



Laboratorio Nacional de

Materiales y Modelos Estructurales



PROGRAMA DE
INFRAESTRUCTURA DEL
TRANSPORTE

P I T R A

Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

Informe No. LM-PI-GM-INF-21-14

Propuesta para Línea de Investigación sobre Factores de Expansión Horarios en la Red Vial Cantonal de Costa Rica

Preparado por:

Unidad de Gestión Municipal
PITRA-LanammeUCR

San José, Costa Rica
2014

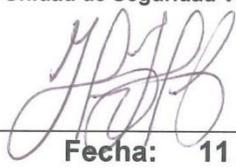
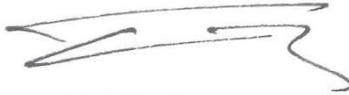
1. Informe LM-PI-GM-INF-21-14		2. Copia No. 2
3. Título y subtítulo: Propuesta para Línea de Investigación sobre Factores de Expansión Horarios en la Red Vial Cantonal de Costa Rica		4. Fecha del Informe Noviembre, 2014
5. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440		
6. Notas complementarias		
7. Resumen <p><i>El presente proyecto pretende plantear la metodología para estimar los factores de expansión horarios (FEH) que sean aplicables a caminos que forman parte de la red vial cantonal, con base en los datos recolectados por el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, a través de la Unidad de Gestión Municipal.</i></p> <p><i>Actualmente se han estimado factores de expansión horarios en diferentes rutas de las Red Vial Nacional que podrían no ser la mejor opción para aproximar TPD en rutas municipales. Por lo tanto, se pretende utilizar las bases de datos creadas con más de 352 conteos en caminos cantonales para estimar los FEH, mediante metodologías de análisis adecuadas según la literatura nacional, internacional y experiencia en el tema.</i></p>		
8. Palabras clave FEH, conteos, cantonal, factores	9. Nivel de seguridad: Ninguno	10. Núm. de páginas 21
11. Preparado por: Ing. Eliécer Arias Barrantes Unidad de Gestión Municipal  Fecha: 11/11/14	12. Revisado por: Ing. Jose Pablo Aguiar Moya, PhD Coordinador Unidad de Pavimentos y Materiales  Fecha: 11/11/14	
13. Revisado por: Lic. Carlos Campo Cruz, Mba Coordinador Unidad de Gestión Municipal  Fecha: 11/11/14	14. Revisado por: Ing. Henry Hernandez Vega, MSc. Unidad de Seguridad Vial y Transportes  Fecha: 11/11/14	15. Aprobado por: Ing. Guillermo Loría Salazar, PhD Coordinador General PITRA  Fecha: 11/11/14

TABLA DE CONTENIDO

1. DESCRIPCIÓN.....	5
2. ANTECEDENTES	6
3. OBJETIVO GENERAL	9
4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
5. ESQUEMA CONCEPTUAL.....	9
6. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	12
7. LIMITACIONES.....	12
8. MARCO DE REFERENCIA.....	13
8.1. BASE DE DATOS DISPONIBLE	13
8.2. EXPERIENCIA PREVIA.....	15
9. REFERENCIAS.....	21

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. CANTIDAD DE CONTEOS DISPONIBLES POR PROVINCIA.	14
TABLA 2. EJEMPLO DE CONTEO VEHICULAR DE 24 HORAS.	15
TABLA 3. EJEMPLO DE ESTIMACIÓN DE FEH POR TIPO DE COMPORTAMIENTO EN UNA MUNICIPALIDAD.	17
TABLA 4. FACTORES DE EXPANSIÓN HORARIO RUTAS NACIONALES.	18
TABLA 5. EJEMPLO DE FED EXPANSIÓN DIARIOS.	20

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. FLUJOGRAMA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN FEH RED VIAL CANTONAL.	11
FIGURA 2. UBICACIÓN DE CONTEOS DISPONIBLES POR PROVINCIA.	14
FIGURA 4. DISTRIBUCIÓN HORARIA DE UN CONTEO DE 24 HORAS.	16
FIGURA 5. AGRUPACIONES DE DATOS SEGÚN COMPORTAMIENTOS DIFERENTES.	17
FIGURA 6. CONTEO SEMANAL.	19

1. DESCRIPCIÓN

El presente proyecto pretende generar grupos de distribuciones temporales del tránsito que permitan estimar los factores de expansión horarios que sean aplicables a caminos que forman parte de la red vial cantonal, con base en los datos recolectados por el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, a través de la Unidad de Gestión Municipal.

En la práctica, los factores de expansión horarios permiten mejorar la estimación del flujo vehicular diario o TPD a partir de conteos realizados en períodos de tiempo más cortos. Dado que los recursos son limitados, existen casos en donde solamente se dispone de datos de tráfico para periodos menores a 24 horas, por lo tanto es necesario disponer de las metodologías adecuadas para estimar el TPD a partir de estos datos.

En el país se han estimado factores de expansión horarios para diferentes rutas de la Red Vial Nacional (Magaña, 2014 y MOPT, 2013). Los datos que han sido generados por el MOPT son aplicados a estaciones de conteo temporales para estimar el TPDA de la ruta en análisis.

Adicionalmente, se han realizado estudios sobre la variación horaria de los flujos vehiculares en la red vial nacional. Sin embargo, dada la diferencia significativa que puede existir en los patrones de flujo vehicular en la red vial nacional y en la red vial cantonal no es recomendable utilizar dichos factores en las redes viales municipales.

Dadas las limitaciones de recursos, personal y tecnológicos, muchas municipalidades no están en la capacidad de recopilar información de tráfico las 24 horas del día. La ventaja de disponer de factores de expansión horarios confiables radica en la facilidad y velocidad con la que los Municipios podrían obtener mejores estimaciones de los flujos vehiculares en diferentes zonas.

Como avance importante se tiene el hecho de que la Unidad de Gestión Municipal del LanammeUCR ha calculado factores de expansión horarios para diferentes municipios, los cuales brindan una muy buena aproximación a caminos que posean distribuciones horarias similares dentro del casco urbano analizado. Sin embargo, el procedimiento que se plantea pretende determinar factores más globales, que puedan ser utilizados por diferentes

Municipios, dentro de una misma provincia o una misma región, tomando en consideración las recomendaciones de la AASHTO (2009), presentadas en el documento *Guidelines for Traffic Data Programs*.

2. ANTECEDENTES

Erhunmwunsee (1991) en el artículo "*Estimating average annual daily traffic flow from short period counts*" se centra en dos métodos para completar conteos parciales. Uno es el método de Phillips y Blake utilizado en el Reino Unido, y el otro es por regresión lineal. El método Phillips y Blake sugiere que una buena aproximación para el TPD se logra con la obtención de los factores promedio de todas las rutas bajo análisis. El factor de expansión según este método resulta de dividir el volumen diario entre el volumen del conteo parcial para cada estación.

Herrera y Rivera (2006) en el estudio "*Censos volumétricos y de clasificación de tráfico de la red vial de la provincia de Pichincha*", realizado para la Provincia de Pichincha en Ecuador, realizan conteos vehiculares en varias rutas donde no se cuenta con datos para las 24 horas. Se utilizan factores de expansión calculados como el porcentaje de vehículos de una hora con respecto al volumen diario total. Los coeficientes pueden calcularse como promedios para un día en específico de la semana (fin de semana, día laboral, feriado...).

El mismo Rivera (2007) en la publicación "*Metodología para la obtención del tránsito medio diario anual (TMDA) por conteos diarios*" genera un modelo de regresión para obtener el TPDA a partir de conteos diarios donde se toman en cuenta los factores diarios para conteos parciales. El modelo plantea una serie de factores diarios obtenidos a partir de regresiones con datos históricos, diferenciando el tipo de ruta (comercial o turística) e inclusive si tiene o no peajes. Los factores obtenidos son aplicados en la determinación del TPDA para las zonas de centrales de Argentina (Buenos Aires, Córdoba, Santa Fe, La Pampa), donde se obtuvieron resultados satisfactorios.

En la tesis de grado "*Estudio de tráfico en la vía Cumbaya-Pifo (L=15.00 km) y propuesta para su mejoramiento*" realizada por Armijos, et al.(2012) en la Universidad Central de

Ecuador se presenta un estudio de tráfico detallado para la vía. Para el estudio se contemplan conteos manuales de 12 horas, que luego son aumentados en un porcentaje específico, que resulta de la división del volumen de una hora entre el volumen total medido en un día. Realizan esto con cada día de la semana para completar todos los días y luego obtener el TPDA.

Zhao y Chung (1999) en el artículo “*Estimation of annual average daily traffic in a Florida County using GIS and regression*” explican la metodología de regresiones lineales tomando en cuenta factores socioeconómicos y de tránsito para la determinación del tránsito promedio diario anual. No se utilizan factores diarios para convertir los conteos, sino que se estima el tránsito promedio diario por medio de modelos, lo que conduce a datos de tránsito obtenidos a partir de las zonas de empleo, número de carriles o clasificación funcional de la ruta.

Gastaldi *et al.* (2012) en el estudio “*Annual Average Daily Traffic estimation from Seasonal traffic Counts*”, muestran la metodología utilizada por la Federal Highway Administration (FHWA) de los Estados Unidos para obtener el tránsito promedio diario anual y proponen una metodología de trabajo con base a dicha información. Según los autores, la estimación del TPDA se realiza a partir de conteos semanales (estacionales) y agrupando las estaciones permanentes en las que presentan comportamientos similares. La estimación se basa en la distribución de los flujos y el cálculo de las incertidumbres asociadas.

Pan (2008) en la tesis “*Assignment of Estimated Average Annual Daily Traffic Volumes on All Roads in Florida*” revisa ampliamente las metodologías propuestas en “*Guidelines for Traffic count programs*” de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO, 1992). Se describen los modelos de predicción basados en análisis de las series temporales y en regresiones lineales. Se plantea además un procedimiento para determinar el TPDA en zonas donde no se cuenta con información de conteos previamente.

Armijos, G (2007) en la tesis “*Cálculo de los factores de mayoración del tránsito promedio diario anual partiendo de la información estadística del tramo de la carretera del grupo N.2 : Alólatacunga-Ambato-Riobamba concesionado a Panavial y a mediciones de tráfico en estaciones intermedias*”, explica la metodología para obtener el TPDA a partir de series históricas, donde los factores de crecimiento se calculan en base a la población y la cantidad de automóviles.

Informe: LM-PI-GM-INF-21-2014	Fecha de emisión: 19 de noviembre de 2014	Página 7 de 21
-------------------------------	---	----------------

El Programa Nacional de Cooperación para el Desarrollo de Autopistas (NCHRP por sus siglas en inglés), en el manual *“Traffic data Collection, Analysis and Forecasting for Mechanistic Pavement Design”* (2005), describe el procedimiento de regresión lineal para estimar el TPDA. Se detallan además otros métodos de estimación más sofisticados como la regresión múltiple, el método de los factores de crecimiento o el método de demanda de viajes. Para cada método el manual presenta ejemplos de cálculo y casos de estudio.

El manual *“Expansion Factors for Short Period Traffic Counts”* (National Roads Authority, 2012) muestra la forma de obtener el tránsito promedio diario (TPD) a partir de conteos de menos de 24 horas, según la metodología utilizada en Irlanda. La metodología utiliza factores horarios que depende del comportamiento del tránsito y de la ubicación geográfica de la zona. Son factores horarios determinados para cada sitio específico. El manual muestra ejemplos sencillos del cálculo de los volúmenes vehiculares a partir de conteos de una hora, inclusive.

Magaña (2014) en su tesis *“Determinación de patrones típicos de distribución temporal de tránsito en Costa Rica”*, estima los factores de expansión horarios para diferentes rutas de la red vial nacional de Costa Rica utilizando un análisis híbrido, entre herramientas estadísticas, conocimiento de la red vial, patrones de viaje y criterio ingenieril.

3. OBJETIVO GENERAL

Generar grupos de distribuciones temporales del tránsito, que permitan estimar los factores de expansión horarios que sean aplicables a caminos que forman parte de la red vial cantonal, con base en los datos recolectados por el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales a través de la Unidad de Gestión Municipal.

4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar una revisión bibliográfica sobre la estimación y aplicación de los factores de expansión horarios, para identificar las metodologías más utilizadas a nivel internacional.
- Elaborar una base de datos unificada con todos los conteos realizados en la Red Vial Cantonal, por parte del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR), para identificar patrones de flujo vehicular horario.
- Caracterizar los patrones de flujo vehicular en la red vial cantonal con base en la información recolectada, para determinar las zonas en que son aplicables los factores de expansión horarios.
- Proponer recomendaciones sobre las zonas donde es necesario ampliar la cobertura en el caso de ser aplicable.
- Brindar recomendaciones sobre la mejor franja horaria para utilizar los factores de expansión horarios, según la información analizada de los conteos de 24 horas.

5. ESQUEMA CONCEPTUAL

En la Figura 1 se muestra un flujograma que resume la metodología planteada para estimar los FEH, como analizar la información existente y las variables a considerar durante el desarrollo de la investigación. Además, se tiene proyectado analizar diferentes escenarios en cuanto a la agrupación de los datos, con el fin de seleccionar la mejor metodología.

En una primera fase se realizará una revisión bibliográfica, recopilación de información referente a los conteos realizados y sobre las diferentes divisiones administrativas que existen en Costa Rica, con el objetivo de identificar las necesidades existentes por parte de los entes encargados de realizar los conteos en la red vial cantonal.

A partir de esto analizarán las variables que más influyen en los patrones de flujo vehicular en la red vial cantonal, tomando en cuenta los conteos vehiculares que poseen información de al menos 24 horas continuas.

También se analizará la información con base a los patrones de flujo vehicular observados y respecto a divisiones administrativas locales, como los son, zonas regionales y provincias. Los análisis estadísticos serán muy importantes ya que permiten validar los resultados obtenidos y discernir de manera objetiva entre las diferentes posibilidades de agrupación. Sin embargo, no debe dejarse de lado la posibilidad de que deba tomarse en cuenta el criterio ingenieril para complementar dichos resultados (análisis híbrido).

Los resultados obtenidos deben pasar por un proceso de validación que permita demostrar que los factores de expansión horaria calculados son aplicables para una determinada zona o grupo de carreteras.

A su vez se identificará la mejor franja horaria a utilizar para realizar los conteos vehiculares parciales, con el objetivo de optimizar la captura de datos en campo y obtener la información más confiable posible.

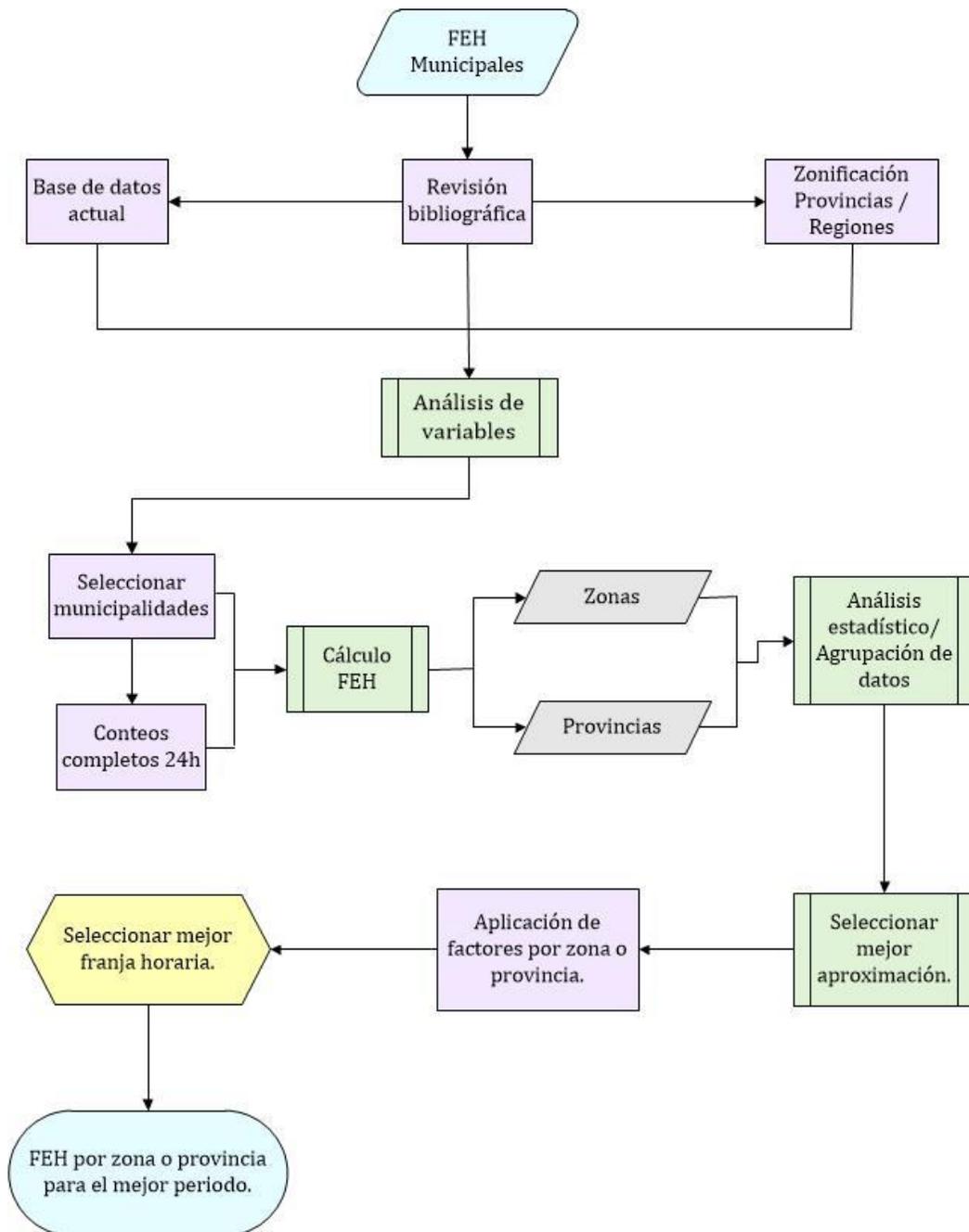


Figura 1. Flujograma línea de investigación FEH red vial cantonal.

6. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Hoy por hoy, la realización de conteos de 24 horas no resulta una tarea compleja, dada la incorporación de nuevas tecnologías que permiten recolectar gran cantidad de información de manera automatizada. Sin embargo, esta tecnología no se encuentra aún disponible en todos los Municipios del país, lo que provoca que la recolección de aforos vehiculares demande mucho tiempo y recursos cuando está tecnología no está disponible.

Por su parte, a nivel nacional las instituciones públicas que poseen estos equipos actualmente, y que podrían facilitarlos mediante la suscripción de convenios entre instituciones no darían a basto, dada la cantidad de equipo disponible actualmente para las necesidades de todos los municipios de Costa Rica.

Esto provoca que, en muchos casos, se realicen conteos de unas pocas horas y que a los mismos se les aplique factores de expansión horario para estimar el flujo a 24 horas. Hasta el día hoy es muy común que se apliquen los factores de expansión horarios de la red vial nacional de Costa Rica, que por sus grandes diferencias en cuanto a cantidad de viajes y motivo de los mismos, podrían no ser la mejor opción para estimar el TPD a nivel municipal.

Con la estimación de factores de expansión horarios calculados a partir de conteos en la Red Vial Cantonal, se estaría asegurando una compatibilidad en los flujos vehiculares. Asimismo, los patrones estudiados estarían en concordancia a lo esperado en la red vial cantonal, lo que mejoraría las estimaciones realizadas por los municipios de Costa Rica.

7. LIMITACIONES

- Los conteos vehiculares considerados para el análisis han sido recolectados en un período que comprende desde el año 2009 hasta el 2014.
- La base de datos actual posee una cantidad limitada de conteos, en total se registran 352 conteos, de los cuales 275 son conteos de 24 horas o más.

- Para este estudio sólo se consideran conteos vehiculares realizados sobre la red vial cantonal. Los datos disponibles serán agrupados de la manera más adecuada, con el fin de estimar parámetros más globales. Sin embargo, puede darse el caso de que la cantidad de conteos disponible por zona o provincia no permita desarrollar la metodología propuesta.
- En este estudio no se realizará una estimación de los factores de expansión por día de la semana, ni por mes del año, ya que las bases de datos disponibles no permiten realizar dicho análisis.

8. MARCO DE REFERENCIA

8.1. Base de datos disponible

Como parte de las labores realizadas por la Unidad de Gestión Municipal se encuentra la de brindar asesoría respecto a la realización de conteos vehiculares en la Red Vial Cantonal, con la facilidad que los Municipios pueden acceder a la utilización de los contadores neumáticos propiedad del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR.

Esto le permite a los municipios poder realizar una mayor cantidad de conteos en una menor tiempo. El equipo facilitado permite contar la cantidad de vehículos y clasificarlos según estándares internacionales, para obtener una distribución vehicular que comprende hasta 12 tipos diferentes de vehículos distribuidos en intervalos de 15 minutos o más.

Este trabajo en conjunto ha permitido recopilar una base de datos que comprende 352 conteos, de los cuales 275 son conteos de 24 horas o más. Esta base de datos es una fuente muy valiosa de información y que está en continuo crecimiento producto de los trabajos realizados con diferentes municipalidades del país.

La Tabla 1 muestra el resumen de conteos disponibles clasificados por provincia. La cantidad de conteos disponibles por provincia es variada, Puntarenas y Heredia son las que tienen la menor cantidad de conteos, en el caso de Limón aún no se cuenta con conteos completos.

Tabla 1. Cantidad de conteos disponibles por provincia.

Provincia	Número de conteos Totales
San José	66
Alajuela	110
Heredia	14
Cartago	35
Guanacaste	43
Puntarenas	7
Limón	-
Total	275

En la Figura 2 es posible ubicar espacialmente los conteos disponibles respecto a la división provincial de Costa Rica.

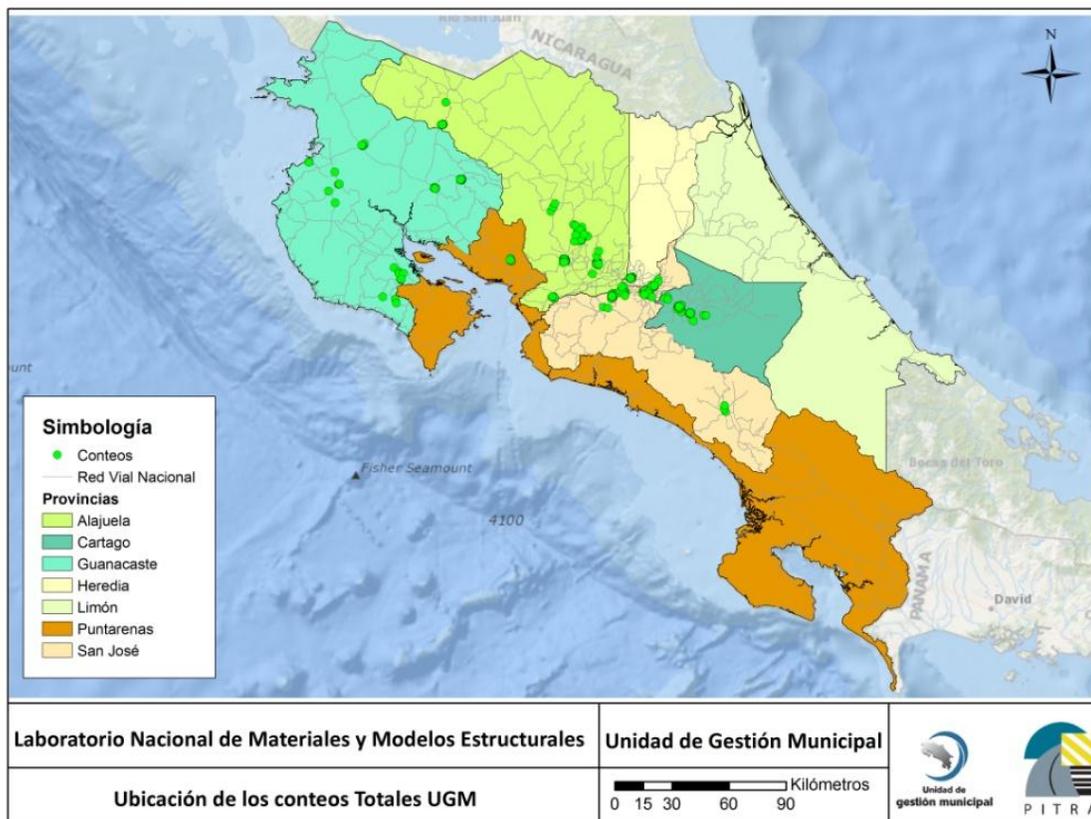


Figura 2. Ubicación de conteos disponibles por provincia.

8.2. Experiencia previa

Los conteos realizados en los diferentes municipios que han sido incluidos en el análisis constan de datos recolectados en al menos 24 horas. Esto permite determinar el patrón de flujo para un día específico. En la Tabla 2 se presentan los datos de un conteo vehicular de 24 horas, en intervalos de 1 hora y clasificado según la metodología ARX, la cual es una modificación de la clasificación de vehículos Austroads94 (*Australasian road transport*), aunque es posible obtener una clasificación distinta..

Desde el año 2009 este tipo de información es la que ha sido utilizada para estimar los factores de expansión horarios locales, que han sido empleados para estimar flujos vehiculares de 24 horas o TPD, a partir de conteos parciales de unas pocas horas.

Tabla 2. Ejemplo de conteo vehicular de 24 horas.

Lunes, 10 de Agosto de 2009		Martes, 11 de Agosto de 2009											
Tiempo	Total por hora	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5	Clase 6	Clase 7	Clase 8	Clase 9	Clase 10	Clase 11	Clase 12
00:00	8	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01:00	5	0	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
02:00	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03:00	12	1	8	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
04:00	20	1	18	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
05:00	45	2	38	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0
06:00	136	12	119	0	4	1	0	0	0	0	0	0	0
07:00	179	10	157	1	9	2	0	0	0	0	0	0	0
08:00	138	10	122	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0
09:00	97	9	82	0	4	1	1	0	0	0	0	0	0
10:00	116	11	89	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0
11:00	158	14	134	0	9	0	1	0	0	0	0	0	0
12:00	190	19	162	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0
13:00	133	8	112	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0
14:00	162	16	140	1	4	0	1	0	0	0	0	0	0
15:00	106	8	88	0	9	1	0	0	0	0	0	0	0
16:00	148	15	121	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0
17:00	139	25	107	1	5	0	1	0	0	0	0	0	0
18:00	126	26	94	0	5	1	0	0	0	0	0	0	0
19:00	104	19	81	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0
20:00	79	15	60	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0
21:00	67	13	49	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0
22:00	34	4	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23:00	23	2	18	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	2228												

El procedimiento realizado en años anteriores consiste en determinar los patrones de flujo vehicular para los conteos completos o que al menos posean 24 horas. En la Figura 3 se observa la distribución horaria en intervalos de 1 hora para un conteo de 24 horas. En el mismo es posible observar dos horas en la que se presenta un flujo mayor o "pico", que son las 9 am y 2 pm, este tipo de patrones, entre otros, es lo que se busca identificar, con el propósito de poder realizar agrupaciones adecuadas.

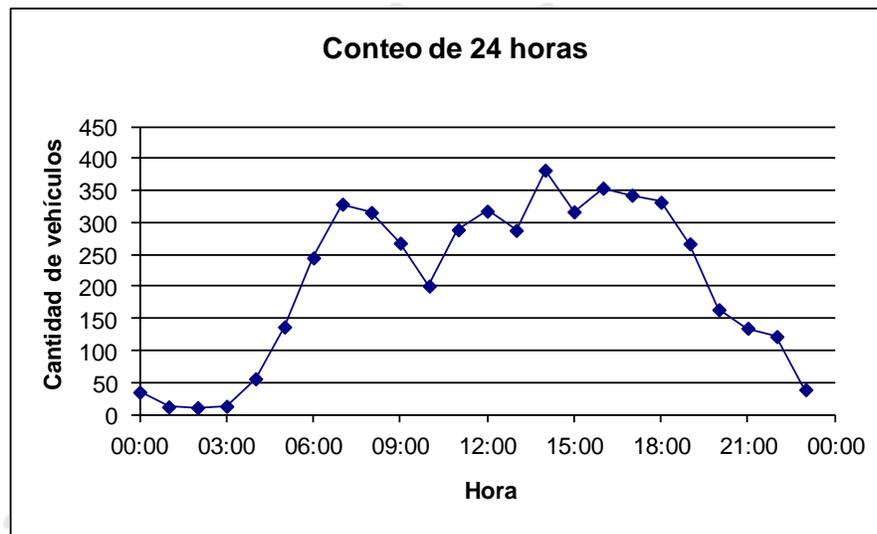


Figura 3. Distribución horaria de un conteo de 24 horas.

En la Figura 4 se muestran dos tipos de agrupaciones, donde los patrones de flujo vehicular son distintos y por lo tanto deben considerarse en la estimación de los TPD. Estas agrupaciones permiten estimar o aproximar mejor los factores de expansión horarios, ya que se cuenta con una mayor cantidad de datos.

En la Tabla 3 es posible observar el cálculo de los FEH para un conjunto de conteos que poseen el mismo comportamiento, y a la vez es posible estimar las franjas horarias que presentan la menor dispersión (datos marcados en verde, Tabla 3) de datos y por lo tanto las horas a considerar para estimar los TPD de los conteos incompletos.

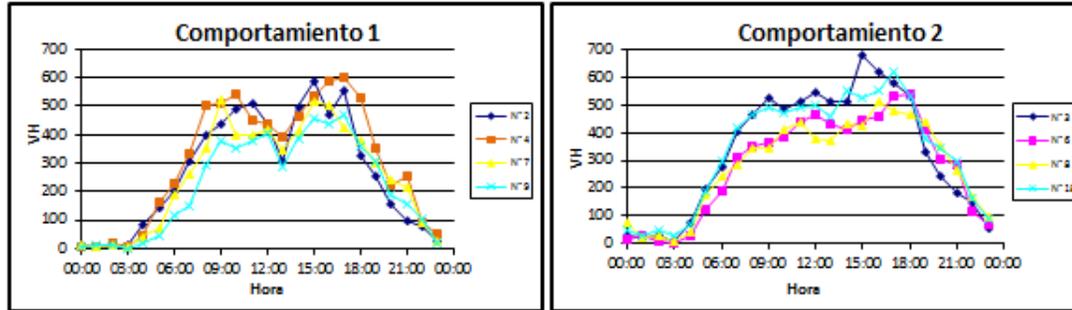


Figura 4. Agrupaciones de datos según comportamientos diferentes.

Tabla 3. Ejemplo de estimación de FEH por tipo de comportamiento en una municipalidad.

Conteo Fecha y hora	N° 2		N° 4		N° 7		N° 9		FEH promedio	Desviacion	s/m
	7 - 8 julio 2009	FEH	9 - 10 julio 2009	FEH	15 - 16 julio 2009	FEH	21 - 22 julio 2009	FEH			
00:00	3	611	3	815	5	410	3	594	608	166	0
01:00	2	916	3	815	1	2051	5	357	1035	720	1
02:00	3	611	6	408	4	513	5	357	472	113	0
03:00	4	458	3	815	2	1026	0		766	287	0
04:00	25	73	15	163	14	147	6	297	170	93	1
05:00	41	45	55	44	24	85	16	111	72	33	0
06:00	58	32	77	32	63	33	38	47	36	7	0
07:00	88	21	111	22	87	24	51	35	25	7	0
08:00	114	16	168	15	117	18	97	18	17	2	0
09:00	125	15	169	14	174	12	127	14	14	1	0
10:00	140	13	180	14	133	15	118	15	14	1	0
11:00	145	13	151	16	133	15	126	14	15	2	0
12:00	125	15	145	17	140	15	134	13	15	1	0
13:00	88	21	131	19	116	18	95	19	19	1	0
14:00	141	13	155	16	137	15	129	14	14	1	0
15:00	168	11	179	14	172	12	152	12	12	1	0
16:00	135	14	195	13	168	12	145	12	13	1	0
17:00	159	12	201	12	142	14	157	11	12	1	0
18:00	94	19	177	14	127	16	120	15	16	2	0
19:00	72	25	117	21	100	21	103	17	21	3	0
20:00	45	41	73	34	81	25	63	28	32	7	0
21:00	28	65	84	29	71	29	52	34	39	18	0
22:00	22	83	31	79	31	66	35	51	70	15	0
23:00	7	262	17	144	9	228	6	297	233	66	0
Total	1832		2446		2051		1783				

El FEH se calcula según la siguiente ecuación

$$FEH^* = \frac{V_T}{V_i}$$

Donde,

V_i : volumen de tránsito en la hora i .

V_T : volumen de tránsito diario en la estación.

Magaña (2014), en su proyecto final de graduación calculó diferentes factores de expansión horarios, utilizando datos de diferentes estaciones de conteo permanente que posee la Dirección General de Planificación Sectorial del MOPT, sobre rutas nacionales.

Para la sumatoria de todo tipo de vehículos se determinaron 4 grupos diferentes, estos resultados se muestran en la Tabla 4, de igual forma pueden observarse a manera de referencia los valores máximos, mínimos y promedio obtenidos según este estudio.

Tabla 4. Factores de expansión horario rutas nacionales.

HORA DEL DÍA	Grupo de factores				Mínimo	Máximo	Promedio
	H1	H2	H3	H4			
0	167	100	100	200	100	200	142
1	250	200	143	333	143	333	232
2	333	333	200	333	200	333	300
3	200	500	200	167	167	500	267
4	91	333	125	67	67	333	154
5	34	143	63	24	24	143	66
6	20	42	29	14	14	42	26
7	17	16	18	14	14	18	16
8	17	12	16	17	12	17	16
9	17	15	17	18	15	18	17
10	17	19	16	19	16	19	18
11	17	19	17	18	17	19	18
12	17	19	17	19	17	19	18
13	16	19	18	17	16	19	17
14	15	19	17	16	15	19	17
15	14	17	16	15	14	17	15

HORA DEL DÍA	Grupo de factores				Mínimo	Máximo	Promedio
	H1	H2	H3	H4			
16	14	16	15	14	14	16	15
17	14	14	14	14	14	14	14
18	17	12	15	18	12	18	16
19	23	15	18	24	15	24	20
20	31	20	23	32	20	32	27
21	40	29	31	40	29	40	35
22	53	34	40	59	34	59	46
23	91	53	56	111	53	111	78

Fuente. (Magaña Cubillo, 2014), modificado Arias 2014.

Como complemento a los FEH en rutas municipales se han realizado conteos semanales, aunque estos se realizan en menor cantidad y permiten estimar cómo se comporta el flujo vehicular en diferentes días de la semana.

En la Figura 5 se presenta la distribución del flujo vehicular en diferentes días de la semana, estos datos han sido utilizados para estimar los factores de expansión diarios (FED), los cuales permiten estimar el flujo vehicular semanal promedio a partir de conteos realizados en un sólo día de la semana.

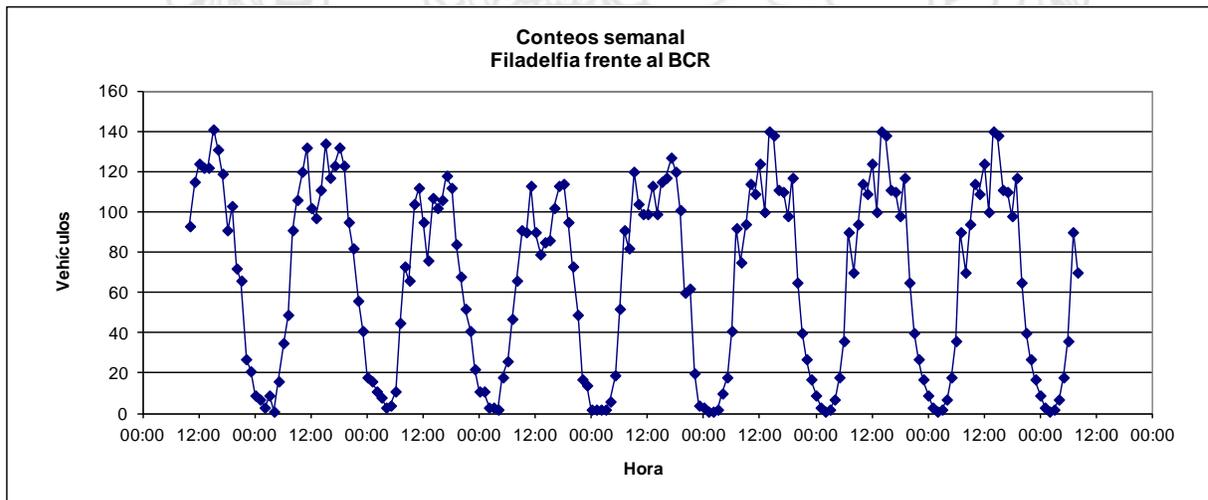


Figura 5. Conteo semanal.

En la Tabla 5 se muestra un ejemplo de los FED calculados para un análisis local en un municipio del país. Este tipo de análisis quedará fuera de este estudio, ya que la cantidad de conteos semanales completos es mucho menor que los completos diarios.

Tabla 5. Ejemplo de FED expansión diarios.

Día	Volumen diario	FED
Lunes	1398	0.87
Martes	1618	1.00
Miércoles	1647	1.02
Jueves	1726	1.07
Viernes	1651	1.02
Sábado	1791	1.11
Domingo	1454	0.90
Promedio	1612	

El FED ha sido calculado como se muestra a continuación.

$$FED = \frac{V_i}{V_{prom}}$$

Donde,

V_i : Volumen de tránsito día i .

V_{prom} : volumen de tránsito promedio semanal.

Los diferentes factores de expansión horarios y diarios han permitido estimar el TPD de diferentes rutas municipales, bajo la salvedad que ha sido un análisis local y que ha brindado buenos resultados. El objetivo principal de esta investigación pretende generar grupos de distribuciones más generales que permitan utilizar la información recopilada en diferentes sitios del país.

9. REFERENCIAS

- AASHTO. (2009). *Guidelines for Traffic Data Programs*. Washinton, DC: AASHTO.
- Armijos, J., Iza, L., & Quiñonez, C. (2012). *Estudio De Tráfico En La Vía Cumbayá – Pifo (L=15.00 Km) Y Propuesta Para Su Mejoramiento*. Quito.
- Erhunmwunsee, P. O. (1991). *Estimating Average Annual Daily Traffic Flow from Short Period Count*.
- Gastaldi, M., Gecchele, G., & Rossi, R. (2014). *Estimation of Annual Average Daily Traffic from one-week traffic counts. A combined ANN-Fuzzy approach*. Padova: elsevier.
- Gastaldi, M., Riccardo, R., Gecchele, G., & Della Lucia, L. (2012). *Annual Average Daily Traffic estimation from Seasonal Traffic Counts*. ScienceDirect.
- Herrera, R., & Rivera, J. (2006). *Censos Volumétricos Y De Clasificación De Trafico De La Red Vial De La Provincia De Pichincha*. La Plata.
- Magaña Cubillo, J. (2014). *Trabajo Final de Graduación: Determinación de patrones típicos de distribución temporal de tránsito en Costa Rica. (Tesis inédita de licenciatura)*. Universidad de Costa Rica. San Pedro.
- Moreno Armijos, G. J. (2007). *Cálculo De Los Factores De Mayoración Del Tráfico Promedio Diario Anual (Tpd) Partiendo De La Información Estadística Del Tramo De La Carretera Del Grupo N 2: Alóag-Latacunga-Ambato-Riobamba Concesionado A Panavial Y A Mediciones De Tráfico En Estaciones*. Sangolquí.
- National Cooperative Highway Research Program. (2005). *Traffic Data Collection, Analysis, and Forecasting for Mechanistic Pavement Design*. Washington.
- National Roads Authority. (2012). *Expansion Factors for Short Period Counts. Project Appraisal Guidelines*.
- Pan, T. (2008). *Assignment of estimated average annual daily traffic on all roads in Florida*. Florida.
- Rivera, J. (2007). *Metodología Para La Obtención Del Transito Medio Diario Anual (Tmda) Por Conteos Diarios*. La Plata.
- Zhao, F., & Chung, S. (1999). *Estimation of Annual Average Daily Traffic in a Florida County Using GIS and Regression*. Florida.