \cdot \frac{\text{Peso molar}_{\text{escape diésel}}}{\text{Peso molar}_{NOx}} [-] \quad (11)$$

$$PPM_{NOx \text{ bus}} = 10^6 \cdot \frac{m_{NOx \text{ bus}}}{m_{\text{escape bus}}} \cdot \frac{\text{Peso molar}_{\text{escape bus}}}{\text{Peso molar}_{NOx}} [-] \quad (12)$$

Para expresar las PPM respecto del escape del coche diésel es preciso conocer la masa de NOx, tanto del coche diésel como del bus, sumarlas y calcular las PPM mediante la ecuación 11.

Una vez calculadas las concentraciones respectivas al procesado de los datos de la simulación y comparadas con las correspondientes a la estación de medición de gases de la UPV a lo largo del día se llega a la conclusión de que las curvas se hallan muy distantes, lo que nos indica que los valores de PPM a lo largo del día difieren mucho. Ello se debe en gran medida al hecho de que las PPM calculadas a partir del procesado de los datos de la simulación están referenciadas al escape del coche diésel, y por tanto no se está teniendo en cuenta la masa del aire que envuelve al coche, que es donde finalmente acaba la masa de NOx.

Sin embargo en la estación de la UPV la concentración se mide teniendo en cuenta la masa del aire ya que en este caso la masa de NOx se halla

suspendida en el ambiente después de pasar un tiempo prudencial desde la combustión y de salir del escape de los coches diésel y de los autobuses.

Con todo ello, para corregir la desviación de los datos del procesado de la simulación se propone el ajuste de los modelos presentados de las emisiones contaminantes mediante una constante para que estos modelos representen la concentración de contaminante en el ambiente, y no la del escape del vehículo, que en este estudio no es de especial interés.

Con todo ello, la constante calculada, representada como c es la siguiente:

$$c = 0.055 [-]$$

Multiplicando este valor por las concentraciones de contaminantes de los modelos vehiculares presentados, se obtendrá una aproximación a la concentración en el ambiente real de estas especies. Con todo ello, las siguientes cálculos se realizan incorporando esta constante. Así, se presenta la figura 21.

Como es obvio, la emisión de NOx es mayor en los coches diésel porque el número de ellos es mucho mayor que el de autobuses, pero si tenemos en cuenta la emisión de NOx en $[\frac{g}{100km}]$, donde el autobús emite $37.42 [\frac{g}{100km}]$ y el coche diésel $22.84 [\frac{g}{100km}]$ la diferencia entre ambos vehículos no es tan grande. Aún así la diferencia no es demasiado alta si tenemos en cuenta la diferencia de pesos de estos vehículos (que es muy grande). Ello se debe al relativo bajo consumo que presenta un autobús teniendo en cuenta su masa en comparación con un coche diésel.

Al igual que con el CO_2 , el NOx presenta una evolución similar al consumo de combustible, pues se halla relacionado con este.

Respecto a la concentración de NOx, se observa como la tendencia que presenta el coche diésel no sigue la tendencia que presenta la emisión de NOx. Ello se puede deber a que los aumentos de emisión de NOx, no solo aumenta el NOx, sino también otras especies como el vapor de agua o el dióxido de carbono, y ello supone que por la ecuación 11 el aumento considerable en emisión de NOx no se vea reflejado en un aumento considerable de PPM

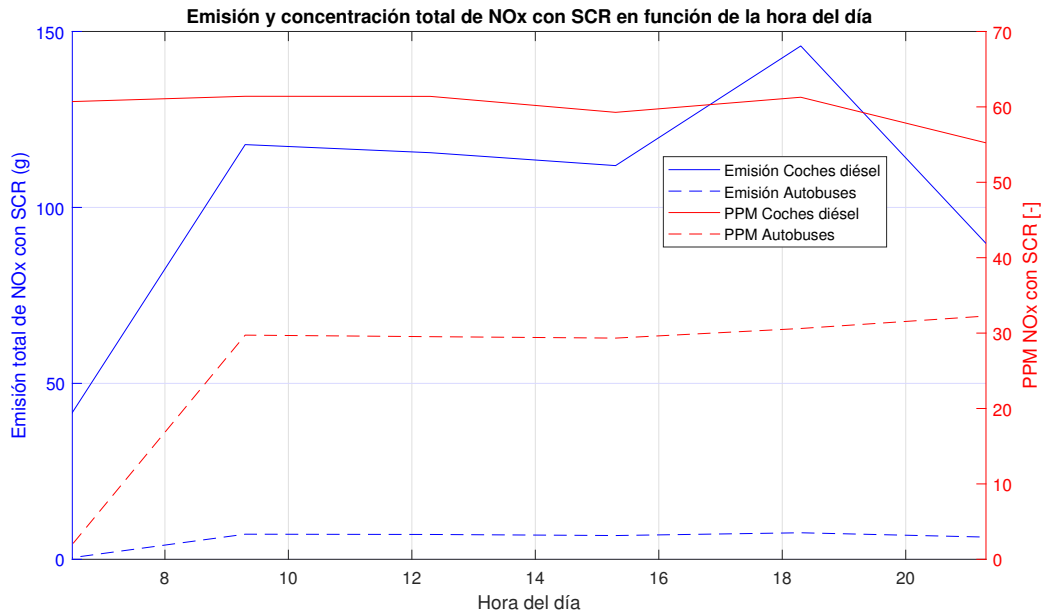


Figura 21: Emisión total y concentración de NOx desde las 06:30 de la mañana hasta las 21:30 de la noche. En azul la emisión total y en rojo la concentración del coche diésel y el autobús.

de NOx. Si se compara la concentración de NOx del coche diésel y de los autobuses, se tiene que la concentración del coche diésel es casi el doble que la de los autobuses.

Mapa de concentración de NOx

En el siguiente apartado se procede a presentar el mapa de concentración de NOx mediante la figura 22 expresada en PPM donde el eje vertical se define como la hora del día, desde las 06:30 hasta las 21:30 horas, y donde el eje horizontal representa la longitud de la vía, en este caso de 1600 [m], cuya discretización se ha realizado en tramos de 100 [m] para calcular la concentración. El mapa representa para cada hora del día y para cada tramo de 100 [m] la concentración de NOx.

En el anterior mapa se observa como la concentración de NOx varía ligeramente, desde las 30 PPM de NOx hasta las 60 PPM de NOx aproximadamente. En el tramo que comprende desde los 900 [m] hasta los 1400 [m]

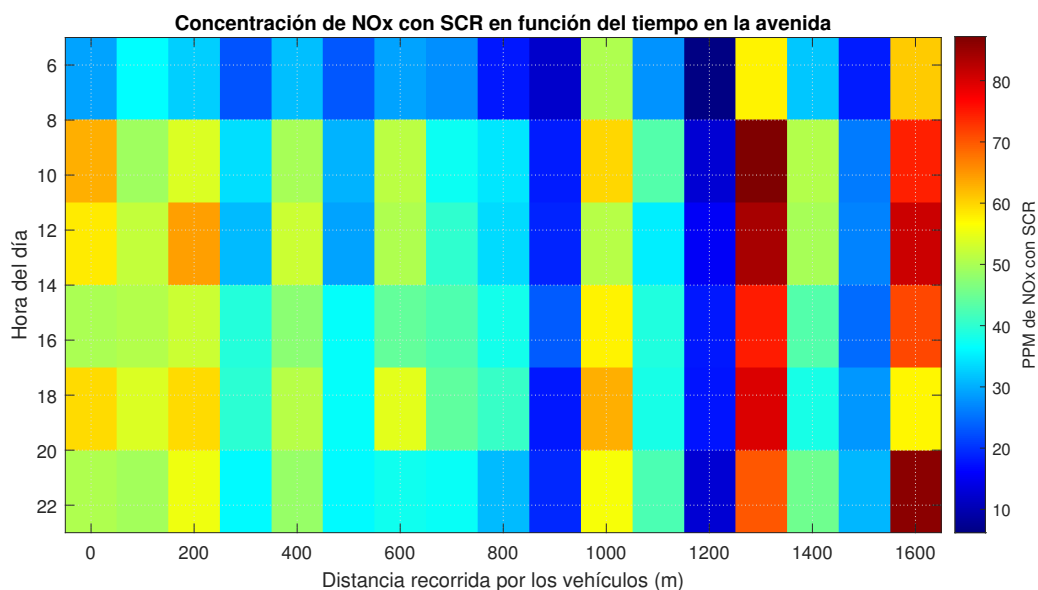


Figura 22: Mapa de concentración de NOx en partes por millón (PPM) en el tramo estudiado de la Av. de los Naranjos en función de la longitud de la vía y de la hora del día.

las concentraciones varían de un extremo de la escala a otro. Ello se puede deber a que en la ejecución de la simulación en SUMO se produce una concentración alta de coches en el tramo citado. Esto es fácilmente explicable pues, la avenida, que consta de semáforos puede estar segregando los coches de manera que en unos semáforos haya pocos coches parados emitiendo NOx y en otros muchos.

La concentración promedio en el tramo estudiado de la avenida a lo largo del día es de 45.08 PPM.

4.1.4. Emisión de CO

Seguido, se observa la emisión total y concentración de CO, expresado en [g], donde únicamente aparece el coche gasolina, debido a que la aportación del diésel y el autobús es despreciable.

Respecto al procesado de los datos de la simulación se tiene que el único vehículo que contribuye a la concentración de CO es el coche gasolina. Esta

concentración se va a referir al escape del coche gasolina.

La ecuación 13 que representa la concentración en el coche gasolina:

$$PPM_{CO \text{ gasolina}} = 10^6 \cdot \frac{m_{CO \text{ gasolina}}}{m_{\text{escape gasolina}}} \cdot \frac{\text{Peso molar}_{\text{escape gasolina}}}{\text{Peso molar}_{CO}} [-] \quad (13)$$

A continuación se introduce la figura 23 donde se observa la evolución a lo largo del día de las PPM de CO, así como la emisión total de CO provenientes del procesado de los datos de la simulación. Los datos de esta figura están ajustados con la constante calculada anteriormente.

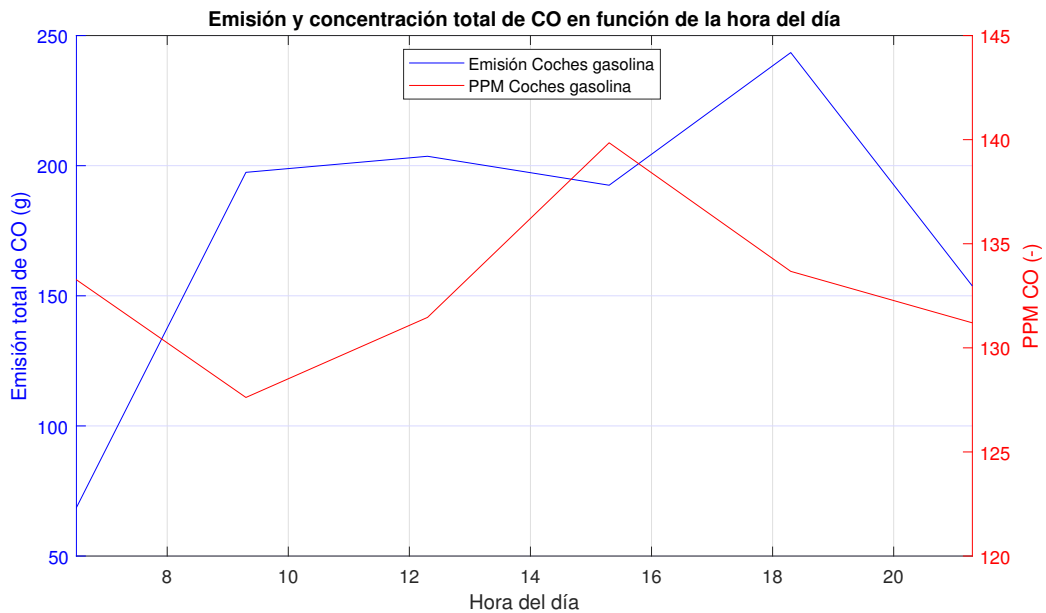


Figura 23: Emisión total y concentración de CO desde las 06:30 de la mañana hasta las 21:30 de la noche. En azul la emisión total y en rojo la concentración.

La evolución del CO en cuanto a emisión total es similar al CO_2 y NO_x (coche diésel), pues todos ellos se calculan a partir del consumo de combustible. En concreto, la fracción de CO se ha calculado mediante la reacción química con disociación en especies intermedias (ecuación 6).

El promedio expresado en $[\frac{g}{100km}]$ resulta ser de 42.61, un valor que supone casi el doble de la emisión de NO_x para el coche diésel pero en el mismo orden de magnitud.

Respecto a la concentración de CO, la curva presenta una tendencia ciertamente inestable, con un mínimo a las 09:30 horas y un máximo que se encuentra a las 15:30 de la mañana.

El máximo que se encuentra a las 15:30 no parece seguir la tendencia de emisión total de CO, que a esta misma hora se presenta estable. Ello se puede deber a que la emisión de CO_2 (figura 20) disminuye ligeramente, así como la emisión de vapor de agua y la emisión de CO. La diferencia es que tanto el CO_2 como el vapor de agua (no estudiado), al tener escalas de emisión más grandes disminuye en bastante más masa que el CO, que tiene una escala de emisión más pequeña, lo que provoca que la concentración de CO aumente notablemente. El mismo suceso ocurre a las 09:30, donde tanto la emisión de CO_2 como la emisión de CO aumentan respecto a las 06:30, pero tiene una mayor ponderancia la emisión de CO_2 (ecuación 13) y ello provoca la disminución de la concentración de CO.

En adición, estas concentraciones son más altas que las presentadas en la figura 21 mediante la curva que representa la concentración de NOx.

Mapa de concentración de CO

En el siguiente apartado se procede a presentar un mapa de concentración de CO expresada en PPM donde el eje vertical se define como la hora del día, desde las 06:30 hasta las 21:30 horas, y donde el eje horizontal representa la longitud de la vía, en este caso de 1600 [m], cuya discretización se ha realizado en tramos de 100 [m] para calcular la concentración. El mapa representa para cada hora del día y para cada tramo de 100 [m] la concentración de CO.

En la figura 24 se observa como la concentración de CO varía de manera notable si tenemos en cuenta la magnitud de la concentración, desde las 120 PPM de CO hasta las 150 PPM de CO aproximadamente, a excepción del tramo que comprende desde los 900 [m] hasta los 1400 [m], donde las concentraciones varían de un extremo de la escala a otro. Al igual que comentado en el apartado respectivo de NOx, ello se puede deber al resultado que los semáforos ejercen sobre el tráfico rodado.

La concentración promedio en el tramo estudiado de la avenida, desde los 0

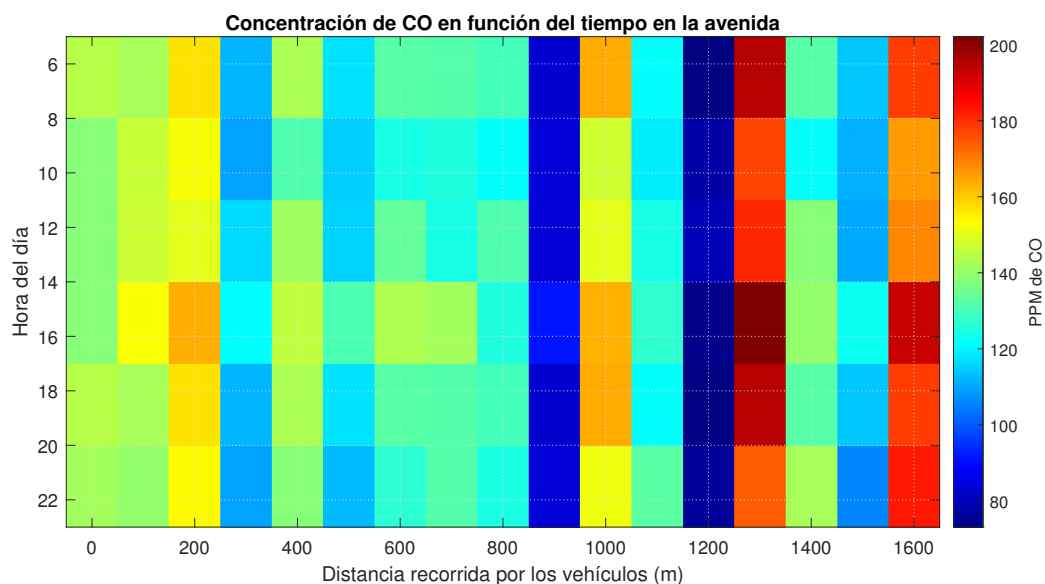


Figura 24: Mapa de concentración de CO en partes por millón (PPM) en el tramo estudiado de la Av. de los Naranjos en función de la longitud de la vía y de la hora del día.

hasta los 1600 [m] es de 132.91 PPM.

Si se compara este valor con el correspondiente a la concentración de NOx la diferencia es clara, pues el valor de concentración de CO es aproximadamente tres veces el valor de concentración de NOx.

Con todos los resultados presentados, y habiendo corregido los modelos mediante la introducción de la constante c quedan validados los modelos.

4.2. Estudio de contaminantes mediante dron en autovía

En la siguiente subsección se va a comparar los diferentes parámetros como el consumo de combustible, emisión de CO_2 , emisión de NOx o emisión de CO, de los datos de tráfico tomados como reales, es decir, los provenientes de los cálculos realizados con las cámaras de tráfico de la DGT, con los respectivos datos que hubiera tomado un UAV hipotéticamente realizando pasadas cada cinco horas, desde las 06:30 hasta las 21:30, un miércoles, igual que en la

simulación de la Av. de los Naranjos.

El período de tiempo escogido para la toma de datos del UAV es significativamente mayor que el período de tiempo que se ha elegido para la toma de datos de las cámaras de tráfico, pues se supone que el UAV no va a estar volando con mucha frecuencia. El objeto de estudio será ver las diferencias y el error que se comete al asumir los datos del UAV como reales.

Se supone por tanto que el UAV está ajustado debidamente para computar el número de coches diésel y gasolina (tipo berlina), y por otra parte para computar el número de camiones. Por tanto las cifras de número de vehículos a las 06:30 horas, por ejemplo, coincide en ambos casos, pues el número de vehículos reales se ha calculado a partir de las cámaras de tráfico y por otra parte el UAV, ha obtenido el mismo número de vehículos, pues ha realizado la pasada a la misma hora, y está debidamente calibrado para que no exista ninguna diferencia con los datos reales.

La cuestión que realmente hace que los datos de las cámaras de tráfico sean los reales y los del UAV tengan un error implícito es el hecho de que el UAV toma los datos cada cinco horas, en vez de cada hora, como las cámaras de tráfico, y por tanto las variaciones que puedan haber entre estas horas que no sigan una interpolación lineal, que es el método por el cual se van a representar los datos del UAV, se van alejar de la tendencia que presentan los datos del UAV.

Representado en un gráfico se verán los datos del UAV tomados a las 06:30, 11:30, 16:30 y 21:30 unidos mediante rectas, es decir, la curva será la resultante de una interpolación lineal. Mientras que los datos de las cámaras de tráfico seguirán una curva que se ajusta fielmente a la realidad, pues estos datos se pueden tomar cada 7 min, y por tanto se ajustan mucho mejor al tráfico real (en este estudio se ha tomado como período de muestreo una hora, pues la representación cada 7 min de los datos hubiera sido muy costosa tanto en términos de cálculo del número de vehículos, como después el procesado de estos datos; es por ello que en las gráficas siguientes los datos reales se verán como una recta que se extiende de punto a punto).

Es esta la principal diferencia que existe entre los datos reales y los datos

que nos proporciona hipotéticamente el dron.

Seguidamente se presenta la tabla 5 con los datos del número de vehículos que circulaban desde las 06:30 horas hasta las 21:30 (promedio de todos los tramos de cámaras) un miércoles, tomados de los cámaras de tráfico de la DGT.

Hora	Coches/hora	Camiones/hora
06:30	6590	2533
07:30	7085	2738
08:30	7202	2891
09:30	7434	3114
10:30	8214	2946
11:30	8633	2716
12:30	9093	2502
13:30	8373	2613
14:30	8010	2550
15:30	7264	2427
16:30	7994	2678
17:30	8592	2988
18:30	9183	3262
19:30	8502	2345
20:30	8933	2017
21:30	9778	1742

Tabla 5: Número de vehículos por hora en autovía A-3 según las cámara de tráfico desde las 06:30 hasta las 21:30 un miércoles.

Seguidamente se representarán los parámetros de consumo y emisiones contaminantes analizados.

4.2.1. Consumo de combustible

A continuación, se presentan las curvas de consumo total de combustible, es decir, el volumen de combustible expresado en litros [L] que se ha gastado a

las diferentes horas para cada tipo de vehículo en el espacio analizado de la autovía A-3.

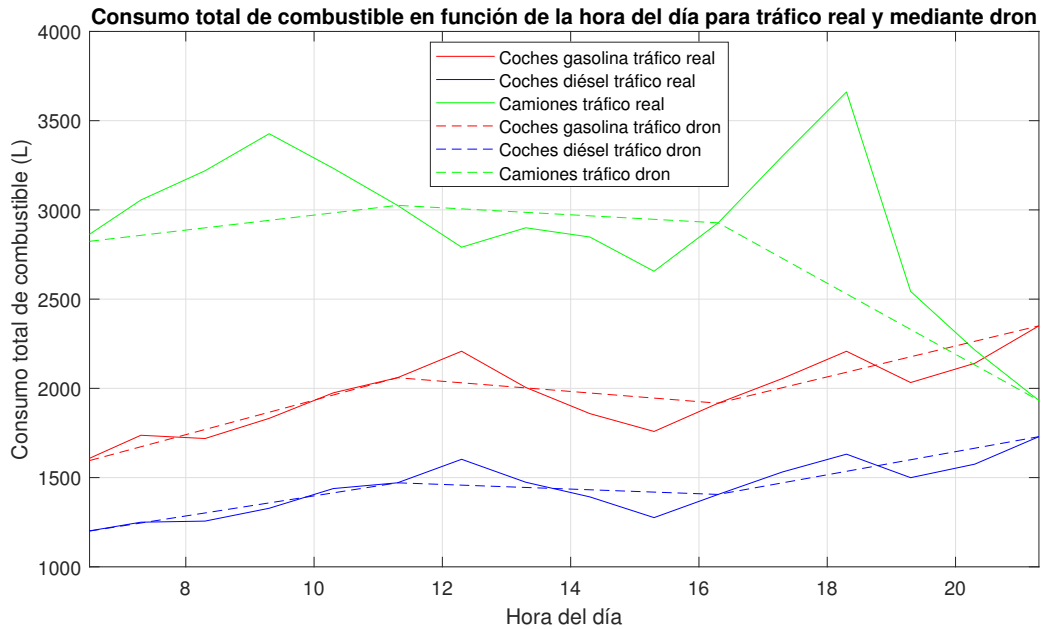


Figura 25: Consumo total de combustible desde las 06:30 de la mañana hasta las 21:30 de la noche. En rojo los datos reales de coches con motorización gasolina, en azul los datos reales de coches con motorización diésel y en verde los datos reales de autobuses. En el mismo color pero con la línea punteada se representan los datos tomados por el UAV respectivamente.

En la figura 25 primeramente se aprecia como el consumo de combustible varía notablemente según la hora del día, siendo para el camión los valores más pequeños a las 06:30, a las 15:30 y a las 21:30 especialmente. Los valores más altos se observan a las 09:30 y a las 18:30. Para los coches gasolina y diésel el comportamiento es distinto, ya que hay un mayor consumo a las 21:30, cuando los trabajadores vuelven a casa, y un menor consumo a primera hora de la mañana, las 06:30 y a las 15:30, al igual que los camiones.

Adicionalmente se aprecia como existe una diferencia notable entre la curva de los datos de tráfico reales y la curva de los datos tomados por el UAV que se representará posteriormente mediante una tabla.

En adición, se observa como el vehículo que presenta mayor consumo de

combustible es el camión, con diferencia. Por detrás lo sigue el coche gasolina y después el coche diésel. Esto supone una diferencia importante respecto a la misma gráfica presentada en la subsección de la simulación de la Av. de los Naranjos. En dicha subsección el consumo de los camiones (autobuses en su lugar) es mucho más bajo, ya que únicamente circulan los autobuses de la EMT. Pero en la autovía A-3, el número de camiones es mucho más elevado, como era de esperar, tal y como se puede ver en la tabla 5.

Respecto al consumo de combustible expresado en $[\frac{L}{100km}]$, se tiene que el coche gasolina tiene un promedio de 12.42, el coche diésel de 8.42 y el autobús de 29.32. Estos consumos son más altos que los presentados en la sección de Modelado pero más bajos que los presentados en la subsección de la simulación de la Av. de los Naranjos. Ello se debe a que en carretera hay menos cambios de velocidad (no hay semáforos), menos aceleraciones y por tanto menor consumo, si se compara con la ciudad.

Los valores de consumos citados están calculados en base a los datos del tráfico real y el tráfico tomado por el UAV, ya que a pesar de que estos difieren, la diferencia entre la toma de datos de consumo de combustible expresado en $[\frac{L}{100km}]$ entre un muestreo y el siguiente es muy pequeña, y por tanto lo es también la diferencia entre los datos reales y los tomados por el UAV. En la práctica, los valores son idénticos.

4.2.2. Emisión de CO_2

En la figura 26 se observan las curvas de emisión total de CO_2 , expresado en [kg], donde aparece en rojo los datos reales de los coches con motorización gasolina, en azul los datos reales de los coches con motorización diésel y en verde los datos reales de los camiones y en el mismo color pero con en línea punteada los datos tomados por el UAV respectivamente.

Primeramente se observan las mismas tendencias en las curvas que las citadas en la anterior subsección de consumo de combustible.

Adicionalmente se observa como es el camión el que contribuye mayormente a la emisión de CO_2 , como era de esperar. Si se observa el coche diésel y el gasolina se aprecia como la diferencia de emisión de CO_2 es muy poca debido

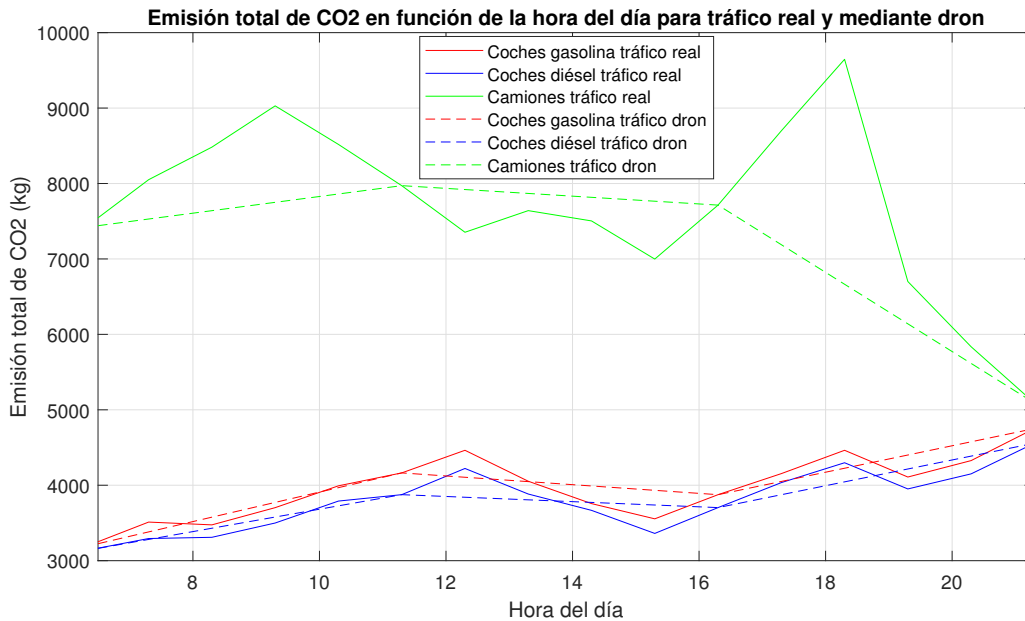


Figura 26: Emisión total de CO_2 desde las 06:30 de la mañana hasta las 21:30 de la noche. En rojo los datos reales de coches con motorización gasolina, en azul los datos reales de coches con motorización diésel y en verde los datos reales de camiones. En el mismo color pero con la línea punteada se representan los datos tomados por el UAV respectivamente.

a que la cadena más larga del hidrocarburo del gasóil hace que este emita más CO_2 por unidad de masa que respecto a la gasolina. Respecto a los valores de emisión de [kg] de CO_2 a los 100 [km] se tiene que el camión emite 77.24 $[\frac{kg}{100km}]$, el gasolina 29.27 $[\frac{kg}{100km}]$ y el diésel 22.17 $[\frac{kg}{100km}]$. De nuevo se observa como estos promedios son inferiores respecto a la simulación de la Av. de los Naranjos.

4.2.3. Emisión y concentración de NO_x

A continuación se presentan las curvas de emisión total y concentración de NO_x , expresado en [g] y en PPM respectivamente, donde aparece en azul el eje izquierdo y las curvas de emisión de los coches con motorización diésel y los autobuses, y en rojo el eje derecho y las curvas de concentración de los coches con motorización diésel y los autobuses. La emisión de NO_x en los

coches gasolina se considera despreciable.

Respecto a la concentración de NO_x, expresada en PPM, se parte de los datos del procesado de los datos tomados a partir de las imágenes de las cámaras de tráfico de la DGT por una parte y por otra parte del procesado de los datos provenientes del UAV. El período de muestreo es de una hora para la toma de datos de las cámaras de tráfico y de cinco horas para la toma de datos provenientes del UAV.

Adicionalmente se presentará un mapa de la concentración de NO_x en todo el tramo estudiado donde se calculará la concentración en tramos de 250 [m].

Al igual que en la subsección correspondiente a la simulación de la Av. de los Naranjos, se ha decidido unificar la concentración de PPM respecto a la masa del escape del coche diésel.

Con ello, se aplican las ecuaciones 11 y 12 y se obtienen los valores de PPM de NO_x.

A continuación se introduce la figura 27 donde se compara la evolución a lo largo del día de la emisión total y concentración de NO_x del procesado de los datos de tráfico reales y del procesado de los datos provenientes del UAV.

Como se puede observar en el eje vertical de la primera gráfica de la figura 27 la emisión total de NO_x es mayor en los coches diésel porque el número de ellos es bastante mayor que el de camiones. Si se pone como ejemplo que a las 12:30 del mediodía el número de coches que circulan es de 9093 (véase tabla 5, de los cuales el 52 % es diésel, es decir, 4728 coches; y que el número de camiones es de 2502, se entiende que la emisión en NO_x en $[\frac{g}{100km}]$ de los camiones tiene que ser más alta para quedarse cerca del total de los coches diésel, pero no demasiado.

Así se tiene que la emisión de NO_x en $[\frac{g}{100km}]$ del camión es 39.57 $[\frac{g}{100km}]$ y del coche diésel 24.36 $[\frac{g}{100km}]$. Aún así la diferencia no es demasiado alta si tenemos en cuenta la diferencia de pesos de estos vehículos (que es muy grande). Ello se debe al relativo bajo consumo que presenta un camión teniendo en cuenta su masa en comparación con un coche diésel.

Respecto a la concentración de NO_x es mayor respecto de la figura 21 tenien-

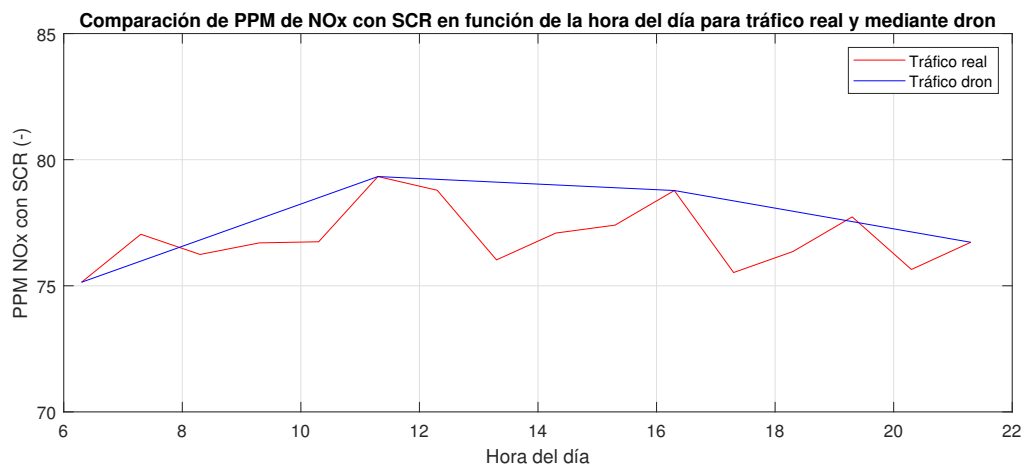
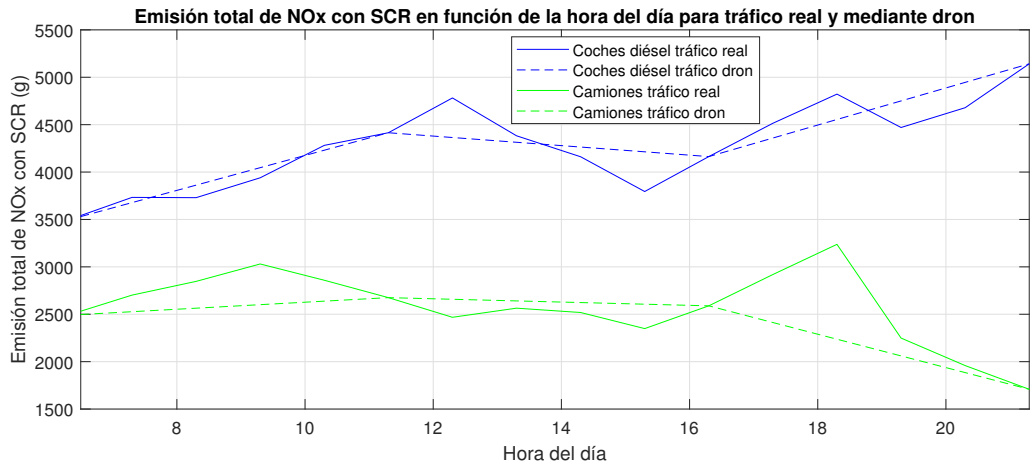


Figura 27: Emisión total y concentración de NOx desde las 06:30 de la mañana hasta las 21:30 de la noche. En la primera gráfica (emisión total): en azul los datos reales de coches con motorización diésel y en verde los datos reales de camiones. En el mismo color pero con la línea punteada se representan los datos tomados por el UAV respectivamente. En la segunda gráfica (concentración): en rojo la curva que representa los datos reales, y en azul la curva que representa los datos tomados por el UAV.

do en cuenta la contribución a la concentración de NOx del coche diésel y el autobús. Ello se debe a que hay un mayor número de coches y camiones con

motorización diésel circulando y la concentración de coches en la carretera es mayor respecto de la avenida. Además la variación de concentración de NOx en función de la hora del día en la Av. de los Naranjos es bastante mayor que en la autovía A-3, donde la concentración varía ligeramente a lo largo del día.

Por ello se puede establecer una conclusión clara sobre la concentración de NOx en el tramo estudiado de la autovía A-3 respecto del tramo de la Av. de los Naranjos, y esta es que la concentración en la autovía, habiendo un mayor número de coches y camiones con motorización diésel, es mayor a la de la avenida.

En cuanto a la diferencia que existe entre los datos de tráfico real y los tomados por el UAV, se tiene que el promedio de gramos de NOx del coche diésel con los datos de tráfico real es de 4281 gramos; y para el UAV es de 4184 gramos. La diferencia es del 2.3 %, muy pequeña.

Mapa de concentración de NOx

En el siguiente apartado se procede a presentar el mapa de concentración de NOx mediante la figura 22 expresada en PPM donde el eje vertical se define como la hora del día, desde las 06:30 hasta las 21:30 horas, y donde el eje horizontal representa la longitud de la vía, en este caso de 8000 [m], cuya discretización se ha realizado en tramos de 250 [m] para calcular la concentración. El mapa representa para cada hora del día y para cada tramo de 250 [m] la concentración de NOx.

En la figura 28 se observa como la concentración de NOx varía ligeramente, desde las 60 PPM de NOx hasta las 90 PPM de NOx aproximadamente, a excepción de los primeros 1000 [m] donde se observa un valor de PPM bastante más alto que en todo el tramo posterior. Ello se puede deber a que en la ejecución de la simulación en SUMO se produce una concentración alta de coches en la zona del punto kilométrico 340 (se establece como kilómetro 0 en este mapa), cerca del paso a nivel donde confluyen diversas carreteras. Dicha concentración se ve disipada a medida que avanza el tráfico.

Por tanto, la zona que resulta válida es la correspondiente desde los 1000

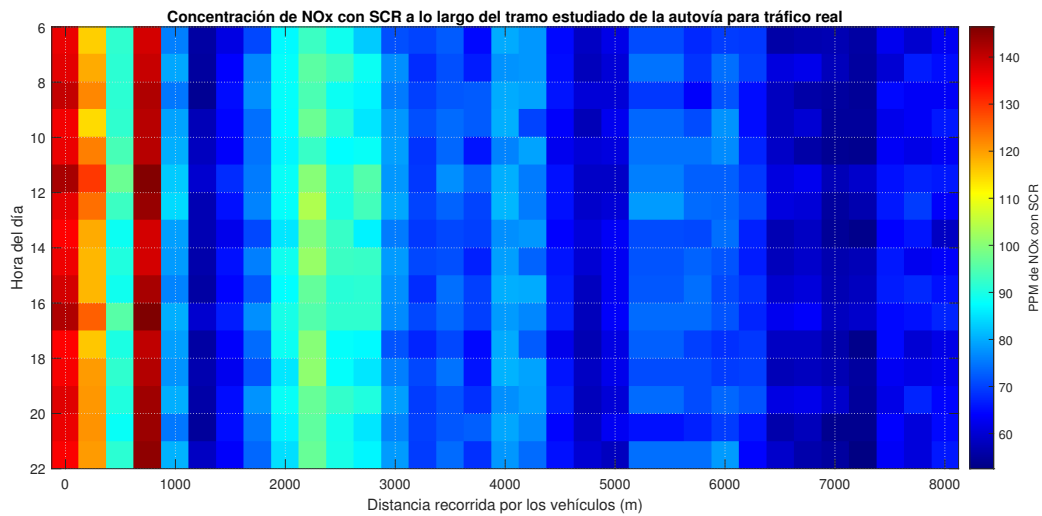


Figura 28: Mapa de concentración de NOx en partes por millón (PPM) en el tramo estudiado de la autovía A-3 en función de la longitud de la vía.

[m] hasta los 8000 [m], donde la concentración promedio de NOx es de 76.56 PPM.

Si se compara este valor, que proviene de tratar los datos de tráfico real, con los datos que provienen del UAV, cuyo valor promedio de NOx es de 77.21 PPM, es directo que la diferencia es muy pequeña en este caso, y ello hace que los resultados obtenidos mediante los datos del UAV se puedan tomar como reales.

Si el período de muestreo fuera menor para la toma de datos de las cámaras de tráfico (7 min), la diferencia sería más grande y apreciable y el método de toma de datos mediante el UAV tendría un mayor error respecto de los datos de las cámaras de tráfico.

4.2.4. Emisión y concentración de CO

Seguido, se observa la emisión total y concentración de CO, expresado en [g] y en PPM respectivamente, donde únicamente aparece el coche gasolina, debido a que la aportación del diésel y el camión es despreciable.

Respecto a la concentración de CO, expresada en PPM, se toman los datos

por una parte del procesado de los datos tomados a partir de las imágenes de las cámaras de tráfico de la DGT y por otra parte del procesado de los datos provenientes del dron. El único vehículo que contribuye a la concentración de CO es el coche con motorización gasolina.

Con ello, se aplica la ecuación 13 y se obtienen los valores de PPM de CO.

A continuación se introduce la figura 29 donde se compara la evolución a lo largo del día de las PPM de CO, así como la emisión total de CO provenientes del procesado de los datos de tráfico reales y del procesado de los datos provenientes del UAV.

Como se aprecia la emisión de CO tiene bastante relevancia, pues alcanza un máximo a las 21:30 horas con alrededor de 5500 gramos de CO. Las horas de menor emisión de monóxido de carbono son las 06:30 de la mañana y las 15:30 del mediodía. La tendencia que se observa es muy similar a la observada en la emisión de NOx (figura 21), presentando las mismas formas. Además, la magnitud de la emisión es la misma.

Además, se tiene que la emisión de CO expresada en $[\frac{g}{100km}]$ es de 29.24.

En cuanto a la concentración de CO, se tiene que varía ligeramente a lo largo del día, teniendo su máximo a las 14:30 horas del mediodía. Respecto al mínimo lo presenta a las 12:30 horas del mediodía.

La tendencia que presenta no parece coincidir con la emisión total de CO, que presenta un máximo sobre las 21:30 horas de la noche. Esta diferencia se puede deber a que a pesar de que a las 12:30, 18:30 y 21:30, la emisión total de CO es mayor, también lo es la emisión de CO_2 tal y como se aprecia en la figura 26, y también lo es la emisión de vapor de agua. Además la emisión de estas dos últimas especies químicas es mucho mayor que la de CO, y por tanto un aumento de estas sumado de un pequeño aumento de la emisión de CO significa una disminución en la concentración de CO, tal y como se puede observar en la ecuación 13.

El valor promedio de PPM de CO del tráfico real es de 205.78, un valor considerablemente más alto que el respectivo del estudio de la Av. de los Naranjos. Ello se puede deber a la mayor velocidad de los vehículos y a la

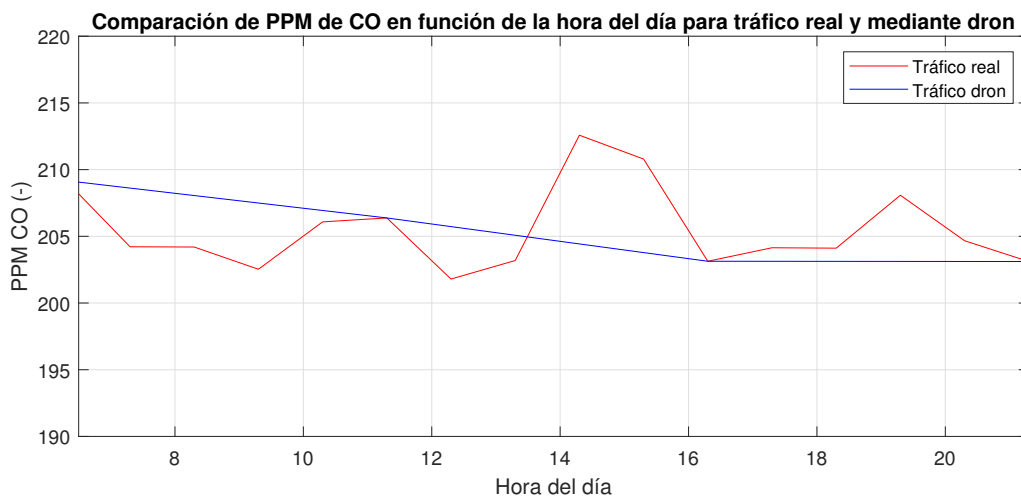
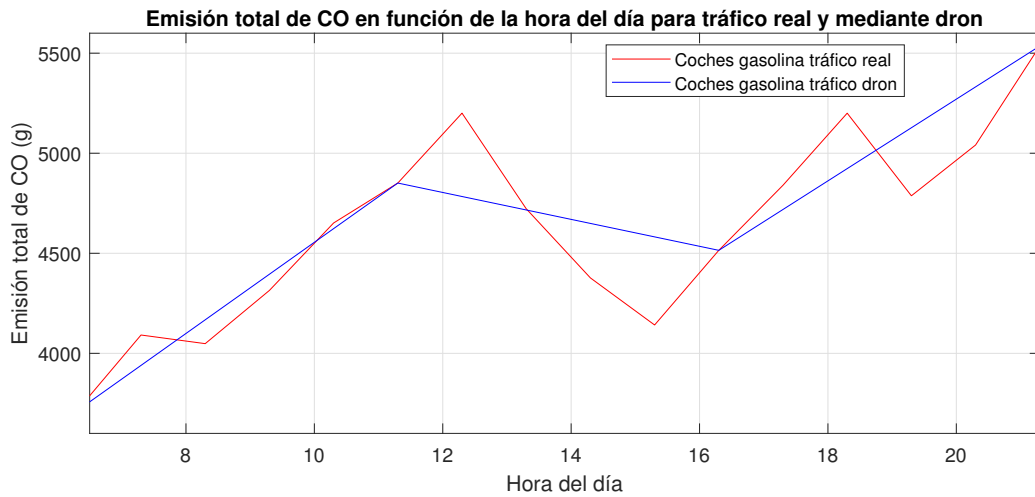


Figura 29: Emisión total y concentración de CO desde las 06:30 de la mañana hasta las 21:30 de la noche. En rojo los datos reales y en el mismo color pero con la línea punteada se representan los datos tomados por el UAV.

mayor densidad de tráfico que presenta la autovía.

Por ello se puede establecer la conclusión clara sobre la concentración de CO en el tramo estudiado de la autovía A-3 respecto del tramo de la Av. de los Naranjos, y esta es que la concentración de CO es mayor en la autovía ya que

en parte el número de coches con motorización gasolina circulando es mayor y también lo es la concentración de estos.

Mapa de concentración de CO

En el siguiente apartado se procede a presentar el mapa de concentración de CO mediante la figura 22 expresada en PPM donde el eje vertical se define como la hora del día, desde las 06:30 hasta las 21:30 horas, y donde el eje horizontal representa la longitud de la vía, en este caso de 8000 [m], cuya discretización se ha realizado en tramos de 250 [m] para calcular la concentración. El mapa representa para cada hora del día y para cada tramo de 250 [m] la concentración de CO.

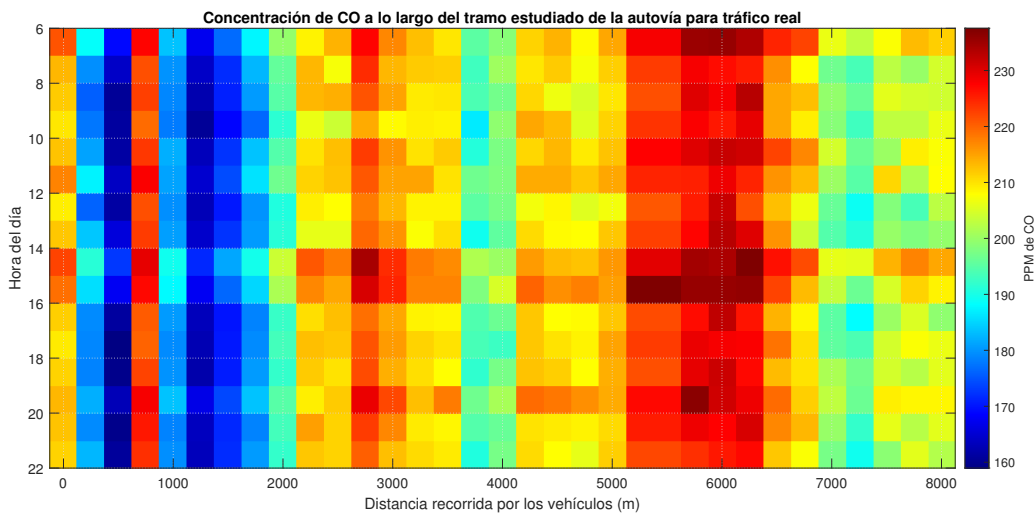


Figura 30: Mapa de concentración de CO en partes por millón (PPM) en el tramo estudiado de la autovía A-3 en función de la longitud de la vía.

En la figura 30 se observa como la concentración de CO varía ligeramente, desde las 200 PPM de CO hasta las 235 PPM de CO aproximadamente, a excepción de los primeros 1000 [m] donde se observan unos valores de PPM que oscilan de un extremo de la escala a otro. Ello se puede deber a que en la ejecución de la simulación en SUMO se produce una concentración alta de coches en la zona del punto kilométrico 340 (se establece como kilómetro 0 en este mapa), cerca del paso a nivel donde confluyen diversas carreteras.

Dicha concentración se ve disipada a medida que avanza el tráfico.

Por tanto, la zona que resulta válida es la correspondiente desde los 1000 [m] hasta los 8000 [m], donde la concentración promedio de CO es de 202.45 PPM.

Si se compara este valor, que proviene de tratar los datos de tráfico real, con los datos que provienen del UAV, cuyo valor promedio de CO es de 204.30 PPM, es directo que la diferencia es muy pequeña en este caso, y se pueden tomar los datos del UAV como reales.

4.3. Análisis de los errores de los datos tomados por el UAV

En la siguiente subsección se va a proceder a presentar los errores que se han cometido en la estimación del consumo de combustible, emisión de CO_2 , emisión de NOx y emisión de CO, así como las respectivas concentraciones de estos dos últimos contaminantes.

Para conocer el error que se ha cometido al asumir los datos del UAV como reales, se ha procedido a extraer la diferencia a cada hora del día, de hora en hora, desde las 06:30 hasta las 21:30, entre las curvas que se han representado en las figuras anteriores correspondientes a los datos tomados por las cámaras de tráfico cada hora (reales) y los datos tomados por el UAV cada cinco horas. Una vez extraído dicho error a cada hora del día, se ha realizado un promedio de estos, resultando en único valor.

Primeramente se ha calculado el error relativo en su forma con valor no absoluto, representado por la ecuación 14, donde se ha escogido como ejemplo la variable gasto másico de combustible.

$$Error_{\text{relativo valor no abs.}} = \frac{\dot{m}_{real} - \dot{m}_{dron}}{\dot{m}_{real}} \cdot 100 [\%] \quad (14)$$

A la vista de la ecuación 14, y haciendo un promedio de estos errores, se tiene que el promedio de ellos en la mayoría de los casos es cercano a cero, ya que algunos son negativos y otros positivos, debido a la fluctuación de las curvas

a lo largo del día. Por ello se ha optado por representarlos mediante otra ecuación, que es la fórmula del error relativo en su forma con valor absoluto, de manera que no se cancelen los diferentes términos. Así, los errores que se representarán a continuación se calculan mediante la ecuación 15

$$Error_{\text{relativo valor abs.}} = \left| \frac{\dot{m}_{\text{real}} - \dot{m}_{\text{dron}}}{\dot{m}_{\text{real}}} \right| \cdot 100 [\%] \quad (15)$$

Así, seguidamente se presenta la figura 31 donde se puede observar el histograma que representa los errores relativos de las variables estudiadas.

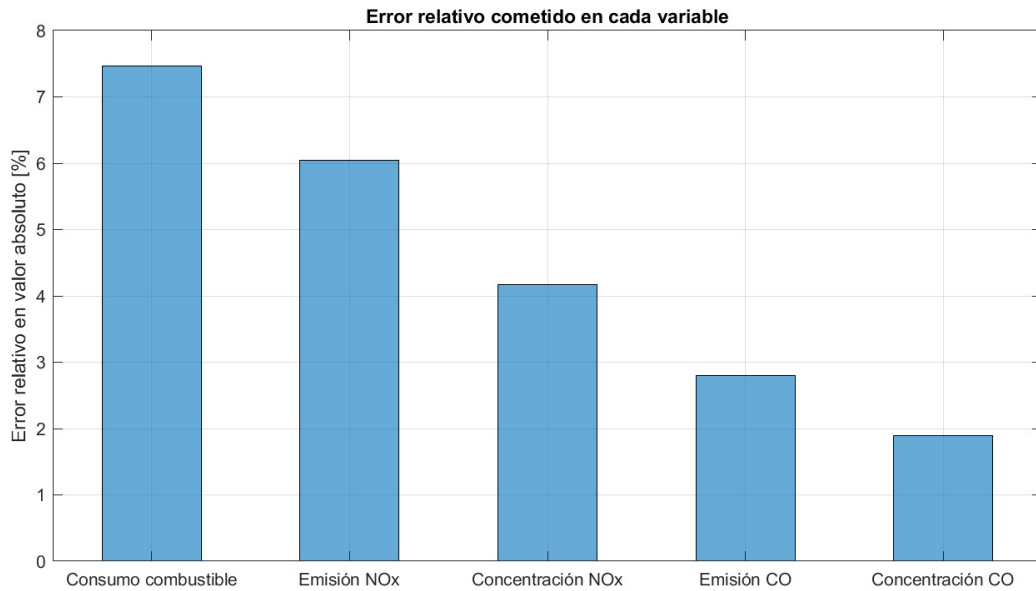


Figura 31: Histograma del error relativo en valor absoluto del consumo de combustible, emisión de NOx, emisión de CO y sus respectivas concentraciones.

En primer lugar se observa la barra de error correspondiente al consumo de combustible donde el error que se comete en el promedio de las horas examinadas es bastante alto, de un 7.5% y siendo así no se pueden tomar los datos del UAV como reales si se desea obtener unos valores de consumo fiables. De igual manera pasa con la emisión de CO_2 , que como es directamente proporcional al consumo de combustible, el error que se comete es el mismo.

En segundo lugar, respecto a la barra de error que presenta la emisión de NO_x se tiene que es bastante alto, de un 6 % y no se puede considerar que los datos del UAV resulten fiables para evaluar la emisión de NO_x.

En tercer lugar, el error que presenta la concentración de NO_x es ya más bajo, de poco más de un 4 %, superando el umbral del 5 %. Ello indica que en el cálculo de la concentración de NO_x no hay tanta diferencia si se escogen los datos provenientes de las cámaras de tráfico o los datos provenientes del UAV. Como es el cálculo de concentración de NO_x uno de los objetivos de este estudio, a pesar de que la emisión de NO_x otorga unos errores más grandes, se considera por tanto que los datos provenientes del UAV se pueden tomar como los reales cuando el período de muestreo del UAV es de cinco horas y el período de muestreo de las cámaras de tráfico es de una hora.

En cuarto lugar, el error que se comete en la emisión de CO no es muy alto (se puede asumir un error del 5 %) si se comparan con los respectivos de la emisión de NO_x o el consumo de combustible. Por tanto, respecto a la emisión de CO se puede considerar que los datos del UAV resultan fiables para evaluar dicha variable.

En último lugar, el error que se comete en la concentración de CO es bastante bajo, menos de un 2 %. Ello indica que en el cálculo de la concentración de CO no hay tanta diferencia si se escogen los datos provenientes de las cámaras de tráfico o los datos provenientes del UAV. Como es el cálculo de concentración de CO uno de los objetivos de este estudio se considera por tanto que los datos provenientes del UAV se pueden tomar como los reales cuando el período de muestreo del UAV es de cinco horas y el de las cámaras de tráfico de una hora.

4.4. Conclusiones y estudios futuros

En la siguiente subsección se van a exponer las principales conclusiones a las que se ha llegado en este estudio, así como las posibles vías de desarrollo de futuros estudios.

En primer lugar, se ha determinado que los modelos presentados en la sección 2 son coherentes y las magnitudes del consumo de combustible y emisión

de contaminantes que presentan son adecuadas para validar los modelos vehiculares

En segundo lugar, a partir del análisis realizado en la subsección 4.1, donde se ha analizado los consumos y emisiones relativos a la Av. de los Naranjos de los modelos vehiculares se puede determinar que siguen la tendencia de los datos de la estación de la Universitat Politècnica. Por otra parte, estos modelos se han ajustado a los valores de contaminantes reales, es decir, los valores de la estación de la Universitat Politècnica mediante una constante y los resultados son congruentes.

Cabría continuar este estudio con el fin de ajustar estos modelos de manera que se tengan en cuenta otras variables. Este futuro estudio tendría que tener en cuenta variables como el viento, el aire circundante, la concentración de vehículos... Con ello se podrían obtener unos modelos que representen la concentración de especies contaminantes de una manera más fiel a la realidad.

En tercer lugar, se ha determinado que, los resultados que nos puede ofrecer el UAV en cuanto consumos y emisiones de especies contaminantes se pueden asumir como reales cuando el período de muestreo de las cámaras de tráfico de la DGT es de una hora y el período de muestreo del UAV es de cinco horas (asumiendo los datos extraídos de las cámaras de tráfico de la DGT como reales), pues los errores que se cometen al tomar los datos del UAV como reales en el caso de las concentraciones de monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno son pequeños.

Además, es de destacar, que derivado de este estudio correspondiente a la autovía, y del anterior correspondiente a la avenida, se ha llegado a la conclusión de que la concentración de las especies contaminantes como el CO y el NOx, es mayor en la autovía, concretamente un 54 % y un 69 % mayor respectivamente.

Más allá de esto, cabría realizar estudios adicionales cuando el período de muestreo de las cámaras de la DGT más pequeño, aproximándose más a la realidad; con el fin de ver si los errores que se cometen al asumir los datos del UAV son o no despreciables.

En cuarto lugar, este estudio realizado en la autovía A-3 podría servir como modelo para la toma de datos mediante drones en las ciudades, con los problemas en cuanto a normativa que ello conlleva; pues al fin y al cabo las ciudades están habitadas por un gran número de personas y la buena salud de ellas será un objetivo a alcanzar en los años y décadas venideras.

Parte II

Pliego de condiciones

1. Introducción

A continuación, se procede a detallar todas las condiciones necesarias que se han dado para llevar a cabo este trabajo. Se describirán primero las condiciones de tipo físico involucradas, que se nombrán como Condiciones generales seguidas de las condiciones de tipo técnico empleadas.

2. Condiciones generales

A la vista del trabajo realizado, la mayor parte de este, por no decir toda, se ha realizado sentado en un ordenador visualizando una pantalla. Esto lleva a que el trabajador pueda experimentar síntomas de cansancio ocular, cansancio físico, dolores de cabeza... Se trata por tanto de riesgos que afectan a la salud física y mental del trabajador.

Así, la seguridad y salud en este trabajo se pueden alcanzar siguiendo la normativa establecida mediante el Real Decreto 488/1997 del 14 de Abril [10] que establece las disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas al trabajo con equipos de que incluyen pantallas de visualización.

Este Real Decreto alude a la La Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, determina el cuerpo básico de garantías y responsabilidades preciso para establecer un adecuado nivel de protección de la salud de los trabajadores frente a los riesgos derivados de las condiciones de trabajo, en el marco de una política coherente, coordinada y eficaz.

A continuación, se cita dicha ley.

Real Decreto 488/1997 de 14 de abril, BOE nº 97 de 23 de abril de 1997 [10]

Artículo 1. Objeto

El presente Real Decreto establece las disposiciones mínimas de seguridad y de salud para la utilización por los trabajadores de equipos que incluyan pantallas de visualización.

Las disposiciones de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, se aplicarán plenamente al conjunto del ámbito contemplado en el apartado anterior.

Quedan excluidos del ámbito de aplicación de este Real Decreto:

- Los puestos de conducción de vehículos o máquinas.
- Los sistemas informáticos embarcados en un medio de transporte.
- Los sistemas informáticos destinados prioritariamente a ser utilizados por el público.
- Los sistemas llamados portátiles, siempre y cuando no se utilicen de modo continuado en un puesto de trabajo.
- Las calculadoras, cajas registradoras y todos aquellos equipos que tengan un pequeño dispositivo de visualización de datos o medidas necesario para la utilización directa de dichos equipos.
- Las máquinas de escribir de diseño clásico, conocidas como máquinas de ventanilla.

Artículo 2. Definiciones

A efectos de este Real Decreto se entenderá por:

- Pantalla de visualización: una pantalla alfanumérica o gráfica, independientemente del método de representación visual utilizado.
- Puesto de trabajo: el constituido por un equipo con pantalla de visualización provisto, en su caso, de un teclado o dispositivo de adquisición de datos, de un programa para la interconexión persona/máquina, de accesorios ofimáticos y de un asiento y mesa o superficie de trabajo, así como el entorno laboral inmediato.
- Trabajador: cualquier trabajador que habitualmente y durante una parte relevante de su trabajo normal utilice un equipo con pantalla de visualización.

Artículo 3. Obligaciones generales del empresario.

- El empresario adoptará las medidas necesarias para que la utilización por los trabajadores de equipos con pantallas de visualización no suponga riesgos para su seguridad o salud o, si ello no fuera posible, para que tales riesgos se reduzcan al mínimo. En cualquier caso, los puestos de trabajo a que se refiere el presente Real Decreto deberán cumplir las disposiciones mínimas establecidas en el anexo del mismo.
- A efectos de lo dispuesto en el primer párrafo del apartado anterior, el empresario deberá evaluar los riesgos para la seguridad y salud de los trabajadores, teniendo en cuenta en particular los posibles riesgos para la vista y los problemas físicos y de carga mental, así como el posible efecto añadido o combinado de los mismos. La evaluación se realizará tomando en consideración las características propias del puesto de trabajo y las exigencias de la tarea y entre éstas, especialmente, las siguientes:
 1. El tiempo promedio de utilización diaria del equipo.
 2. El tiempo máximo de atención continua a la pantalla requerido por la tarea habitual.
 3. El grado de atención que exija dicha tarea.
- Si la evaluación pone de manifiesto que la utilización por los trabajadores de equipos con pantallas de visualización supone o puede suponer un riesgo para su seguridad o salud, el empresario adoptará las medidas técnicas u organizativas necesarias para eliminar o reducir el riesgo al mínimo posible. En particular, deberá reducir la duración máxima del trabajo continuado en pantalla, organizando la actividad diaria de forma que esta tarea se alterne con otras o estableciendo las pausas necesarias cuando la alternancia de tareas no sea posible o no baste para disminuir el riesgo suficientemente.
- En los convenios colectivos podrá acordarse la periodicidad, duración y condiciones de organización de los cambios de actividad y pausas a que se refiere el apartado anterior.

Artículo 4. Vigilancia de la salud.

- El empresario garantizará el derecho de los trabajadores a una vigilancia adecuada de su salud, teniendo en cuenta en particular los riesgos para la vista y los problemas físicos y de carga mental, el posible efecto añadido o combinado de los mismos, y la eventual patología acompañante. Tal vigilancia será realizada por personal sanitario competente y según determinen las autoridades sanitarias en las pautas y protocolos que se elaboren, de conformidad con lo dispuesto en el apartado 3 del artículo 37 del Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los servicios de prevención. Dicha vigilancia deberá ofrecerse a los trabajadores en las siguientes ocasiones:
 1. Antes de comenzar a trabajar con una pantalla de visualización.
 2. Posteriormente, con una periodicidad ajustada al nivel de riesgo a juicio del médico responsable.
 3. Cuando aparezcan trastornos que pudieran deberse a este tipo de trabajo.
- Cuando los resultados de la vigilancia de la salud a que se refiere el apartado 1 lo hiciese necesario, los trabajadores tendrán derecho a un reconocimiento oftalmológico.
- El empresario proporcionará gratuitamente a los trabajadores dispositivos correctores especiales para la protección de la vista adecuados al trabajo con el equipo de que se trate, si los resultados de la vigilancia de la salud a que se refieren los apartados anteriores demuestran su necesidad y no pueden utilizarse dispositivos correctores normales.

Artículo 5. Obligaciones en materia de información y formación.

- De conformidad con los artículos 18 y 19 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, el empresario deberá garantizar que los trabajadores y los representantes de los trabajadores reciban una formación e información adecuadas sobre los riesgos derivados de la utilización de los equipos que incluyan pantallas de visualización, así como sobre las me-

didias de prevención y protección que hayan de adoptarse en aplicación del presente Real Decreto.

- El empresario deberá informar a los trabajadores sobre todos los aspectos relacionados con la seguridad y la salud en su puesto de trabajo y sobre las medidas llevadas a cabo de conformidad con lo dispuesto en los artículos 3 y 4 de este Real Decreto.
- El empresario deberá garantizar que cada trabajador reciba una formación adecuada sobre las modalidades de uso de los equipos con pantallas de visualización, antes de comenzar este tipo de trabajo y cada vez que la organización del puesto de trabajo se modifique de manera apreciable.

Artículo 6. Consulta y participación de los trabajadores.

La consulta y participación de los trabajadores o sus representantes sobre las cuestiones a que se refiere este Real Decreto se realizarán de conformidad con lo dispuesto en el apartado 2 del artículo 18 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales.

Disposición transitoria única. Plazo de adaptación de los equipos que incluyan pantallas de visualización.

Los equipos que incluyan pantallas de visualización puestos a disposición de los trabajadores en la empresa o centro de trabajo con anterioridad a la fecha de entrada en vigor del presente Real Decreto deberán ajustarse a los requisitos establecidos en el anexo en un plazo de doce meses desde la citada entrada en vigor.

Disposición final primera. Elaboración de la Guía Técnica para la evaluación y prevención de riesgos.

El Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, de acuerdo con lo dispuesto en el apartado 3 del artículo 5 del Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención,

elaborará y mantendrá actualizada una Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la utilización de equipos que incluyan pantallas de visualización.

Disposición final segunda. Habilitación normativa.

Se autoriza al Ministro de Trabajo y Asuntos Sociales para dictar, previo informe de la Comisión Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo, las disposiciones necesarias en desarrollo de este Real Decreto y, específicamente, para proceder a la modificación del anexo del mismo para aquellas adaptaciones de carácter estrictamente técnico en función del progreso técnico, de la evolución de las normativas o especificaciones internacionales o de los conocimientos en el área de los equipos que incluyan pantallas de visualización.

Dado en Madrid a 14 de abril de 1997. El Ministro de Trabajo y Asuntos Sociales, JAVIER ARENAS BOCANEGRA.

ANEXO. Disposiciones mínimas

Observación preliminar: las obligaciones que se establecen en el presente anexo se aplicarán para alcanzar los objetivos del presente Real Decreto en la medida en que, por una parte, los elementos considerados existan en el puesto de trabajo y, por otra, las exigencias o características intrínsecas de la tarea no se opongan a ello. En la aplicación de lo dispuesto en el presente anexo se tendrán en cuenta, en su caso, los métodos o criterios a que se refiere el apartado 3 del artículo 5 del Real Decreto de los Servicios de Prevención.

Equipo

- Observación general. La utilización en sí misma del equipo no debe ser una fuente de riesgo para los trabajadores.
- Pantalla. Los caracteres de la pantalla deberán estar bien definidos y configurados de forma clara, y tener una dimensión suficiente, disponiendo de un espacio adecuado entre los caracteres y los renglones. La imagen de la pantalla deberá ser estable, sin fenómenos de destellos, centelleos u otras formas de inestabilidad. El usuario de terminales con

pantalla deberá poder ajustar fácilmente la luminosidad y el contraste entre los caracteres y el fondo de la pantalla, y adaptarlos fácilmente a las condiciones del entorno. La pantalla deberá ser orientable e inclinable a voluntad, con facilidad para adaptarse a las necesidades del usuario. Podrá utilizarse un pedestal independiente o una mesa regulable para la pantalla. La pantalla no deberá tener reflejos ni reverberaciones que puedan molestar al usuario.

- Teclado. El teclado deberá ser inclinable e independiente de la pantalla para permitir que el trabajador adopte una postura cómoda que no provoque cansancio en los brazos o las manos. Tendrá que haber espacio suficiente delante del teclado para que el usuario pueda apoyar los brazos y las manos. La superficie del teclado deberá ser mate para evitar los reflejos. La disposición del teclado y las características de las teclas deberán tender a facilitar su utilización. Los símbolos de las teclas deberán resaltar suficientemente y ser legibles desde la posición normal de trabajo.
- Mesa o superficie de trabajo. La mesa o superficie de trabajo deberán ser poco reflectantes, tener dimensiones suficientes y permitir una colocación flexible de la pantalla, del teclado, de los documentos y del material accesorio. El soporte de los documentos deberá ser estable y regulable y estará colocado de tal modo que se reduzcan al mínimo los movimientos incómodos de la cabeza y los ojos. El espacio deberá ser suficiente para permitir a los trabajadores una posición cómoda.
- Asiento de trabajo. El asiento de trabajo deberá ser estable, proporcionando al usuario libertad de movimiento y procurándole una postura confortable. La altura del mismo deberá ser regulable. El respaldo deberá ser reclinable y su altura ajustable. Se pondrá un reposapiés a disposición de quienes lo deseen.

Entorno

- Espacio. El puesto de trabajo deberá tener una dimensión suficiente y estar acondicionado de tal manera que haya espacio suficiente para

permitir los cambios de postura y movimientos de trabajo.

- Iluminación. La iluminación general y la iluminación especial (lámparas de trabajo), cuando sea necesaria, deberán garantizar unos niveles adecuados de iluminación y unas relaciones adecuadas de luminancias entre la pantalla y su entorno, habida cuenta del carácter del trabajo, de las necesidades visuales del usuario y del tipo de pantalla utilizado. El acondicionamiento del lugar de trabajo y del puesto de trabajo, así como la situación y las características técnicas de las fuentes de luz artificial, deberán coordinarse de tal manera que se eviten los deslumbramientos y los reflejos molestos en la pantalla u otras partes del equipo.
- Reflejos y deslumbramientos. Los puestos de trabajo deberán instalarse de tal forma que las fuentes de luz, tales como ventanas y otras aberturas, los tabiques transparentes o translúcidos y los equipos o tabiques de color claro no provoquen deslumbramiento directo ni produzcan reflejos molestos en la pantalla. Las ventanas deberán ir equipadas con un dispositivo de cobertura adecuado y regulable para atenuar la luz del día que ilumine el puesto de trabajo.
- Ruido. El ruido producido por los equipos instalados en el puesto de trabajo deberá tenerse en cuenta al diseñar el mismo, en especial para que no se perturbe la atención ni la palabra.
- Calor. Los equipos instalados en el puesto de trabajo no deberán producir un calor adicional que pueda ocasionar molestias a los trabajadores.
- Emisiones. Toda radiación, excepción hecha de la parte visible del espectro electromagnético, deberá reducirse a niveles insignificantes desde el punto de vista de la protección de la seguridad y de la salud de los trabajadores.
- Humedad. Deberá crearse y mantenerse una humedad aceptable.

Interconexión ordenador/persona

Para la elaboración, la elección, la compra y la modificación de programas, así

como para la definición de las tareas que requieran pantallas de visualización, el empresario tendrá en cuenta los siguientes factores:

- El programa habrá de estar adaptado a la tarea que deba realizarse.
- El programa habrá de ser fácil de utilizar y deberá, en su caso, poder adaptarse al nivel de conocimientos y de experiencia del usuario; no deberá utilizarse ningún dispositivo cuantitativo o cualitativo de control sin que los trabajadores hayan sido informados y previa consulta con sus representantes.
- Los sistemas deberán proporcionar a los trabajadores indicaciones sobre su desarrollo.
- Los sistemas deberán mostrar la información en un formato y a un ritmo adaptados a los operadores.
- Los principios de ergonomía deberán aplicarse en particular al tratamiento de la información por parte de la persona.

2.1. Condiciones técnicas

Para llevar a cabo este proyecto, tal y como se ha dicho anteriormente, se ha necesitado únicamente un puesto de trabajo en el que poder trabajar con el ordenador sentado. Relacionado con este puesto de trabajo se incluyen los conocimientos técnicos para saber manejar los distintos programas de software involucrados con la extracción de datos del trabajo en sí, así como los distintos programas involucrados en la redacción de este documento. Además, no menos importante, se ha precisado del tiempo de un persona cualificada para la supervisión de este proyecto, el tutor.

En los siguientes apartados se explica brevemente todo el material usado.

2.1.1. Especificaciones del software y hardware

Software

En cuanto al software se ha hecho uso de diversos programas informáticos que se pueden clasificar en las siguientes categorías:

Simulaciones de tráfico:

- SUMO 1.18 y sus aplicaciones
- Python 3.11
- Microsoft Edge

Procesado de los datos:

- Matlab R2023a

Redacción del documento:

- LATEX TeXworks 0.6.8
- MikTeX 23.4

Comunicación online:

- Microsoft Teams

Hardware

Con el fin de llevar a cabo este proyecto se ha hecho uso de un ordenador portátil, un monitor externo y los diversos programas informáticos ya enumerados. Dicho ordenador portátil ha sido un Asus UX431F, y dicho monitor ha sido un Lenovo L29w-30.

2.1.2. Conocimientos necesarios

Para llevar a cabo este proyecto se han de obtener unos conocimientos necesarios para saber usar las herramientas informáticas, especialmente SUMO, Matlab y LATEX TeXworks.

En cuanto al programa SUMO cabe señalar varios aspectos.

Su instalación no es fácil teniendo en cuenta que el trabajador no es alguien relacionado con el ámbito de la informática. Requiere leer bien los manuales que te presta el propio programa SUMO para obtener una instalación exitosa, sobretodo para su posterior vinculación con Matlab.

Aparte de la instalación, todo el procedimiento de configurar una simulación y lanzarla requiere de cierta destreza y búsqueda de información, en forma de tutoriales o manuales para poder configurar todos los parámetros necesarios e involucrados.

En cuanto al programa Matlab, la dificultad es creciente según las funciones que se deseen usar y la complejidad de las operaciones que se deseen realizar.

Por último el entorno de trabajo que proporciona LATEX es muy cómodo, una vez se han aprendido ciertos comandos y se dispone de una plantilla previamente configurada para crear la estructura del documento.

2.1.3. Supervisión del proyecto

No menos importante es este cargo, el cual tiene la función de coordinar y dirigir el proyecto. Desde la comunicación con varios compañeros que están realizando el Trabajo de Fin de Máster para obtener ciertos datos necesarios para este trabajo hasta la supervisión del proyecto entero para que tenga una estructura coherente y un objetivo marcado. El tutor, y por tanto su tiempo, es una figura muy importante en un trabajo de este tipo.

Parte III

Presupuesto

1. Introducción

En la siguiente parte se procede a introducir todos los costes relacionados con este estudio, o trabajo, desde las herramientas físicas o digitales usadas hasta las horas de trabajo invertidas en dicho estudio.

2. Costes

En cada uno de estos costes se calculará el precio por hora que cuesta dicha herramienta o producto.

Primeramente, se calcula el precio las horas invertidas en este trabajo, que se trata de una cifra que será común a todas estas herramientas y productos.

El tiempo invertido se calcula sabiendo que se ha trabajado 5 horas diarias de media durante los 7 días de la semana y durante 3 meses aproximadamente, pues este trabajo comprende desde principios de junio hasta principios de septiembre. Esto resulta en el siguiente número de horas expresado mediante la ecuación 16.

$$\text{Horas invertidas} = 5 \frac{h}{\text{día}} \cdot 90 \text{ días} = \frac{450 [h]}{3 [\text{meses}]} = 1800 \left[\frac{h}{\text{año}} \right] \quad (16)$$

Este cálculo se ha realizado asumiendo que los meses tienen 30 días. Se ha realizado la equivalencia de horas respecto al período de un año para los posteriores cálculos.

El precio por hora, o tasa horaria, se puede definir a partir de la ecuación 17.

$$Tasa_{horaria} = \frac{\text{Amortización}}{\text{Horas invertidas}} \left[\frac{\text{€}}{h} \right] \quad (17)$$

Donde la amortización supone la depreciación de una herramienta o producto (activo) y se mide en base a su valor residual. Se puede expresar en función del valor de adquisición, del valor residual y del período de amortización mediante la ecuación 18.

$$\text{Amortización} = \frac{V_{\text{adquisición}} - V_{\text{residual}}}{T_{\text{amortización}}} \left[\frac{\text{€}}{\text{año}} \right] \quad (18)$$

En las siguientes subsecciones se detallan los costes de los diferentes productos.

2.1. Coste del Software

A continuación se detallan los costes de los diferentes programas de software.

- **Matlab R2023a**

El precio de una licencia 'Academic', que está orientada a la realización de trabajos y estudios de grado y de máster en el entorno de la investigación universitaria es de 262 $\left[\frac{\text{€}}{\text{año}}\right]$ [11].

Haciendo uso de la ecuación 17 el valor de la tasa horaria será:

$$Tasa_{horaria} = \frac{V_{adquisición}}{\text{Horas invertidas}} = \frac{262}{1800} = 0.15 \left[\frac{\text{€}}{h}\right]$$

- **Microsoft Teams**

La aplicación Microsoft Teams se halla englobada dentro del paquete Microsoft Office. El precio de la licencia para Microsoft 365 Personal, es de 69 $\left[\frac{\text{€}}{\text{año}}\right]$ [12].

Haciendo uso de la ecuación 17 el valor de la tasa horaria será:

$$Tasa_{horaria} = \frac{V_{adquisición}}{\text{Horas invertidas}} = \frac{69}{1800} = 0.038 \left[\frac{\text{€}}{h}\right]$$

- **Microsoft Edge**

Gratuito.

- **Python 3.11**

Gratuito.

- **SUMO 1.18**

Gratuito.

- **LATEX TeXworks 0.6.8**

Gratuito.

- **MikTeX 23.4**

Gratuito.

2.2. Coste del Hardware

A continuación se detallan los costes del ordenador portátil y del monitor.

El ordenador se ha utilizado para lanzar las simulaciones con SUMO, realizar el procesado de los datos y redactar este documento. En cuanto a características técnicas relevantes destacan:

- Modelo: Asus UX431F
- Procesador: CPU Intel Core i7-8565U CPU a 1.80GHz con 8 procesadores lógicos y 4 núcleos.
- Memoria RAM: 8.0 GB

El coste de su compra es de 599 € [13], el valor residual del mismo es de aproximadamente el 20 % y tiene un período de amortización de 5 años.

El valor de la amortización según la ecuación 18 será el siguiente:

$$\text{Amortización} = \frac{V_{\text{adquisición}} - V_{\text{residual}}}{T_{\text{amortización}}} = \frac{599 - 119.8}{5} = 95.84 \left[\frac{\text{€}}{\text{año}} \right]$$

El valor de la tasa horaria según la ecuación 17 será entonces:

$$Tasa_{\text{horaria}} = \frac{\text{Amortización}}{\text{Horas invertidas}} = \frac{95.84}{1800} = 0.053 \left[\frac{\text{€}}{h} \right]$$

Respecto al monitor, se tiene que su precio es de 280 € [14], el valor residual del mismo es de aproximadamente el 20 % y el período de amortización es de 5 años.

El valor de la amortización según la ecuación 18 será el siguiente:

$$\text{Amortización} = \frac{V_{\text{adquisición}} - V_{\text{residual}}}{T_{\text{amortización}}} = \frac{280 - 56}{5} = 44.8 \left[\frac{\text{€}}{\text{año}} \right]$$

El valor de la tasa horaria según la ecuación 17 será entonces:

$$Tasa_{\text{horaria}} = \frac{\text{Amortización}}{\text{Horas invertidas}} = \frac{44.8}{1800} = 0.025 \left[\frac{\text{€}}{h} \right]$$

2.3. Coste de los trabajadores

A continuación se detallan los costes que supone el sueldo del trabajador que realiza el estudio/trabajo y del trabajador que supervisa dicho estudio (tutor).

Ingeniero técnico

Suponiendo que el estudio se lleva a cabo por un ingeniero recién graduado, es decir, un ingeniero técnico, el sueldo que cobra es de 32611 euros anuales (brutos) [15], que por el período trabajado en un año corresponden a 17.86 $\left[\frac{\text{€}}{h}\right]$. Las horas trabajadas serán 450.

Ingeniero superior

Suponiendo que el estudio lo supervisa un ingeniero superior, cuyo sueldo es de 41736 euros anuales (brutos) [15], que por el período trabajado en un año corresponden a 22.86 $\left[\frac{\text{€}}{h}\right]$. Las horas trabajadas serán 20.

2.4. Coste del lugar de trabajo

En esta subsección se detallan los costes relacionados con el lugar de trabajo, como es el pago del alquiler y el pago de la luz, y climatización.

El coste del alquiler de un local de oficinas varía dependiendo del lugar donde se encuentre. Un local de 80 $[m^2]$ en el edificio del CMT, en la UPV, puede rondar los 600 euros mensuales. El coste anual sería de 7200 [€], y suponiendo que la oficina se comparte con 8 personas, el coste anual por usuario sería de 900 [€].

A dicho coste hay que añadirle la luz y climatización, que juntos pueden sumar 150 euros mensuales. El coste total por año es entonces de 1800 [€], y suponiendo que la oficina se comparte con 8 personas, el coste anual por usuario sería de 225 [€].

Suponiendo que dicho coste se divide entre las horas de trabajo de un año (jornada laboral entera), la tasa horaria del alquiler es de 0.49 $\left[\frac{\text{€}}{h}\right]$ y la tasa

horaria de la luz y climatización es de $0.12 \left[\frac{\text{€}}{h} \right]$.

2.5. Coste del desplazamiento

El coste de desplazamiento resulta en este estudio ser aproximadamente nulo, pues se ha realizado el desplazamiento en bicicleta.

2.6. Coste total del estudio

En resumen, si se agrupan todos los costes mencionados y se presentan en una tabla el resultado es el que se muestra en la tabla 6.

Concepto	Tasa horaria $[\frac{€}{h}]$	Tiempo uso $[h]$	Importe $[€]$
Software			
Matlab R2023a	0.15	450	67.5
Microsoft Teams	0.038	450	17.1
Subtotal	-	-	84.6
Hardware			
Ordenador portátil	0.053	450	31.75
Monitor	0.025	450	11.25
Subtotal	-	-	43
Personal			
Ingeniero técnico	17.86	450	8037
Ingeniero superior	22.86	20	457.2
Subtotal	-	-	8494.2
Lugar de trabajo			
Alquiler	0.49	450	220.5
Luz y climatización	0.12	450	54
Subtotal	-	-	274.5
Total	-	-	8896.3

Tabla 6: Desglose del coste total del trabajo.

Parte IV

Objetivos de Desarrollo Sostenible

1. Introducción

En la siguiente parte se va a desarrollar los objetivos de desarrollo sostenible que están relacionados con este estudio.

2. Relación de los ODS con el estudio

A continuación se presenta la tabla 7 donde se detalla el grado de relación de cada Objetivo de Desarrollo Sostenible con el estudio realizado. Después de la tabla, se explica el grado de relación de los objetivos que guardan cierta relación con el estudio.

En cuanto al **ODS 3. Salud y Bienestar**, el grado de relación que presenta con este proyecto es alto, pues las emisiones contaminantes que se han tratado anteriormente suponen un serio riesgo para la salud de la población. Una elevada concentración de sustancias contaminantes como las estudiadas en este proyecto (CO, NOx) puede llevar al desarrollo de patologías que provoquen muertes prematuras, tal y como afirma la Organización Mundial de la Salud (OMS) [16].

En segundo lugar, otros objetivos que guardan cierta relación son los **ODS 6. Agua Limpia y Saneamiento**, **ODS 14. Vida submarina** y **ODS 15. Vida de ecosistemas terrestres**, donde las emisiones contaminantes pueden provocar que espacios naturales como lagos, ríos... se vean afectados por la disolución de estas especies químicas contaminantes en el agua al precipitarse en forma de lluvia. Por ejemplo, los óxidos de nitrógeno pueden provocar la acidificación y eutrofización de ecosistemas naturales, así como aumentar los niveles de acidez del agua [17].

En tercer lugar, el **ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras**, guarda cierta relación con el trabajo, pues el hecho de que como hemos visto las emisiones contaminantes existen y pueden llegar a estar en concentraciones peligrosas, es una motivación para crear nuevas tecnologías, ya sea en los existentes motores de combustión interna para reducir estas emisiones (EGR, SCR, Catalizador de 3 vías...); o para la creación de nuevos motores de otra

Objetivos de Desarrollo Sostenible	Grado relación
ODS 1. Fin de la pobreza	No procede
ODS 2. Hambre cero	No procede
ODS 3. Salud y bienestar	Alto
ODS 4. Educación de calidad	No procede
ODS 5. Igualdad de género	No procede
ODS 6. Agua limpia y saneamiento	Medio
ODS 7. Energía asequible y no contaminante	No procede
ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico	No procede
ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras	Bajo
ODS 10. Reducción de las desigualdades	No procede
ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles	Alto
ODS 12. Producción y consumo responsables	Medio
ODS 13. Acción por el clima	Alto
ODS 14. Vida submarina	Alto
ODS 15. Vida de ecosistemas terrestres	Medio
ODS 16. Paz, justicia e instituciones sólidas	No procede
ODS 17. Alianzas para lograr objetivos	No procede

Tabla 7: Grado de relación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible con el estudio.

naturaleza que no presenten emisiones contaminantes tan altas.

En cuarto lugar se encuentra que el **ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles**, guarda un grado de relación alto, pues como se ha visto en la sección 5, las concentraciones que se pueden alcanzar en una avenida como es la Av. de los Naranjos, en València, pueden llegar a ser medianamente altas, suponiendo cierto riesgo para el desarrollo de patologías como las citadas por

la OMS [16]. Más pronunciado es en calles con una alta densidad de tráfico y donde la masa de aire no es tan grande y la acción del viento no es tan alta (concentración mayor), como en los centros de las ciudades.

Si se tiene en cuenta el **ODS 12. Producción y consumo responsables**, se ve que guarda relación con este estudio, pues al fin y al cabo somos las personas que componen la comunidad las que en último término estamos generando estas emisiones contaminantes. La apuesta por el transporte público (autobús, metro, tranvía) o por alternativas más sostenibles aún como la bicicleta, suponen la reducción drástica de las emisiones contaminantes expresadas en $[\frac{g}{100km}]$.

Por último, el **ODS 13. Acción por el clima**, es uno de los que presentan un grado de relación más alto con el estudio, pues de las emisiones de los vehículos analizados, el CO_2 , supone un riesgo alto para el mantenimiento de los habitats naturales tal y como se conocen, pues en grandes cantidades ayuda a aumentar la temperatura global del planeta. Además, el consumo de combustible, ya sea gasolina o gasóil, implica la extracción del petróleo y la destilación de este, con todos los procesos contaminantes que tienen lugar por el camino.

Agradecimientos

Agradecer en primer lugar la oportunidad que he tenido durante estos cuatro años de formarme en una universidad. Sin la existencia de un Estado, esto no hubiera sido posible. Estaré eternamente agradecido con España por los conocimientos que he podido obtener en una universidad pública y estaré en deuda con España por la subvención de estos.

Quizás el resultado más valioso de toda educación es la capacidad para obligarse a uno mismo hacer lo que tiene que hacer y cuándo debe hacerse, le gusta o no. Esta es la primera lección a aprender.

Thomas Henry Huxley

En segundo lugar agradecer a todas las personas que me han ayudado y me han prestado su mano para la realización de este trabajo. Un gran abrazo para todos ellos.

Referencias

- [1] A. Reisinger Al Khourdajie R. van Diemen. *IPCC, 2022: Annex II: Definitions, Units and Conventions*. Fecha de acceso: 22 de noviembre de 2023. URL: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_Annex-II.pdf.
- [2] Mercedes-Benz. *Ficha técnica Citaro Hybrid Mercedes-Benz*. Fecha de acceso: 23 de julio de 2023. URL: https://www.mercedes-bus.com/es_ES/home.html.
- [3] Humberto José Manavella. *Catalizador de 3 Vías*. Fecha de acceso: 5 de agosto de 2023. URL: <https://studylib.es/doc/5164769/catalizador-de-3-v%C3%ADAs>.
- [4] Ayuntamiento de València. *Puntos medida tráfico espiras electromagnéticas*. Fecha de acceso: 19 de agosto de 2023. 2023. URL: <https://valencia.opendatasoft.com/explore/dataset/puntos-mesura-traffic-espires-electromagnetiques-puntos-medida-traffic-espires-ele/table/?flg=es-es>.
- [5] UAV Works. *VALAQ 120*. Fecha de acceso: 11 de noviembre de 2023. 2022. URL: https://www.uavworks.es/modelos_vtol_valaq/.
- [6] Movilidad y Agenda Urbana Subdirección General de Explotación. Dirección General de Carreteras. Ministerio de Transportes. *Distribución mensual velocidades en autopistas libres y autovías. Año 2021*. Fecha de acceso: 28 de agosto de 2023. 2021. URL: https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/comodin/recursos/velocidades_autopistas_y_autovias_2021.pdf.
- [7] OpenStreetMap Web Wizard for SUMO. *Licencia de base de datos abierta*. Fecha de acceso: 17 de julio de 2023. URL: <https://www.openstreetmap.org/#map=13/39.4871/-0.5919>.
- [8] Ayuntamiento de València. *Ayuntamiento de València*. Fecha de acceso: 24 de julio de 2023. URL: <https://www.valencia.es/cas/inicio>.
- [9] Dirección General de Tráfico. Ministerio del Interior. *Parque nacional de vehículos por comunidad autónoma, provincia, tipo de vehículo y tipo de carburante*. Fecha de acceso: 3 de agosto de 2023. 2022. URL: <https://apps.fomento.gob.es/bdotle/visorBDpop.aspx?i=396>.

- [10] Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. *Real Decreto 488/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas al trabajo con equipos que incluyen pantallas de visualización*. Fecha de acceso: 10 de agosto de 2023. 13/05/1997. URL: <https://www.boe.es/buscar/pdf/1997/BOE-A-1997-8671-consolidado.pdf>.
- [11] Inc. The MathWorks. *Pricing and Licensing*. Fecha de acceso: 13 de agosto de 2023. URL: <https://es.mathworks.com/pricing-licensing.html?prodcode=ML&intendeduse=edu>.
- [12] Microsoft. *Microsoft 365 para casa: Planes y precios*. Fecha de acceso: 13 de agosto de 2023. 2023. URL: <https://www.microsoft.com/es-es/microsoft-365/buy/compare-all-microsoft-365-products>.
- [13] Ecoportátil. *Asus ZenBook 14 UX431F 14i7 8565U, 8GB, SSD 256GB, NVIDIA GeForce MX250 2GB, Full HD, A*. Fecha de acceso: 13 de agosto de 2023. 2023. URL: <https://ecoportatil.es/producto/asus-zenbook-14-ux431f-14-i7-8565u-8gb-ssd-256gb-nvidia-geforce-mx250-2gb-full-hd-a>.
- [14] Lenovo. *Monitor 1080p ultraancho Lenovo L29w-30 de 29" (IPS, 90 Hz)*. Fecha de acceso: 13 de agosto de 2023. 2023. URL: <https://www.lenovo.com/es/es/p/accessories-and-software/monitors/home/66e5gac3eu?>
- [15] Instituto Nacional de Estadística. *Salario medio anual por grupos de ocupación y periodo*. Fecha de acceso: 14 de agosto de 2023. 2020. URL: <https://www.ine.es/jaxiT3/Datos.htm?t=10916#!tabs-tabla>.
- [16] Organización Mundial de la Salud (OMS). *Contaminación del aire ambiente (exterior)*. Fecha de acceso: 26 de agosto de 2023. 2022. URL: [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health).
- [17] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. *Óxidos de Nitrógeno*. Fecha de acceso: 27 de agosto de 2023. URL: <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/salud/oxidos-nitrogeno.html>.