

DETERMINACION EXPERIMENTAL DE CICLOS DE CONDUCCION DE VEHICULOS LIVIANOS PARA LA CIUDAD DE SANTIAGO

Mauricio Osses, Diego Rojas
Departamento de Ingeniería Mecánica
Universidad de Chile
Casilla 2777, Santiago, Chile
Fax : (56-2) 698 8453
e-mail: maosses@ing.uchile.cl

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo determinar experimentalmente ciclos de conducción dependientes de la velocidad media del recorrido, a través del método de seguimiento en ruta, para vehículos livianos de pasajeros.

Se aplicó una metodología que consta de tres etapas para la determinación de ciclos de conducción. La primera corresponde a la selección de arcos viales donde realizar las mediciones. Para ello, se establecieron criterios de selección, de forma de obtener conjuntos de arcos representativos de la totalidad de la red vial. El conjunto obtenido corresponde al 10% de los arcos viales de la región. La segunda etapa consiste en la medición experimental de trazas velocidad-tiempo en los arcos previamente seleccionados, con un vehículo equipado con un sistema de adquisición de datos. Se registraron 36037 segundos. Por último, se procesó la información recogida y se obtuvieron ciclos de conducción, construidos de forma que representen las mismas características de dinámica de conducción que la curva experimental que los generó, a través del análisis de campos de velocidades y aceleraciones.

Se obtuvieron diez ciclos de conducción para vehículos de pasajeros. Cada ciclo está asociado a un rango de velocidad media y tiene 240 segundos de duración. Los ciclos de conducción obtenidos coinciden, en su dinámica de conducción, con la curva experimental que los produce, lo cual es verificado al observarse coeficientes de correlación superiores a 99%.

De las mediciones experimentales, se obtuvo para automóviles valores promedio de velocidad y aceleración de 26.69 km/h y 1.00 m/s² respectivamente, permaneciendo el vehículo detenido el 22.14% del tiempo. En este trabajo se ha desarrollado y probado con éxito una metodología para la determinación de ciclos de conducción representativos en una cierta región, que incorpora el análisis de las aceleraciones del vehículo conjuntamente con el de las velocidades.

1. INTRODUCCION

Un ciclo de conducción se define como un conjunto de secuencias de tiempos y velocidades, que provienen de información estadísticamente representativa, de un área en estudio previamente determinada. Los ciclos de conducción se utilizan para llevar a cabo la estimación de emisiones de contaminantes atmosféricos, bajo procedimientos que involucran su programación en un sistema de medición de gases de escape con dinamómetro de chasis. Por esta razón, si se desea obtener una buena estimación de emisiones, es fundamental que los ciclos de conducción representen las condiciones de circulación reales de los vehículos.

Las características relacionadas a la forma como se conduce un vehículo quedan definidas por el concepto de “dinámica de conducción”. Este concepto incluye elementos como la cantidad y duración de las paradas que se efectúan, la velocidad y aceleración promedio del recorrido, la cantidad de tiempo en que el vehículo está detenido y en movimiento, y los distintos niveles de aceleración y velocidad que el conductor produce al conducir. De acuerdo a la revisión bibliográfica efectuada, los elementos anteriores tienen una elevada influencia en las emisiones y el consumo de combustible de un vehículo, independientemente de su nivel tecnológico y de mantención (Ericsson 1999, De Vlieger 1999, André 1995, André 1996a).

En general, las formas de conducir vehículos varían tremadamente, y dependen de un sinnúmero de factores. Los modos de conducción son un fenómeno complejo, influenciado entre otras variables por el tipo de calle, el tipo de conductor, y el horario del día. Existe evidencia de diferencias significativas en las emisiones asociadas a diferentes modos de conducción. Para vehículos de pasajeros, diferentes modos de conducción se asocian con diferentes niveles de intensidad de operación del vehículo, los cuales modifican las emisiones debido al cambio en los valores de aceleración instantánea que significan (Vojtisek-Lom 2002, Brundell-Freij 2001).

El proceso de construcción de un ciclo de conducción es complejo, debido a que deben efectuarse mediciones experimentales de trazas velocidad-tiempo, las cuales se procesan hasta obtener una curva de corta duración que representa la dinámica de conducción de la traza completa. Existen variados estudios que revisan los modos de obtener ciclos de conducción representativos de grupos de mediciones experimentales (Radian 1995, André 1996b, Dembski 2002). La metodología reportada en estos trabajos tiene una estructura basada en secuencias cinemáticas ordenadas por algoritmos de probabilidad, la cual ha sido refinada en el trabajo de Dembsky et al (Dembsky 2002), la cual es aplicada para las condiciones existentes en Europa y Ohio, Estados Unidos.

En este trabajo se desarrolla una metodología para obtener ciclos de conducción, orientada a obtener factores de emisión de contaminantes para vehículos livianos de pasajeros en la ciudad de Santiago (Rojas 2003). A diferencia de los métodos existentes en la literatura, la metodología propuesta considera específicamente las variables de aceleración instantánea para distintos niveles de velocidad, representativas de la dinámica real de los datos experimentales. Para ello se han recogido elementos metodológicos de los trabajos reportados por Radian (1995) y Dembski et al. Para garantizar la semejanza entre los ciclos generados y las trazas originales se presenta un algoritmo de optimización basado en comparación de matrices aceleración-velocidad.

Se utilizó información recolectada en Santiago el año 1997, en el contexto de un estudio de caracterización de flujos viales (CENMA 1997). Esta información dio origen a nueve ciclos de conducción denominados STD, los cuales se obtuvieron a partir de una metodología sin respaldo estadístico, y se utilizaron para obtener los factores de emisión vigentes actualmente para vehículos livianos de pasajeros en Santiago (Corvalán 2000). En el presente trabajo se han generado nuevos ciclos representativos para la ciudad de Santiago, mediante una metodología reproducible y basada en experiencias internacionales.

2. METODOLOGIA

El proceso de obtención de ciclos de conducción desarrollado en este trabajo tiene la estructura indicada en la figura 1. En primer lugar deben seleccionarse sectores de la red vial donde realizar mediciones experimentales, de manera que las trazas velocidad-tiempo obtenidas representen la circulación en la totalidad de la ciudad. A continuación se hace la campaña de medición, haciendo circular un vehículo instrumentado por los recorridos definidos, y finalmente la información recolectada es procesada para obtener el ciclo de conducción.



Figura 1: Metodología de Trabajo

2.1. Selección de Recorridos

En este trabajo se utilizaron los datos provenientes de mediciones correspondientes a un estudio anterior (CENMA 1997) para vehículos livianos. La selección de recorridos se efectuó a partir de una red vial para Santiago constituida por 7567 arcos, los cuales han sido divididos en 12 categorías por SECTRA.

Se seleccionaron los arcos más significativos a partir de la base de datos que conforma la red vial. Cabe destacar que esta base de datos es generada a partir de la simulación ESTRaus, por lo cual los datos generados no corresponden a mediciones reales. Sin embargo, considerando algún margen de error, es la mejor información disponible para realizar una selección de los arcos. Los criterios para efectuar esta simulación son: rangos de velocidades, flujo total, tipo de arco, distribución geográfica, vías prioritarias de transporte público, porcentaje de taxis, arcos saturados.

De acuerdo a estos criterios, se realizó la búsqueda para cada combinación en la base de datos de la red vial. Se encontraron 23 combinaciones con uno o más arcos de similares características. Se preseleccionaron para cada caso un máximo de 10 arcos, correspondientes a los de mayor flujo total. Si una combinación tiene menos de 10 arcos, se preseleccionan todos, llegando a un total de 186 arcos. Por otra parte, también de la red vial, se seleccionaron aquellos arcos cuyo cuociente entre el flujo total de equilibrio y la capacidad declarada fuese mayor que 1, preseleccionando los 30 más “saturados”.

2.2. Metodología de Medición y Adquisición de Datos

Se han utilizado datos del estudio CENMA (1997), provenientes de un vehículo liviano de pasajeros. Las mediciones fueron realizadas por dos personas, en los siguientes horarios: horario punta mañana (7:00 a 9:00 hrs.) y horario fuera de punta (10:00 a 12:00 hrs.). Con respecto a la conducción del vehículo de prueba, ésta se realizó de acuerdo al método del vehículo flotante, vale decir, el conductor debe mantenerse dentro del flujo procurando adelantar tantos vehículos como los que lo sobrepasan. Las mediciones se realizaron con el vehículo instrumentado, que recorrió los trazados definidos previamente, mientras se registraban datos de tiempo y velocidad. El detalle de estas observaciones se indica en CENMA (1997).

2.3. Procesamiento de Datos Experimentales

Existen múltiples formas de construir un ciclo de conducción representativo a partir de mediciones experimentales. En este trabajo, se generaron los ciclos de conducción escogiendo trazas de la curva experimental. Para ello, la curva experimental debió ser dividida en curvas de menor duración, y tuvo que establecerse un criterio para definir cuáles de estas trazas luego formarán el ciclo de conducción. El procedimiento que se indica a continuación fue desarrollado por un programa realizado en MATLAB para esta tarea.

2.3.1. Agrupación de Arcos Viales por Velocidad Media

Cada medición en terreno produjo una curva experimental. Estas curvas fueron divididas por arcos viales, generando tantas curvas como arcos viales formen el recorrido respectivo.

Para cada curva por arco vial se calculó su velocidad media, la cual fue clasificada en intervalos (se utilizaron diez intervalos de velocidades). A continuación, se agruparon las trazas por arco de acuerdo a su intervalo de velocidad media correspondiente. El conjunto de las trazas por arco que pertenecen a un mismo intervalo de velocidad media se denomina curva de trabajo. Para la generación de una traza representativa para un cierto intervalo de velocidad, se ingresó como dato experimental su correspondiente curva de trabajo.

Para los vehículos livianos de pasajeros se obtuvieron diez curvas de trabajo. Cada una de estas curvas generó un ciclo de conducción de 240 segundos de duración.

2.3.2. Caracterización de Variables Relevantes

Cada curva de trabajo se definió de acuerdo a las características que representan su dinámica de conducción, las cuales son: tiempo detenido (% del tiempo total); tiempo en operación (% del tiempo total); velocidad media (km/h); aceleración media (m/s^2); frenada media (m/s^2).

Además, se creó un procedimiento para caracterizar la curva de trabajo de una forma más desagregada. Para ello se trabajó sólo con los datos del tiempo en operación de la curva de trabajo, los cuales forman lo que en adelante se llamará pre-curva de operación. Así, habrá tantas pre-curvas de operación como curvas de trabajo.

Una pre-curva de operación es una matriz de dos columnas y tantas filas como segundos de tiempo en operación existan. En su primera columna contiene la velocidad instantánea, y en la segunda la aceleración instantánea para cada segundo. La pre-curva de operación asociada a cada intervalo de velocidad puede tener discontinuidades, ya que las trazas fueron insertadas consecutivamente. A partir de la pre-curva de operación se creó la curva de operación, la cual no contiene discontinuidades en las velocidades. Para su creación, se eliminaron las discontinuidades procurando remover la menor cantidad de datos experimentales. La figura 2 indica el procedimiento efectuado.

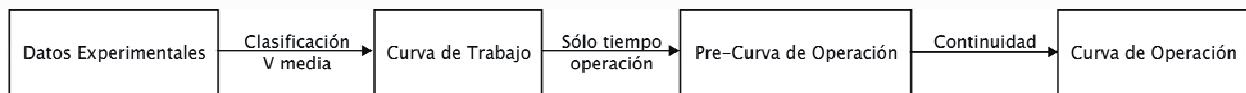


Figura 2: Procedimiento Efectuado a Información Experimental

Se encontraron los valores máximos y mínimos para las velocidades, aceleraciones y frenadas, y se definieron intervalos equiespaciados para cada una de estas variables. La cantidad de intervalos creados dependió de cada curva de operación. A continuación, se construyó una matriz de frecuencias, en cuyas filas se encuentran los intervalos de velocidades, y en cuyas columnas los de aceleraciones y frenadas. En la figura 4 se presenta un ejemplo de una matriz de frecuencias.

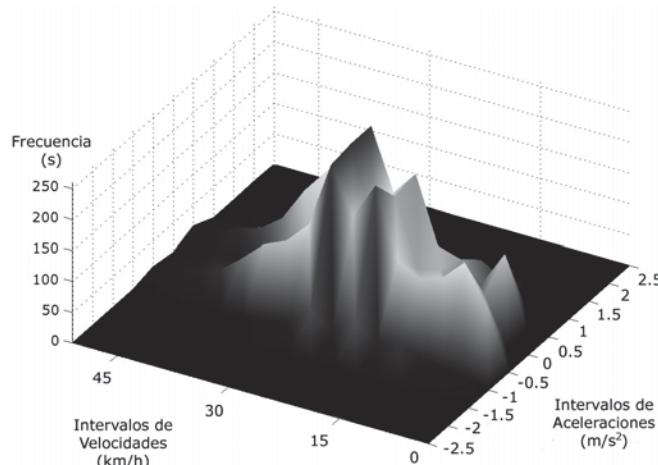


Figura 3: Matriz de Frecuencias

La matriz construida indica, para cada intervalo de velocidad, cuántos puntos de la curva de trabajo hay en cada intervalo de aceleraciones y frenadas. Esto permite caracterizar adecuadamente la curva de operación, obteniendo información relevante de cada uno de sus puntos.

2.3.3. Determinación y Caracterización de Microciclos

Como se indicó, para la construcción de la traza representativa se eligieron porciones de la curva experimental, las cuales también aparecen en la curva de operación. Cada una de las trazas elegidas de la curva de operación se denominó microciclo.

Para definir cada microciclo, se utilizó como referencia la velocidad promedio de la curva de operación. Cada microciclo es la traza de la curva de operación entre dos intersecciones consecutivas de la velocidad promedio (ver figura 4). De esta forma, la curva de operación queda conformada por la sumatoria de todos los microciclos que la componen.

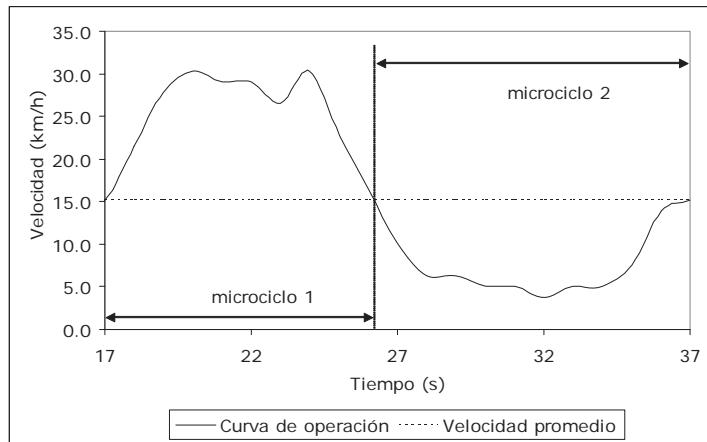


Figura 4: Representación Gráfica de Microciclos

Debe notarse que cada microciclo comienza y termina en un valor muy cercano a la velocidad media de la curva de operación. Este hecho permite pegar consecutivamente cualquier combinación de microciclos, sin que se produzcan discontinuidades en las velocidades.

A cada microciclo se le calculó su matriz de frecuencias correspondiente, utilizando los mismos intervalos de velocidades, aceleraciones y frenadas que se ocuparon para caracterizar la curva de operación. Así, se obtiene una caracterización de cada microciclo bajo los parámetros de la curva de operación. Es importante notar que si se quieren combinar dos microciclos, la matriz de frecuencias asociada a esta combinación es la suma de las matrices de cada microciclo.

2.3.4. Obtención de Trazas Representativas

Las trazas representativas que se obtuvieron tienen una duración de 240 segundos. Se impuso que los porcentajes de tiempo detenido y en operación de ellos coincidan, dentro de un margen de error de 2%, con los correspondientes a la curva experimental. Para asegurar la representatividad de la curva de operación de la traza con la de los datos experimentales, se definió la metodología que se detalla a continuación.

Los valores de la matriz de frecuencias perteneciente a la curva de operación (M), fueron recalculados, suponiendo que el tiempo de operación es el correspondiente a la traza. Esto se realizó multiplicando cada valor de la matriz por un factor de proporcionalidad. Con ello se obtuvo una nueva matriz de frecuencias M' . Se espera que la curva de operación de la traza obtenida tenga asociada una matriz de frecuencias muy similar a M' , ya que esto asegura su representatividad.

La curva de operación de las trazas obtenidas se obtuvo de una determinada combinación de microciclos. Para obtener una buena combinación de microciclos, es decir, una combinación que

permite obtener una matriz de frecuencias parecida a M' , se debió encontrar un indicador que permita comparar distintas combinaciones. En este trabajo se utilizó el coeficiente de correlación entre dos matrices como indicador. El procedimiento de selección de microciclos que forman la traza representativa se indica a continuación.

De todos los microciclos disponibles, se eligió en primer lugar aquel cuya matriz de frecuencias tuviera la mejor correlación comparada con M' . Este microciclo se insertó en primer lugar en la curva de operación de la traza a obtener, y se marcó para evitar escogerlo nuevamente. Para elegir el siguiente, se evalúan todos los microciclos restantes disponibles, seleccionando finalmente la combinación de la curva de operación anterior con aquél cuya matriz de frecuencias conjunta tuviera la correlación más cercana a 100%. A continuación, se repitieron los procesos de inserción en la curva de operación y marcado del microciclo. El proceso anterior se repite sucesivamente hasta obtener una curva de operación de la traza con la duración impuesta anteriormente.

La curva de operación obtenida es caracterizada según las variables relevantes descritas anteriormente (velocidad media, aceleración promedio y frenada promedio). Estas variables se comparan con las que se obtuvieron al caracterizar la curva de operación experimental, antes de dividirla en microciclos. Si las aceleraciones y frenadas promedio coinciden dentro de un rango de un 5% con los de la curva de operación experimental, se acepta la curva obtenida y se pasa a la siguiente etapa de procesamiento. En caso contrario, se cambia la cantidad de intervalos de velocidades, aceleraciones y frenadas para la obtención de la matriz de frecuencias, y se repite todo el proceso hasta cumplir con el criterio anterior. Este procedimiento se efectúa debido a la imposibilidad de crear un algoritmo de selección de microciclos que elija en una iteración la combinación óptima de ellos.

Para la obtención de la traza representativa, debe insertarse el tiempo detenido en la curva de operación de la traza, siempre que éste exista. Si no existe, lo que ocurre con trazas de elevadas velocidades medias, no se modifica la curva de operación, aunque se agregan etapas de aceleración y desaceleración en los extremos.

Para insertar, cuando fue necesario, el tiempo detenido en la curva de operación, se requiere identificar el primer punto de la curva con velocidad nula. Los puntos anteriores a este último fueron removidos de la curva de operación, y se dispusieron al final de ella. Este proceso permite que el primer y el último valor de velocidad en la curva de operación sean nulos. Como último paso, para obtener la traza representativa, se intercala aleatoriamente el tiempo detenido correspondiente en la curva de operación.

3. CICLOS DE CONDUCCION

En la tabla 1 se presenta una caracterización general de la información recolectada en la campaña de medición. Se indican también las características de las curvas de trabajo que dan origen a los diez ciclos de conducción obtenidos en este trabajo.

Tabla 1
Caracterización Mediciones Experimentales

Rango de Velocidad (km/hr)	Duración total (seg)	Número de paradas	Tiempo Detenido (%)	Tiempo Operación (%)	Velocidad Media (km/h)	Aceleración Media (m/s ²)	Frenada Media (m/s ²)
0-5	1760	56	60.12	39.88	3.59	1.22	-1.20
5-10	4610	135	45.13	54.87	7.46	1.12	-1.11
10-15	5150	128	36.83	63.17	12.27	1.09	-1.02
15-20	5353	90	24.25	75.75	17.65	0.96	-0.95
20-30	6346	85	17.66	82.34	24.60	1.06	-1.05
30-40	4984	35	8.13	91.87	34.84	0.94	-0.96
40-50	3429	10	2.74	97.26	44.85	0.85	-0.90
50-60	1523	3	1.60	98.40	53.98	0.77	-0.77
60-70	2005	0	0.00	100.00	66.00	0.89	-0.87
70-80	877	0	0.00	100.00	74.49	0.77	-0.74
TOTAL	36037	542	22.14	77.86	26.69	1.00	-0.99

Se obtuvieron diez ciclos de conducción de 240 segundos de duración para vehículos de pasajeros, representativos de las condiciones de circulación en Santiago a diferentes velocidades medias. Los ciclos se denominaron CAS (Ciclo de Automóviles de Santiago) más dos dígitos, correspondientes a su rango de velocidad media. En el caso de los ciclos de mayor velocidad media, fue necesario insertar al comienzo y al término de ellos etapas de aceleración y desaceleración, debido a que no poseen detenciones. En la tabla 2 se presenta una caracterización de los ciclos CAS.

Tabla 2
Caracterización Ciclos de Conducción CAS

Ciclo Conducción	Velocidad Media (km/h)	Aceleración Media (m/s ²)	Frenada Media (m/s ²)	Distancia Recorrida (m)	Índice Correlación (%)	Tiempo Detenido (%)	Tiempo Operación (%)
CAS05	2.28	1.25	-1.21	152.00	99.84	60.00	40.00
CAS10	5.06	1.15	-0.96	337.06	99.76	45.83	54.17
CAS15	11.65	1.05	-1.08	776.90	99.93	36.67	63.33
CAS20	15.32	0.96	-0.96	1021.03	99.95	25.42	74.58
CAS30	26.56	1.05	-1.07	1770.92	99.79	16.25	83.75
CAS40	33.31	0.91	-0.98	2220.34	99.28	7.50	92.50
CAS50	44.49	0.92	-0.86	2966.01	99.66	4.58	95.42
CAS60	56.99	0.79	-0.81	3784.18	99.74	0.00	100.00
CAS70	68.03	0.88	-0.89	4517.38	99.93	0.00	100.00
CAS80	75.86	0.69	-0.67	5035.73	96.67	0.00	100.00

4. DISCUSION Y COMENTARIOS

4.1. Selección de Recorridos

Los criterios de selección de recorridos dependen del modo de transporte que se desea representar. Para vehículos livianos de pasajeros se escogieron los recorridos tomando en consideración los rangos de velocidades, el flujo, tipo y nivel de saturación de los arcos viales, la distribución geográfica y el porcentaje de taxis. Los intervalos en que se divide cada variable escogida como criterio resultan relevantes, sobre todo para el flujo vehicular, que es la única variable que necesariamente debe estar presente en los criterios.

El hecho de no contar con las herramientas o cantidad de información necesaria podría impedir la correcta aplicación de la metodología de selección de arcos viales en alguna región. En este caso, siempre existirá la opción de seleccionar los recorridos arbitrariamente, consultando a personas expertas en flujos y condiciones de circulación de una cierta región. Sin embargo, el proceso de selección de recorridos efectuado en este trabajo aparece como la alternativa de menos sesgo en la elección de arcos viales, y además responde a una metodología bien definida.

4.2. Procesamiento de Datos Experimentales

El procesamiento de datos experimentales consiste fundamentalmente en crear un subconjunto de datos (ciclo de conducción) representativo de la información recolectada. Los parámetros que establecen la representatividad del subconjunto de datos escogido se basan en la dinámica de conducción, considerando velocidad media, tasa de aceleración y desaceleración, porcentaje tiempo detenido y análisis de campos de velocidades y aceleraciones.

La metodología de procesamiento desarrollada en este trabajo permite construir ciclos de conducción a partir trazas velocidad-tiempo. A modo de ejemplo, en la figura 5 se identifican trazas del ciclo CAS30 en la curva de operación que lo genera.

El elemento más importante en toda la metodología de procesamiento es el indicador matemático que permite comparar los campos de velocidades y aceleraciones de dos trazas. Se realizaron pruebas con diferentes indicadores, considerando mínimos cuadrados y el coeficiente angular utilizado para desarrollar el ciclo de conducción de Bangkok (Radian 1995). De las pruebas anteriores, se determinó que el coeficiente de correlación entre dos matrices es el indicador que da mejores resultados al comparar los campos de velocidades y aceleraciones.

Se obtuvieron resultados satisfactorios utilizando no más de 15 intervalos tanto de velocidades como de aceleraciones y frenadas. Utilizar cantidades superiores de intervalos no garantiza mejoras ostensibles en los resultados, y sí aumenta en gran cantidad el tiempo de procesamiento en el computador.

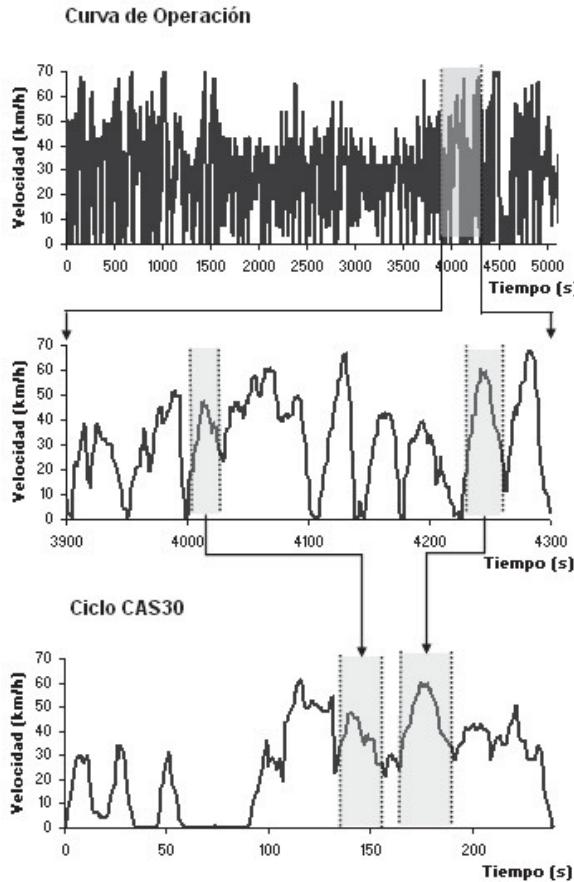


Figura 5: Trazas Experimentales en Ciclo de Conducción CAS30

4.3. Resultados Obtenidos

En la tabla 3 se indica una comparación de las caracterizaciones de dos ciclos de conducción obtenidos respecto de las mediciones experimentales. En ella puede verse que los porcentajes de tiempo detenido y en operación de los ciclos de conducción obtenidos coinciden con los de las mediciones experimentales, lo cual se impuso en su proceso de creación. Por otro lado, las aceleraciones y frenadas medias representan certeramente los valores medidos experimentalmente, lo que resulta especialmente importante dada la dependencia que presentan frente a estas variables las emisiones de algunos contaminantes. Los ciclos de conducción obtenidos presentan niveles de correlación por sobre 99% en sus campos de velocidades y aceleraciones con respecto a la curva experimental que los generó, tanto para vehículos livianos de pasajeros como para buses de transporte público. Por estas razones, puede afirmarse que cada ciclo de conducción obtenido para vehículos livianos de pasajeros representa las condiciones de circulación de ellos en el rango correspondiente de velocidad media.

Los ciclos de conducción STD (Corvalán 2000) fueron generados a partir de las mismas mediciones experimentales que los ciclos CAS. Los ciclos STD presentan valores de correlación un 15% menor que los CAS, y sus aceleraciones, frenadas y tiempo detenido no reflejan las características de la curva experimental con la misma certeza que los ciclos CAS. Estas

diferencias se deben exclusivamente a mejoras en el procesamiento de la información experimental, bajo la metodología descrita en este trabajo.

Tabla 3
Comparación y caracterización mediciones experimentales, ciclos CAS y ciclos STD

	5<V<10			30<V<40		
	Curva Trabajo	Ciclo CAS10	Ciclo STD10	Curva Trabajo	Ciclo CAS40	Ciclo STD40
# Paradas	135	9	7	35	2	2
% Tiempo Detenido	45.13	45.83	22.50	8.13	7.50	5.60
% Tiempo en Operación	54.87	54.17	77.50	91.87	92.50	94.40
% Tiempo Acelerando	19.15	18.75	22.92	36.65	36.67	43.20
% Tiempo Frenando	19.97	22.50	33.75	35.31	34.17	40.40
% Tiempo Crucero	15.76	12.92	20.83	19.91	21.67	10.80
Velocidad Promedio (km/h)	7.46	5.06	11.08	34.84	33.31	38.43
Velocidad Máxima (km/h)	63.21	25.28	36.00	79.64	70.79	72.10
Aceleración Promedio (m/s^2)	1.12	1.15	0.99	0.94	0.91	0.84
Frenada Promedio (m/s^2)	-1.11	-0.96	-0.67	-0.96	-0.98	-0.90
Distancia Recorrida (m)	9604.87	337.06	738.56	48948.07	2220.34	2668.50
% Correlación	100	99.76	70.94	100	99.28	69.18
# Intervalos Velocidades		10			10	
# Intervalos Aceleraciones		8			15	
# Intervalos Frenadas		8			15	

5. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha desarrollado una metodología para la determinación experimental de ciclos de conducción representativos de las condiciones de circulación en la red vial de la ciudad de Santiago. Se incorporó en ella el análisis de campos de velocidades y aceleraciones para la creación de los ciclos, con lo que se obtienen curvas que representan certeramente las particularidades del modo de conducción local. El grado de generalidad de la metodología desarrollada permite aplicarla en otras regiones del país si fuese necesario.

Se obtuvieron diez ciclos de conducción para vehículos livianos de pasajeros, cada uno asociado a un rango de velocidad media. Los ciclos obtenidos presentan correlaciones por sobre 99% al ser comparados sus campos de aceleraciones y velocidades con los correspondientes a la curva experimental que los produjo, y presentan las mismas características de dinámica de conducción que ella. Con ello, la metodología desarrollada en este trabajo se ha probado con éxito.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Comisión Nacional del Medio Ambiente Región Metropolitana y a la División Ingeniería de Transporte DICTUC, de la Pontificia Universidad Católica, por la disponibilidad de los datos experimentales utilizados en el presente trabajo. También se agradece el apoyo del Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA) y el Departamento de Ingeniería Mecánica (DIMEC), ambos pertenecientes a la Universidad de Chile.

REFERENCIAS

- André M., Hickman A.J., Hassel D., Joumard R. (1995) Driving Cycles for Emission Measurements under European Conditions. **SAE technical paper series 950926.** USA
- André M., Pronello C. (1996a) Speed and Acceleration Impact on Pollutant Emissions. **SAE technical paper series 961113.** USA
- André M. (1996b) Driving Cycles Development: Characterization of the Methods. **SAE technical paper series 961112.** USA
- Brundell-Freij K., Ericsson E. (2001) A typology of urban driving patterns: a descriptive analysis and estimation of environmental effects. **Urban Transport VII, WIT Press; ISBN 1-85312-865-1.** UK
- CENMA (1997) Caracterización de Flujos Viales en la Región Metropolitana. **Informe Final; CONAMA.** Santiago, Chile
- Corvalán R., Urrutia C. (2000) Emission Factors for Gasoline Light-Duty Vehicles: Experimental Program in Santiago, Chile. **Journal of the Air & Waste Management Association; Vol 50 Nº 12; pp. 2102-2111**
- De Vlieger I., De Keukeleere D., Kretzschmar J.G. (1999) Driving Behaviour and Congestion: Environmental Effects by Passenger Cars. **8th International Symposium Transport and Air Pollution; May-31, June-2, Vol 76.** Graz; Austria
- Dembski N., Guezenec Y., Soliman A. (2002) Analysis and experimental refinement of real-world driving cycles. **SAE technical paper series 2002-01-0069.** USA
- Ericsson E. (1999) Variability in Urban Driving Patterns. **8th International Symposium Transport and Air Pollution; May-31, June-2, Vol 76.** Graz; Austria
- Holmen B.A., Niemer D.A. (1997) **Characterizing the Effects of Driver Variability on Real-World Vehicle Emissions.** University of California, Estados Unidos.
- Radian Corporation, Kishan S., DeFries T., Weyn C. (1995) Bangkok Driving Cycle Development Report. **The World Bank, Pollution Control Department and The Land Transport Department; Bangkok, Thailand; DCN 95-731-003-01**
- Rojas D.A. (2003) Determinación Experimental de Ciclos de Conducción. **Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil Mecánico; Universidad de Chile.** Santiago, Chile
- Vojtisek-Lom M., Lambert D.C., Wilson P.J. (2002) Reproducing Driving Cycles on the Road Using Portable, On-Board Emissions Monitoring Systems. **12th CRC On-Road Vehicle Emissions Workshop; April 15-17.** San Diego, California; USA