

Cálculo de tasa de crecimiento de tránsito para proyecciones de tráfico promedio diario anual en Nicaragua

Calculation of traffic growth rate for average daily annual traffic projections in Nicaragua

Navarro-Hudiel, 1 Sergio Junior; Bustamante Arteaga, Fernando José

1 Sergio Junior Navarro-Hudiel 1
Sergio.Navarro@norte.uni.edu.ni
Universidad Nacional de Ingeniería, Nicaragua
Fernando José Bustamante Arteaga
jose.bustamante@ftc.uni.edu.ni
Universidad Nacional de Ingeniería, Nicaragua

Revista Científica de Ciencia y Tecnología El Higo
Universidad Nacional de Ingeniería, Nicaragua
ISSN-e: 2413-1911
Periodicidad: Anual
vol. 11, núm. 1, 2021
alba.diaz@norte.uni.edu.ni

Recepción: 20 Marzo 2021
Aprobación: 27 Mayo 2021

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/230/2302679007/>

DOI: <https://doi.org/10.5377/elhigo.v11i1.11717%20>

Resumen: El tránsito vehicular proyectado para el periodo de diseño de pavimentos es una de las más importantes variables que determinan los espesores requeridos para su diseño. Debido al comportamiento de los flujos de tránsito vehicular en las carreteras de Nicaragua, cuya referencia está indicada en los anuarios estadísticos publicados por el Ministerio de Transporte e Infraestructura, es necesario contar con un referente de la metodología para la determinación adecuada de las tasas de crecimiento a ser empleadas para calcular los Ejes de Cargas Equivalentes Simples (ESAL: Equivalent Single Axle Load) acorde al periodo de diseño por tipo de superficie seleccionada. En este artículo, basado en un estudio de caso, se desarrolla la metodología y criterios generales para la selección de un valor justificado por la dependencia de estaciones, correlaciones establecida y datos históricos publicados.

Palabras clave: Tasa de crecimiento, estudios de tránsito, Tránsito Promedio Diario Anual.

Abstract: The vehicular traffic projected for the pavement design period is one of the most important variables that determine the thicknesses required for its design. Due to the behavior of vehicular traffic flows on Nicaraguan highways, the reference of which is indicated in the statistical yearbooks published by the Ministry of Transportation and Infrastructure, it is necessary to have a reference methodology for the proper determination of growth rates to be used to calculate the Simple Equivalent Single Axle Loads according to the design period by type of surface selected. In this article, based on a case study, the methodology and general criteria for the selection of a value justified by the dependence of stations, established correlations and published historical data are developed.

Keywords: Growth rate, traffic studies, Average Daily Annual Traffic.

NOTAS DE AUTOR

- 1 Dr. En Gestión y Calidad de la Investigación Científica. Investigador y Docente Universitario por más 16 años. Máster en vías Terrestres, Ingeniero Civil. Coordinador de la carrera Ingeniería Civil en Universidad Nacional de Ingeniería, Sede Regional UNI Norte, Estelí. Experiencia en investigaciones en transporte, tránsito, zonificación, así como calidad e investigación educativa.

INTRODUCCIÓN

Como refieren Ashhad, Cabrera y Roa (2021), Cal y Mayor (2018) y Sun (2016) el Tráfico Promedio Diario Anual representa el total de vehículos que pasaron el punto específico en un año dividido por 365, sin embargo, la proyección de los volúmenes, en particular para nuevas carreteras incluirá el tránsito normal, tránsito generado y tránsito atraído, siendo un proceso complejo el determinar tasas de crecimiento vehicular considerando la amplia variedad de vehículos y volúmenes por los distintos corredores del país.

Desde el 2005 “la red vial nacional ha sido dividida en tramos que representan secciones de carreteras donde el volumen de tráfico y carga se puede asumir uniforme sobre toda la longitud de sección de carrera”, así mismo asume al tráfico normal como aquel que existirá se mejore o no el tramo, el tráfico desviado o atraído como aquel que desvía y atrae por las mejoras en carretera así como el generado que representa un volumen adicional por las mejoras y cambios en estructura de transporte (MTI, 2007).

Para Nicaragua por los altos costos incurridos no se realizan conteos clasificados de los volúmenes de tránsito durante todo el año sino divididos en tres cuatrimestres (MTI, 2019, p.9). Se considerará que el Tránsito Promedio Diario Anual será “el volumen vehicular que representa el promedio de todos los volúmenes diarios en un año” (SCT, 2016, p.11).

En Nicaragua acorde a Anuario de Aforo Tráfico 2018 publicado por el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI, 2019), a través de la Oficina de diagnóstico, evaluación de pavimentos y puentes, desde el año 2010 en Nicaragua se aplican vectores de correspondencia para identificar las características, volúmenes de tráfico de las estaciones, perfil de variación en el flujo vehicular y el grado de relación entre las diferentes estaciones de la red vial.

METODOLOGÍA

Acorde a Hernández, Fernández y Baptista (2014) esta investigación es de tipo descriptiva con un enfoque cuantitativa. Para la descripción de las características y fuentes de información estadística de conteos clasificados se realizó una revisión documental, así como otros recursos encontrados en la internet de los últimos cinco años. Para el análisis y proyección de datos de tráfico clasificado así como el cálculo de tasas de crecimiento se hizo uso de la metodología propuestas en anuarios de tráfico del Ministerio de Transporte e Infraestructura de Nicaragua, aplicando de cálculo de tasas de crecimiento con valores extremos así como media geométrica para los valores positivos propuestos por MTI (2019), Barraza Ortiz, Domínguez Solano y Herrera Acosta (2019), SCT (2016) aplicados al tramo de carretera ubicado en San Sebastián de Yalí - El Tigre.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los Anuarios de aforo de tráfico publicados por el Ministerio de Transporte son un referente del comportamiento de los volúmenes de tráfico en las carreteras del país, para las estaciones principales. A fin de homologar la nomenclatura de las estaciones de conteos clasificados y periodos de conteo manuales o aforos de tráfico se han clasificado estas en las categorías indicadas en la tabla 1.

Tabla 1. Estaciones de conteos clasificados en Nicaragua.

Estaciones de Conteos de Mayor Cobertura (EMC)	Estaciones de Conteos de Corta Duración (ECD)	Estación de Conteo Sumaria (ECS)
Conteos clasificados durante 3 tiempos por 7 días consecutivos cada uno las 24 horas, obteniendo el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) con el promedio de los períodos.	Conteos clasificados por 12 horas continuas (6:00 a.m. - 6:00 p.m.) por tres días consecutivos (martes, Miércoles y Jueves) aplicados en flujos con TPDA reportados mayores de 300.	Conteos clasificados por 12 horas continuas (6:00 a.m. - 6:00 p.m.) por tres días consecutivos (martes, Miércoles y Jueves) aplicados en flujos con TPDA reportados menores de 300.

Fuente: Anuario de Aforo de Tráfico Año 2018, MTI, 2019, p.9

Los vectores de correspondencia o analogía son empleados para establecer las relaciones o dependencias que puedan existir entre estaciones de conteos clasificados para estaciones principales y secundarias basadas en los aspectos de regiones geográficas, volumen total del tráfico, porcentaje de Vehículos Pesados en el Volumen Total Diario y la razón entre el total de Vehículos pesados de carga y vehículos de larga distancia, así como el total de vehículos pesados (MTI, 2019, p.5-7).

Los datos estadísticos de Policía Nacional (Nicaragua) indican que al 2018 la composición de toda la flota vehicular era de 88.72% correspondiente a vehículos livianos, 2.78% de pasajeros, 7.97% pesados y el 0.53% a otros. Siendo para las once principales el 77% de vehículos livianos y el resto de carga (MTI, 2019, pp. 16-19).

Lo ideal es poder realizar los conteos clasificados manuales durante toda la semana y las 24 horas, sin embargo considerando factores de costos, seguridad y disposición de recursos humanos y técnicos, es una práctica común el poder expandir datos a partir de conteos de corta duración de al menos 12 horas y al menos tres días de la semana.

La Oficina de Diagnóstico y Evaluación de Pavimentos y Puentes, a través de la División de Administración Vial refiere a que los factores para el cálculo del TPDA en las estaciones de Corta Duración (ECD) y estaciones Conteo Sumaria (ECS), dependiendo de los días que realice los aforos se empleen los siguientes:

Factor Día (conocido también como factor nocturno): Corresponde expandir el tráfico diurno de 12 horas a tráfico diario de 24 horas. Se obtiene mediante los resultados correspondientes de las estaciones de mayor cobertura de 24 horas siendo la fórmula:

$$Factor\ Día = 1 + \frac{Tráfico\ Nocturno}{Tráfico\ Diurno}$$

Ecuación 1. Fuente (MTI, 2019)

El valor de factor día a adoptar por defecto en las estaciones de Mayor Cobertura 1.0.

Factor Semana: El factor para expandir el resultado obtenido para un período corto de tres días de la semana (martes a jueves) a los promedios semanales 7 días (lunes a domingo), siendo la fórmula:

$$Factor\ semana = \left(\frac{Tlab*5 + Tfs*2}{7*Tlab} \right)$$

Ecuación 2. Fuente (MTI, 2019)

Donde:

Tlab: Corresponde al tráfico levantado durante la semana (lunes a viernes).

Tfs: Corresponden al tráfico levantado durante el fin de semana (sábado a Domingo).

Los valores de factor semana en las Estaciones de Mayor Cobertura por defecto será 1.0.

Factor Fin de Semana: Es el Factor para expandir un conteo realizado durante el fin de semana a los 7 días de la semana, siendo la fórmula para calcular:

$$Factor Laboral = \left(\frac{Tlab*5+Tfs*2}{7*Tfs} \right) \quad \text{Ecuación 3. Fuente (MTI, 2019)}$$

Factor expansión (conocido también como factor estacional o factor de ajuste) : Es el factor para expandir el tráfico diario semanal promedio diario anual (TPDA) por tipo de vehículo, el que se obtiene de los conteos realizados en las estaciones de mayor cobertura.

Para realizar los conteos clasificados se ha estandarizado la clasificación de vehículos, pudiendo incluir otros aspectos acorde alcances del estudio, así como los pesos por eje admitidos, siendo los indicados tabla 2.

Tabla 2. Tipología de Vehículos usada para conteos clasificados.

Clasificación vehicular	Tipos de vehículos	Descripción de la tipología vehicular
Vehículos de Pasajeros	Motocicletas	Incluye todos los tipos de Motocicletas tales como: Mani motos, Cuadracíclos, Moto Taxis, etc. Este último fue modificado para que pudiera ser adaptado para el traslado de personas, de encontrarse en zonas departamentales y zonas urbanas. Motos de 3 personas incluyendo al conductor.
	Automóviles	Se consideran todos los tipos de automóviles de cuatro y dos puertas, entre los que podemos mencionar: vehículos coupe y station wagon.
	Jeep	Se consideran todos los tipos de vehículos conocidos como 4x4. En diferentes tipos de marcas, tales como Toyota, Land Rover, Jeep, etc.
	Camioneta	Son todos aquellos tipos de vehículos con tintas en la parte trasera, incluyendo las que transportan pasajeros y aquellas que por su diseño están destinadas a trabajos de carga.
	Microbus	Se consideran todos aquellos microbuses, que su capacidad es igual o menor a 14 pasajeros sentados.
	Minibus	Son aquellos con una capacidad de 15 a 30 pasajeros sentados.
Vehículos de Carga	Bus	Se consideran todos los tipos de buses, para el transporte de pasajeros con una capacidad de más de 30 pasajeros sentados.
	Liviano de Carga	Se consideran todos aquellos vehículos, cuyo peso máximo es de 4 toneladas o menores a ellas.
	Camión de carga C2 - C3	Son aquellos camiones tipo C2 (2 ejes) y C3 (3 ejes), con un peso mayor de 5 toneladas. También se incluyen las furgonetas de carga liviana.
	Camión de Carga Pesada Tx-Sx < 4	Camiones de carga pesada, son vehículos diseñados para el transporte de mercancía liviana y pesada.
	Tx-Sx > 5	Este tipo de camiones son considerados combinaciones Tractor-Camión y semi-Remolque, que sea mayor o igual que 5 ejes.
	Cx-Rx < 4	Combinación combinado, son combinaciones camión-remolque que sea menor o igual a 4 ejes.
Equipo Pesado	Cx-Rx > 5	Son combinaciones iguales que las anteriores, pero mayores o iguales cantidades a 5 ejes.
	Vehículos Agrícolas	Son vehículos provistos con llantas especiales de hule, de gran tamaño. Muchos de estos vehículos poseen arados u otros tipos de equipos, con los cuales realizan actividades agrícolas.
Otros	Vehículos de Construcción	Generalmente estos tipos de vehículos se utilizan en la construcción de obras civiles. Pueden ser de diferentes tipos: Motocavadoras, Retrocavadoras, Pavimentadora de Asfalto, Tractor de Cadena, etc.
	Remolques y/o trailers	Se incluyen remolques o trailers pequeños halados por cualquier clase de vehículo automotor, también se incluyen los halados por tracción animal (semovientes).

Fuente: MTI (2019, p. 34)

De igual manera en correspondencia con el Reglamento de Ley General de Transporte Terrestre en los artículos 109 y 114, de las Normas Jurídicas de Nicaragua (2005) se establecen diagrama de cargas permisibles mostrado en figura 1.

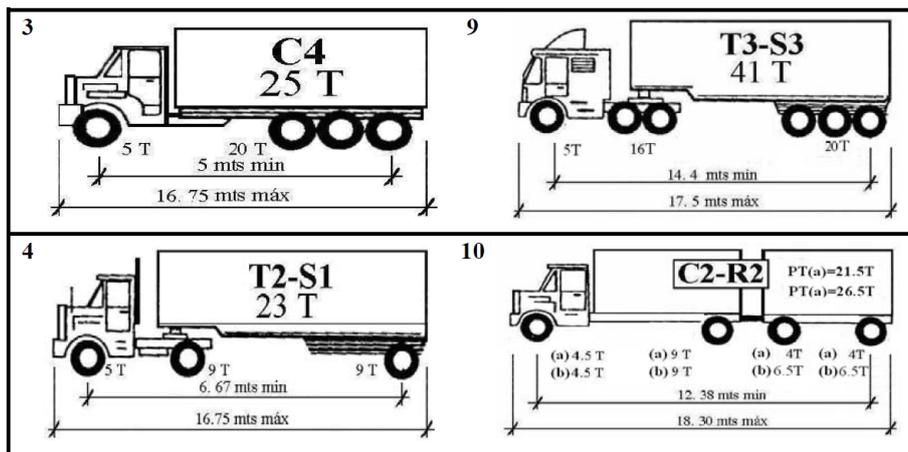


Figura 1. Diagrama de pesos permisibles en Nicaragua vehículos carga

Nota: El Pesos máximo permisible será el menor entre el especificado por el fabricante y el contenido en esta columna.

(a): Eje sencillo, llanta sencilla.

(b): Eje sencillo, llanta doble

* Según vehículo cargado o descargado excederá en: Ancho: 2.60 m, Alto 4.15 m, Largo: 2 ejes 12 m, 3 ejes 12 m, semirremolque 17.50 m, otras combinaciones desde 18.30 m hasta 23 m máximo. Para los ejes dobles (tandem) y triple la separación de centros comprendidos entre las ruedas es entre 1.0 y 1.30 m.

Acorde a la División de Administración Vial de Oficina de Diagnóstico y Evaluación de Pavimentos y puentes:

Para efectos de diseño de estructuras de pavimento de acuerdo a resultados de estudios de tráfico, laboratorios de suelos, muestreos, conteo vehicular y cálculos relacionados, se han identificado que los daños que causan los vehículos livianos a la estructura del pavimento en carreteras nuevas, producto de su desplazamiento sobre la vía, es mínimo a razón de 1 en 50000 respecto a vehículos pesados, por tal motivo no figura en el diagrama de cargas permisibles de Nicaragua la información referida al respecto. Para estimaciones de cargas, seguimiento estadístico, control de tráfico y diseño de vehículos se pueden considerar los siguientes pesos por ejes, el departamento de pesos y dimensiones de la dirección vialidad del Ministerio de Transporte e Infraestructura propone la tabla de cargas de tabla 3.

Tabla 3. Diagrama de pesos permisibles en Nicaragua vehículos livianos y pasajeros

Tipo de Vehículo	Peso por eje en TON	Peso por eje en Lb
AUTOMOVIL	1/1	2200/2200
JEEP	1/1	2200/2200
CAMIONETA	1/2	2200/4400
MC-15	2/4	4400/8800
MC-12-30	4/8	8800/17600
C2-LIV	4/8	8800/17600
BUS = C2	5/10	11000/22000

La División de Administración Vial de Oficina de Diagnóstico y Evaluación de Pavimentos y Puentes (MTI, 2019, pp. 16-17) refiere que el método más común para la Proyección de Tráfico es la ecuación siguiente:

$$TC = \left[\left(\frac{TPDA_i}{TPDA_0} \right)^{1/n} \right] - 1$$

Ecuación 4. Fuente (MTI, 2019)

Donde:

TC= Tasa de Crecimiento

TPDA_i = Tráfico Promedio Diario Actual.

TPDA₀ = Tráfico Promedio Diario Actual del Año Base.

n= La diferencia de años

Una vez obtenida una serie de tasas de un año con otro se procede a aplicar la media geométrica aplicando la siguiente ecuación.

$$Tf = \left[(TC_1 * TC_2 * \dots * TC_n)^{1/n} \right]$$

Ecuación 5. Fuente (MTI, 2019)

Donde:

Tf: Tasa de Crecimiento Final

Tcn: Diversas tasas de crecimiento obtenidas de la serie histórica, tomando los datos evaluadas en periodos de crecimiento o valores positivos.

n: cantidad de tasas de crecimiento

La media geométrica es una medida de tendencia central que puede utilizarse para mostrar los cambios porcentuales en una serie de números positivos (Barraza Ortiz, Domínguez Solano y Herrera Acosta, 2019).

Como un referente de los valores de tasas de crecimiento general para las estaciones, durante el periodo 2010 -2018 se evaluó que las tasas de crecimiento ponderadas están en rangos desde 3.36% cuando iniciaron las nuevas estaciones hasta un 6% (MTI, 2019, p.18).

Para este artículo se tomó como ejemplo de aplicación práctica el análisis del tramo de carretera San Sebastián de Yalí - El Tigre se encuentra localizado en el departamento de Jinotega, en el corredor San Sebastián de Yalí – La Rica correspondiente a la clasificación NIC-35D con una estación de corta duración código 3503 cuya dependencia es la Estación de Mayor cobertura 1802 (San Marcos Masatepe), mostrado en figura 2 y tabla 4.

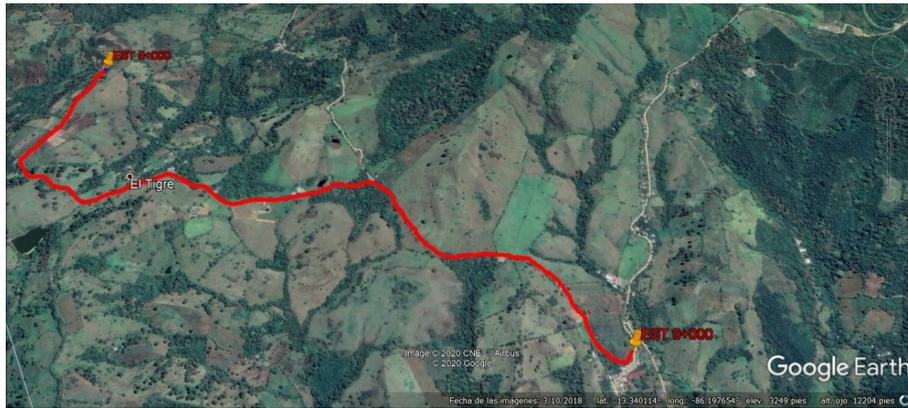


Figura 2. Localización de tramo carretero referencia. Fuente: Google Earth

Tabla 4. Dependencia de estaciones Fuente: Anuario de Aforo de Tráfico año 2018, (MTI, 2018) (MTI, 2019,9. 68).

Estación de mayor cobertura	NIC	No. Estación	Tipo	Pkm	Nombre del tramo
1802 San Marcos - Masatepe	NIC-35B	3507	ECS	164.2	Emp. Chilamatillo - Escuela Miraflores
	NIC-35B	3508	ECS	180.0	Escuela Miraflores- San Sebastián de Yalí (Empalme Quiatas)
	NIC-35C	2605	ECS	166.0	El Jicaral - Santa Rosa del Peñon
	NIC-35D	3503	ECD	206.4	San Sebastián de Yalí - La Rica
	NIC-36	1214	ECD	115.0	Emp. Posoltega - Posoltega
	NIC-37A	714	ECS	145.0	Las Lajitas-Cuapa-Comarca El Zancudo
	NIC-37B	3701	ECS	140.0	Juigalpa - Puerto Diaz
	NIC-38	3801	ECS	164.0	Dos Montes - El Sauce
	NIC-38	2611	ECS	185.6	El Sauce - Río Grande
	NIC-38	3802	ECS	200.0	Río Grande - Achuapa

Los pasos a seguir, sugeridos para la determinación de tasa de crecimiento se van desarrollando en orden secuencial, mismos que se desarrollan como referente. Primer paso: Se realizó un conteo manual clasificado de 12 horas durante una semana completa, realizado el cálculo de TPDS con el promedio de los siete días aforados, mostrados en la tabla 5.

Tabla 5. Conteo Manual Clasificado.

Hora		Vehículos livianos				Vehículos de pasajeros			Vehículos de carga			TOTAL
Inicio	Fin	Motocicletas	Automóvil	Jeep	Camionetas	Microbus	MinuBus	Bus	Liviano de Carga	C2	C3	
06:00	07:00	61	24	1	37	0	0	8	25	41	1	200
07:00	08:00	50	6	0	26	0	0	2	2	4	1	93
08:00	09:00	67	2	0	28	0	0	3	17	0	1	120
09:00	10:00	60	6	0	20	0	0	3	10	15	1	120
10:00	11:00	59	6	1	24	1	0	3	8	4	2	110
11:00	12:00	45	10	0	19	0	0	3	10	4	3	104
12:00	13:00	65	4	0	29	0	0	5	18	22	1	146
13:00	14:00	73	16	1	24	0	0	10	4	22	3	155
14:00	15:00	84	16	1	18	1	0	8	8	11	0	149
15:00	16:00	63	32	3	24	1	0	8	12	26	2	176
16:00	17:00	57	28	2	17	1	0	11	12	41	1	177
17:00	18:00	72	42	0	50	0	0	6	39	41	5	257
TOTAL		756	192	9	316	4	0	70	165	231	21	1807

Fuente: Datos de campo por estudiantes Oliver Rivera, Pedro Hurtado y Luis Hernández

Paso 2. Identificar estaciones de referencias para usar factores de expansión.

Es necesario que se identifique en los anuarios la estación de conteo más cercana que permita a través de aforos previos establecer los factores de ajuste apropiados, en particular los factores días, considerando que en las estaciones principales el factor día y factor semana es de 1, lo cual refiere a que el conteo fue realizado completo por semana.

Basado en los planteado por Anuario de Aforo de Tráfico (MTI, 2019) el TPDA es calculado por la ecuación:

$$TPDA = TP(D) * \text{Factor Día} * \text{Factor Ajuste Ecuación 6. Fuente (MTI, 2019)}$$

Donde TP(D) es el Tránsito promedio diurno, mismo que será equivalente al Tráfico Promedio Diario Semanal cuando se afora la semana completa durante las 12 horas.

En el caso de contar solo 3 días podrán determinarse el TPDA por la expresión: $TPDA = TP(D) * \text{Factor Día} * \text{Factor Semana} * \text{Factor Ajuste}$

Estos factores de ajuste son también un referente para otros diseños como cargas en puentes siendo referidos a “coeficientes de fluctuación diaria, semanal y estacional que posee el Ministerio de Transporte e Infraestructura” (JICA, 2014, p. 2-33).

Si no se encuentra estaciones de referencia, será necesario hacer uso de estaciones de dependencia. Para este ejemplo, dado que el conteo fue realizado en febrero 2021, se podría emplear los factores correspondientes al primer cuatrimestre del año, tabla 6.

Tabla 6. Estación de conteo de mayor cobertura realizada por el MTI. Fuente: Anuario de Aforo de Tráfico año 2018, (MTI, 2018) (MTI, 2019, p. 346).

Camino : NIC-18A	Estación: 1802 Tramo: San Marcos - Masatepe Periodo: 5 Días: 7 Horas: Mes: Mar. Año: 2018 KM: 46.000																
	Grupos	Motos	Vehículos de Pasajeros					Vehículos de carga						Equipo pesado		Otros	Total
			Autos	Jeep	Cam.	McBus <15	MnBus 15-30	Bus 30+	Liv. 2-5 t.	C2 5+ t.	C3	Tx-Sx <=4 e.	Tx-Sx >=5 e.	Cx-Rx <=4 e.	Cx-Rx >=5 e.		
2	3	4	5	6	7	8	10	11	12	13	14	15	16	18	19	21	
TP (D)	5184	1691	364	1156	406	98	176	473	228	58		114				9	9957
Factor día	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
Factor semana	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
Factor ajuste	1.00	0.92	0.88	0.89	0.95	1.00	0.90	0.91	0.90	0.92	1.00	0.81	1.00	1.00	1.00	0.77	
TPDA Ene-Abr	5167	1548	319	1032	386	98	159	431	205	54		93				7	9,499
%TPDA	54.40	16.30	3.36	10.86	4.06	1.03	1.67	4.54	2.16	0.57		0.98				0.07	100.00
% Vehículos Livianos	90.01%					% Vehículos pesados						9.92%				0.07%	100.00%

Misma que contó con tres periodos de aforo en el año, siendo los presentados en tabla 7.

Tabla 7. Factores de expansión por cuatrimestre. Fuente: Anuario de Aforo de Tráfico año 2018, (MTI, 2018) (MTI, 2019, p. 68). Factores del primer cuatrimestre del año Enero – Abril

Descripción	Moto	Carro	Jeep	Camioneta	Micro Bus	Mini Bus	Bus	Liv. 2-5 t.	C2	C3	Tx-Sx <=4	Tx-Sx >=5	Cx-Rx <=4	Cx-Rx >=5	V.A	V.C	Otros
Factor día	1.42	1.47	1.30	1.33	1.37	1.31	1.31	1.21	1.26	1.18	1.00	1.56	1.00	1.00	1.00	1.00	1.13
Factor semana	0.99	1.08	1.09	1.04	0.97	0.97	0.94	0.90	0.85	0.83	1.00	0.84	1.00	1.00	1.00	1.00	0.90
Factor fin de semana	1.02	0.84	0.82	0.92	1.09	1.10	1.21	1.36	1.78	2.01	1.00	1.87	1.00	1.00	1.00	1.00	1.41
Factor expansión a TPDA	1.00	0.92	0.88	0.89	0.95	1.00	0.90	0.91	0.90	0.92	1.00	0.81	1.00	1.00	1.00	1.00	0.77

Factores del segundo cuatrimestre del año Mayo – Agosto

Descripción	Moto	Carro	Jeep	Camioneta	Micro Bus	Mini Bus	Bus	Liv. 2-5 t.	C2	C3	Tx-Sx <=4	Tx-Sx >=5	Cx-Rx <=4	Cx-Rx >=5	V.A	V.C	Otros
Factor día	1.36	1.32	1.20	1.24	1.32	1.24	1.32	1.16	1.21	1.14	1.00	1.19	1.00	1.00	1.00	1.00	1.20
Factor semana	0.98	1.04	1.03	1.02	0.95	0.97	0.91	0.91	0.86	1.00	1.00	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	1.06
Factor fin de semana	1.06	0.90	0.93	0.96	1.16	1.08	1.34	1.30	1.70	1.00	1.00	1.40	1.00	1.00	1.00	1.00	0.88
Factor Expansión a TPDA	1.00	1.20	1.11	1.15	1.06	1.01	1.09	1.08	1.16	0.94	1.00	1.33	1.00	1.00	1.00	1.00	1.44

Factores del tercer cuatrimestre del año septiembre – Diciembre

Descripción	Moto	Carro	Jeep	Camioneta	Micro Bus	Mini Bus	Bus	Liv. 2-5 t.	C2	C3	Tx-Sx <=4	Tx-Sx >=5	Cx-Rx <=4	Cx-Rx >=5	V.A	V.C	Otros
Factor día	1.44	1.41	1.21	1.28	1.34	1.29	1.32	1.23	1.25	1.07	1.00	1.22	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Factor semana	0.99	1.12	1.11	1.03	0.97	0.99	0.98	0.92	0.86	0.89	1.00	0.85	1.00	1.00	1.00	1.00	0.96
Factor fin de semana	1.03	0.79	0.80	0.94	1.10	1.01	1.05	1.30	1.73	1.45	1.00	1.78	1.00	1.00	1.00	1.00	1.10
Factor Expansión a TPDA	1.00	0.93	1.04	0.99	1.00	0.99	1.03	1.02	0.98	1.16	1.00	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99

Al buscar en referencia los anuarios de aforo se encontró que los datos de la estación realizada en el mes de Julio 2015, la cual es la estación que incluye los factores de expansión, mismos que podrán ser empleados para proyectar considerando la representación geográfica, tomando en consideración que es la estación de mayor cobertura empleada, tabla 8.

Tabla 8. Estación de conteo sumaria. Fuente: Fuente: Anuario de Aforo de Tráfico año 2015, (MTI, 2016, p. 383).

Camino : Estación: 3503 Tramo: San Sebastián de Yali La Rica Periodo: L Días: 3 Horas: Mes: julio. Año: 2015 KM: 206.400																			
Grupos	Vehículos de Pasajeros							Vehículos de carga							Equipo pesado			Total	
	Motos	Autos	Jeep	Cam.	McBus <15	MnBus 15-30	Bus 30+	Liv. 2-5 t.	C2 5+ t.	C3	Tx-Sx <=4 e.	Tx-Sx >=5 e.	Cx-Rx <=4 e.	Cx-Rx >=5 e.	V. A.	V. C.	Otros		
	2	3	4	5	6	7	8	10	11	12	13	14	15	16	18	19	21		
TP (D)	157	2	2	136		2	11	10	10										331
Factor día	1.30	1.46	1.29	1.30	1.28	1.19	1.33	1.27	1.24	1.30	1.00	1.24	1.00	1.00	1.00	1.00	1.10		
Factor semana	0.98	1.08	1.03	1.00	0.96	0.97	0.93	0.88	0.88	0.83	1.00	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	0.94		
Factor Expansión	0.91	0.91	0.82	0.91	0.94	1.05	0.99	0.96	0.95	0.78	1.00	1.54	1.00	1.00	1.00	1.00	0.77		
TPDA May-Abr	184	3	2	162		2	14	11	10										388
% TPDA	47.42	0.77	0.52	41.75		0.52	3.61	2.84	2.58										100.00
% Vehículos livianos	90.98%							% Vehículos pesados							9.02%			100%	

Al emplear estos factores y comparar los resultados al usar la estación de corta duración y de mayor cobertura, existe un 27% de diferencia entre ambas perspectivas de estimación en el total de tráfico y en particular 31% para los tipos C2, siendo significativo en las condiciones de carga impuestas, figura 3.

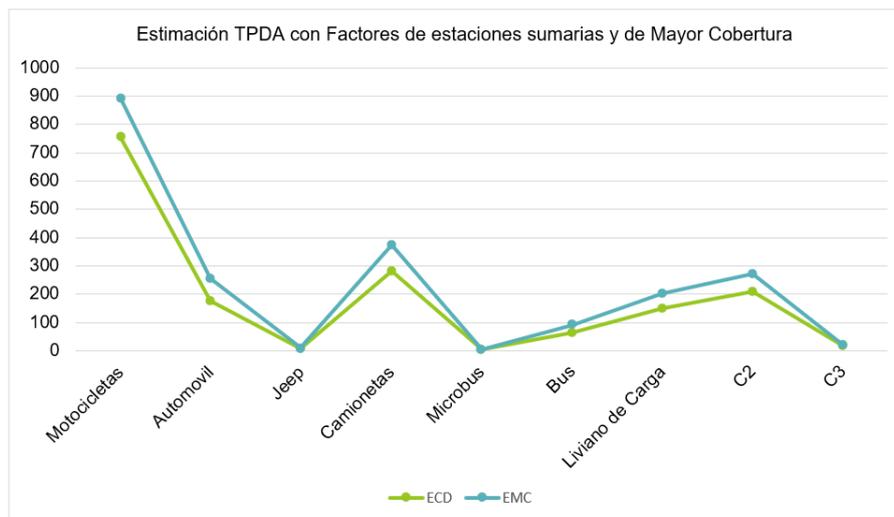


Figura 3. Comparación de estaciones de TPDA por estaciones

Paso 3. Establecer la tasa de crecimiento basado en estación de conteo seleccionada

En este paso, se deberá de analizar el comportamiento de las tasas de crecimiento, de la estación seleccionada para usar los factores de expansión (Factor día, factor semana, factor expansión). En el caso de usar en análisis estaciones de mayor cobertura, se evaluarán por medias geométricas, tal y como se desarrolla a continuación:

Basado en anuarios de aforo de tráfico 2018 (MTI, 2019,p. 176) los históricos de TPDA de estación 3503, de San Sebastián de Yalí. Este análisis se hará y los resultados podrán compararse con los indicadores referenciales del crecimiento de tasas de crecimiento generales, así como en particular, siendo para esta estación de 7.32%

Tabla 9. Datos históricos de estación sumaria por tipo de vehículos

Año	Motos	Autos	Jeep	Cmta.	MnBus 15-30 s.	Bus	Liv. 2-5 Ton	C2 5 + Ton	TPDA
2018	227	4	2	200	2	17	14	12	480
2015	184	3	2	162	2	14	11	10	388
2009	187		10	103		19	2	18	342
2006	33		6	69		17	6	15	146
2002	28	1	12	80		15	16	15	168
1999	24		10	72		22	6	9	143

Fuente: Anuario de Aforo de Tráfico año 2018, (MTI, 2018) (MTI, 2019, p. 176)

De estos datos se evaluará la tasa de crecimiento extrayendo los años y valores de TPDA de tabla 10.

Tabla 10. Datos históricos de TPDA disponibles para estación sumaria

AÑO	TPDA
1999	143
2002	168
2006	146
2009	342
2015	388
2018	480

Aplicando la ecuación se determina las tasas de crecimiento interanuales, evaluando sola las positivas. Es importante recordar que a criterio del consultor o evaluador podrá excluir ciertos años, en los cuales, debido a condiciones atípicas fuera de control como los fenómenos sociopolíticos, podrán ser excluidos de este análisis. A modo de ejemplo la tasa interanual de crecimiento entre los años 2015-2018.

En la siguiente tabla se muestra la tasa de crecimiento por periodos.

Tabla 11. Tasa de crecimiento por periodos

AÑO	TPDA	Período	TC
1999	143	1999-2002	5.52%
2002	168	2002-2006	-3.45%
2006	146	2006-2009	32.81%
2009	342	2009-2015	2.13%
2015	388	2015-2018	7.35%
2018	480		

Basados en estos datos, se tomaron como criterios de exclusión los valores negativos, y las tasas que exceden 5% los valores máximos de referencia de estaciones de Mayor Cobertura acorde a los anuarios estadísticos. Para este caso, se excluye -3.45 y el valor de 32.81 y se dejarán los datos de referencia positivos que se calcularon. Con estos datos se procede a determinar la media geométrica la cual resultará:

$$= 4.42 \%$$

Se sugiere que al menos se dispongan de 5 datos de análisis, para ello se podrá usar otros periodos de análisis considerando otro año base de referencia. Para esto se emplearán las relaciones de últimos cinco datos reflejados, así para este ejemplo se usará periodo 2006-2015, 2006-2018 cuyas tasas son:

Por tanto, la tasa de crecimiento a ser empleada será de:

= 6.35 %, valor que corresponde a los rangos promedios de la estación de mayor cobertura. Siendo esta la tasa general de crecimiento, es decir la tasa de crecimiento para todos los vehículos.

Acorde a condiciones de tráfico y tendencias de crecimiento y reducir el efecto del crecimiento desproporcionado entre los vehículos de carga y livianos. Se pueden analizar las tasas de crecimiento promedios registradas como un referente y luego encontrar correlaciones con datos económicos de Producto Interno Bruto y crecimiento poblacional.

En Nicaragua, el Banco Central de Nicaragua, publica anuarios que recogen “información estadística de los principales sectores económicos del país, y permite proporcionar un horizonte general del comportamiento económico” (BCN, 2021). Estas relaciones tratan de establecer relaciones, asociando el tráfico de carga al crecimiento del producto interno bruto y el de pasajeros al transporte considerando propuestas de Díaz (2020), Jordá y Lopez (2020), López y Pardo (2019), Rendón, Hernández y Del Rio, 2019) Berrones, Canos, Sánchez y Martínez (2018), OCDE (2018), Machado (2017), Rodríguez, Mejía y Zapata (2015) y Zamora y Pedraza (2013).

Por lo anterior se establecerán correlaciones entre TPDA y PIB, así como TPDA y POB, calculando las tasas anuales de crecimiento promedio para luego correlacionarlas con resultados de correlaciones generadas en Excel mostrado en tabla 12.

Tabla 12. Tasas de crecimiento de PIB y Población.

AÑO	TPDA	Producto Interno Bruto (PIB)	Tasa de Crecimiento	Población (POB)	Tasa de Crecimiento	IPC
1999	143	26,008.91	2.60%	5,016.89	1.49%	
2002	168	28,087.54	43.42%	5,244.69	1.82%	69.90
2006	146	118,837.71	1.67%	5,637.97	1.24%	95.51
2009	342	124,907.70	5.28%	5,850.50	1.14%	131.86
2015	388	170,093.16	1.74%	6,262.71	1.08%	190.34
2018	480	179,107		6,467.70		214.76

Tasas promedio

2.82%

1.36%

Nota: La tasa de crecimiento de PIB del periodo

La tasa de crecimiento fue calculada con el promedio de las tasas de crecimiento de los años en estudio, figura 4.

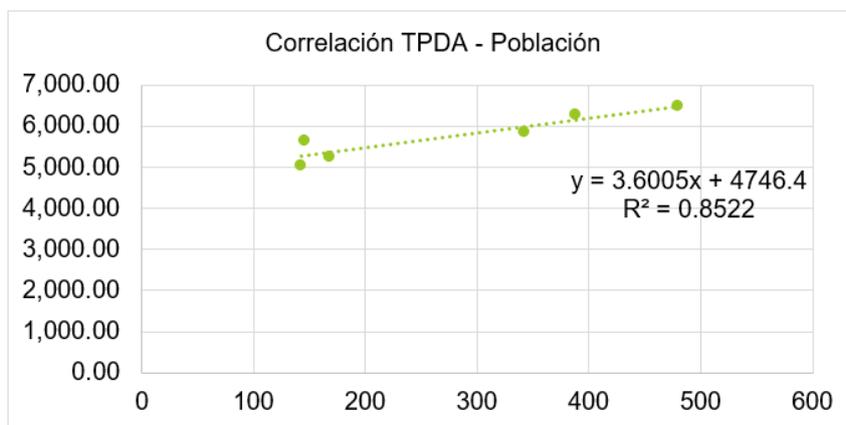
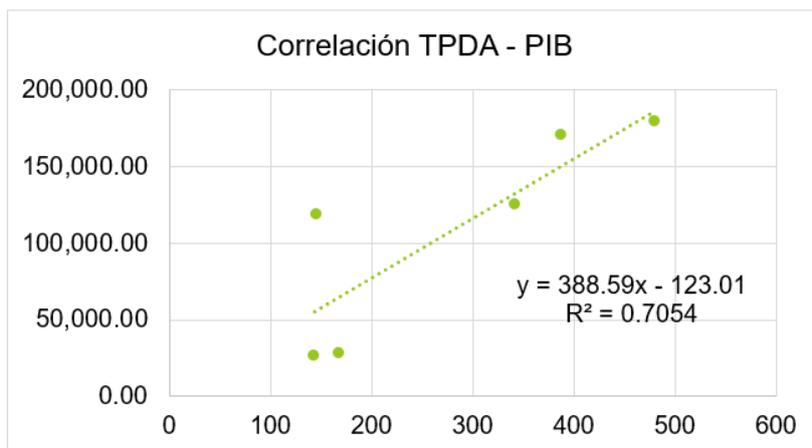


Figura 4. Correlaciones entre TPDA y datos macroeconómicos

Aunque los valores de coeficientes de ajuste derivados de las correlaciones son mayores de 0.5, se genera un modelo matemático basado en transformaciones de logaritmo natural para evaluar el valor de pendiente e intentar a partir de tasa media de crecimiento para población y PIB multiplicar por coeficiente de ajuste relación de pendiente generado. Al generar este modelo, tabla 13 y figura 5.

Tabla 13. Logaritmos naturales de datos de TPDA, PIB y Población.

AÑO	LT TPDA	LN PIB	LN POB
1999	4.96	10.17	8.52
2002	5.12	10.24	8.56
2006	4.98	11.69	8.64
2009	5.83	11.74	8.67
2015	5.96	12.04	8.74
2018	6.17	12.10	8.77

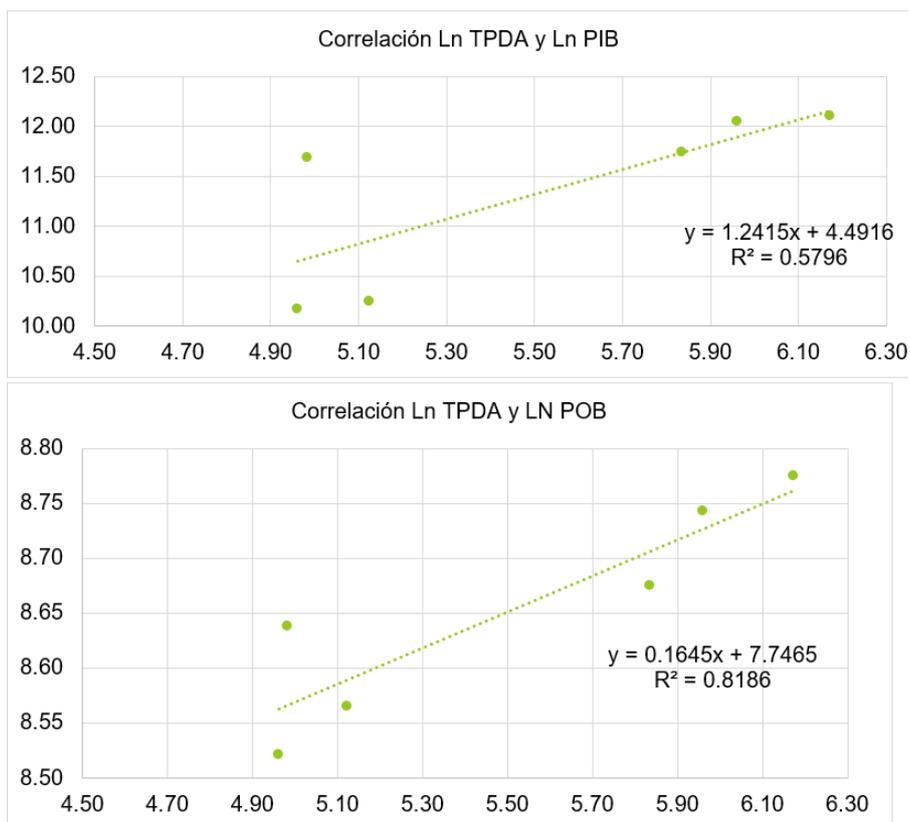


Figura 5. Correlaciones entre LN TPDA y datos macroeconómicos aplicando LN.

Se debe de escoger los valores más lógicos de pendientes (elasticidades) y multiplicar por las tasas obtenidas. Estos resultados se presentan en la tabla 14.

Tabla 14. Tasas de crecimiento con correlaciones

	Valor de pendiente		
Correlación TPDA - PIB	388.59	Correlación TPDA - Población	3.6
Correlación Ln TPDA y Ln PIB	1.2415	Correlación Ln TPDA y LN POB	0.1645
Tasa de crecimiento = Tasa promedio * elasticidad	$2.82 * 1.2415 = 3.5\%$		$1.36 * 3.6 = 4.9\%$

Si los valores son lógicos en rangos de variación establecidos, podrán ser usados las tasas. Por tanto, para este caso se designa:

Tasa de crecimiento general, igual a tasa de crecimiento vehículos livianos de 6.35%, tasa de crecimiento para transporte de carga 3.5% y para transporte de pasajeros 4.9 %.

En nuevas carreteras, tal y como lo refiere Cal y Mayor (2018) debe ser considera el tráfico generado, que “consta de aquellos viajes vehiculares, distintos a los del transporte público, que no se realizarían si no se construye la nueva carretera (p. 220)”, el cual incorporará análisis y transformación de datos de producción a

vehículos pudiendo estar en valores de 30% adicional al tráfico actual. Para este artículo no se hace referencia a la determinación de tráfico, dado que no es una nueva carretera, así como tampoco al cálculo de ESAL.

CONCLUSIONES

Para calcular el TPDA a partir de conteo de Tráfico Promedio Semanal se debe de multiplicar por factor día y factor temporada de los anuarios estadísticos de la estación de referencia seleccionada. Si el conteo es de solo tres días, recomendados el martes, miércoles y jueves, se deberá de multiplicar por factor día, factor semana y factor temporada.

De los anuarios estadísticos publicados por el MTI tomando en consideración los últimos cinco años, es necesario seleccionar los factores de expansión. Se debe seleccionar las estaciones de referencia cercanas a la estación de conteo. De no existir una estación referencial cercana, deberá hacer uso de estaciones de dependencia para para estimar el TPDA considerando el periodo de conteo. Para dar más sustento a las tasas de crecimiento, si los datos históricos lo permiten, podrá calcular los crecimientos promedios anuales, siendo un referente para la estimación.

Al emplear factores de expansión para estaciones de dependencia deberá de ser empleado el correspondiente al cuatrimestre que incluye el mes en el que este fue realizado. Para determinar la tasa de crecimiento a emplear, se debe analizar el comportamiento de la estación de corta duración o sumario de la cual se obtuvieron los factores de expansión para determinar el Tráfico Promedio Diario Anual.

Se debe de evaluar las tasas de crecimiento de tráfico acorde a tasa geométricas de crecimiento con al menos tres intervalos, tomando como referencia los crecimientos históricos consistentes de las estaciones de mayor cobertura siendo estos en rangos de 3-6%. En este caso particular del periodo 2010 al 2018 para la Estación de Mayor Cobertura (ECM), San Marcos – Masatepe es de 6.78%.

Es requerido que se continúen realizando esfuerzos para determinar las cargas reales actuantes sobre las estructuras de pavimentos, debiendo evaluar la distribución normalizada por ejes derivado a la sobrecarga y amplia variedad de la composición de flota vehicular en el país. Además, se deben establecer las estaciones de aforo o conteos manuales clasificados al menos 2 km alejados de zonas urbanas para evitar el efecto de repetición de ciclos de tránsito y efectos por movimientos de área urbana.

REFERENCIAS

- Aragón, A., Hurtado, N., Torres, E. y Arévalo, A. (2012). *Propuesta de los factores camión y espectros de carga para diseño de estructura de pavimento en las carreteras de Nicaragua*. Universidad Nacional de Ingeniería. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/250141463.pdf>
- Ashhad, T., Cabrera, F. y Roa, O. (2021). Análisis del congestionamiento vehicular para el mejoramiento de vía principal en Guayaquil-Ecuador. *Gaceta Técnica*, 2, 1–14. Recuperado de <https://www.redalyc.org/journal/5703/570363740001/html/index.html>
- Barraza Ortiz, E. E., Domínguez Solano, L. D. y Herrera Acosta, R. J. (2019). Cálculo del índice de capacidad de procesos usando media geométrica. *Investigación e Innovación En Ingenierías*, 7(2), 86–95. <https://doi.org/10.17081/invinno.7.2.2851>
- BCN. (2021). Cuadros de Anuario de Estadísticas Macroeconómicas (1960 – 2019).
- Berrones, L., Canos, P., Sánchez, D. y Martínez, J. (2018). Entregas tardías o incorrectas en el autotransporte de carga y su relación con las condiciones laborales de los choferes: Un modelo de regresión logística. *Nova Scientia*, 10(20), 413–441. <https://doi.org/10.21640/ns.v10i20.1063>
- Cal y Mayor, R. C.J. (2018). *Ingeniería de tránsito Fundamentos y aplicaciones* (Novena edi). México: Alfaomega Grupo Editor.

- Díaz, O. (2020). Contribución del transporte aéreo a la conectividad territorial. El caso de Colombia. *EURE*, 47(140). <https://doi.org/10.7764/EURE.47.140.06>
- JICA. (2014). *Informe del estudio preparatorio para el proyecto de para la construcción del puente paso real en la república de Nicaragua*. Managua. Recuperado de https://www.jica.go.jp/english/our_work/social_environmental/id/america/nicaragua/c8h0vm000095q9e2-att/c8h0vm0000bzcsol.pdf
- Kamplimath, H., Varuna, M., Kumar, V. y Bhargav, Y. (2013). Traffic growth rate estimation using transport demand elasticity method: a case study for national highway-63. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 02(13), 149–154. <https://doi.org/10.15623/ijret.2013.0213026>
- López, C. y Pardo, S. (2019). El transporte de carga terrestre en el comercio internacional. Análisis comparativo entre Bogotá, Colombia y Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. *Ensayos de Economía*, 29(54), 89–114. <https://doi.org/10.15446/ede.v29n54.75022>
- Machado, R. (2017). Crecimiento económico e infraestructura de transportes y comunicaciones en el Perú. *Economía*, 40(79), 9–46. <https://doi.org/10.18800/economia.201701.001>
- MTI. (2007). *Revista de Conteo de Tráfico 2006*. Managua.
- MTI. (2016). *Anuario de Aforo de Tráfico año 2015*. Managua.
- MTI. (2018). *Anuario de Aforo de Tráfico año 2017*. Managua.
- MTI. (2019). *Anuario de Aforo de Tráfico año 2018*. Managua.
- Normas Jurídicas de Nicaragua. Reglamento de ley general de transporte terrestre (2005). Nicaragua. Recuperado de <https://n9.cl/2z7m>
- OCDE. (2018). *Perspectivas económicas de América Latina 2018*. (O. U. 2018, Ed.). Centro de Desarrollo de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos - OECD. <https://doi.org/10.1787/leo-2018-es>
- Rendón, J., Hernández, E. y Del Rio, H. (2019). *Nueva generación de Modelos de transporte a través del uso de BIG DATA Caso San Salvador*. Washington, D.C.: Transportation Research Board. <https://doi.org/10.17226/25519>
- Rodríguez, M., Mejía, M. y Zapata, S. (2015). La causalidad entre el crecimiento económico y la expansión del transporte aéreo: un análisis empírico para Chile. *Revista de Economía Del Rosario*, 18(1), 127–144. <https://doi.org/10.12804/rev.econ.rosario.18.01.2015.04>
- SCT. (2016). *Manual para obtener los Volúmenes de tránsito en carreteras*. México: Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Recuperado de https://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Manuales/manual_volumen_de_transito/Manual_volumenes__2016_v2.pdf
- Sun, L. (2016). LCCA-based design method for asphalt pavement. In *Structural Behavior of Asphalt Pavements* (pp. 549–600). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-849908-5.00008-0>
- Tennoy, A., Tonnesen, A. y Gundersen, F. (2019). Effects of urban road capacity expansion – Experiences from two Norwegian cases. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 69, 90–106. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.01.024>
- Zamora, A. y Pedraza, O. (2013). El transporte internacional como factor de competitividad en el comercio exterior. *Journal of Economics Finance and Administrative Science*, 18(35), 108–118. [https://doi.org/10.1016/S2077-1886\(13\)70035-0](https://doi.org/10.1016/S2077-1886(13)70035-0)