

# Caracterización del tránsito a través de espectros de carga. Caso de estudio: “Vía troncal 15, tramo Valle de la Pascua – El Tigre, Estados Guárico - Anzoátegui, Venezuela”.

## Characterization of the traffic through load spectra. Case study: “Trunk road 15, section Valle de la Pascua - El Tigre, States Guárico - Anzoátegui, Venezuela”.

Araujo, Nómar<sup>1\*</sup>; Briceño, Álvaro<sup>1</sup>; Rondón, Alirio<sup>1</sup>; Castellanos, Jimmy<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Investigación en Ciencia, Tecnología e Ingeniería (GICTI), Departamento de Ingeniería, NURR-ULA, Universidad de Los Andes, Trujillo, Venezuela.

<sup>2</sup>Gerencia de Proyectos PDVSA-Occidente, Venezuela.

\*[nomaraaraujo14@gmail.com](mailto:nomaraaraujo14@gmail.com)

DOI: <https://doi.org/10.53766/CEI/2021.43.02.08>

### Resumen

*La caracterización del tránsito por medio del concepto de espectro de carga, constituye la alternativa de mejor exactitud para representar las cargas de los vehículos pesados de acuerdo a los métodos de análisis y diseño de estructuras de pavimento con enfoque mecanicista. Para diagramar los espectros de carga o histogramas de frecuencia, es necesario conocer la configuración del tipo de vehículo y el peso real por eje, esta información se obtiene de estudios dinámicos in-situ, conocidos por sus siglas WIM (Weight in Motion). En el presente trabajo se propone la caracterización metódica del tránsito pesado del tramo carretero Valle de la Pascua – El Tigre, correspondiente a la Troncal 15 entre los Estados Guárico y Anzoátegui. Para ello, se tomó como referencia un aforo de una estación móvil de pesaje (WIM) de una semana de duración, los datos fueron procesados de acuerdo a cada clase de vehículo y según la configuración del tipo de eje y se obtuvieron los espectros o histogramas de carga por clase de vehículo y por tipo de eje lo que representa la variable tránsito de este tramo carretero. Posteriormente, se aplicó un ajuste estadístico con el uso de funciones de distribución continua, para una simplificación significativa en cuanto al número de parámetros que definen la variable tránsito.*

**Palabras clave:** caracterización del tránsito, espectros de carga, vehículos de carga, eje de carga.

### Abstract

*The characterization of the traffic by means of the concept of load spectrum, constitutes the alternative with the best accuracy to represent the loads of heavy vehicles according to the methods of analysis and design of pavement structures with a mechanistic approach. To plot the load spectra or frequency histograms, it is necessary to know the configuration of the vehicle type and the real weight per axle, this information is obtained from dynamic in-situ studies, known by its acronym WIM (Weight in Motion). This work proposes the methodical characterization of the heavy traffic of the Valle de la Pascua - El Tigre highway section, corresponding to Trunk 15 between the states of Guárico and Anzoátegui. For this, a week-long mobile weighing station (WIM) capacity was taken as reference, the data was processed according to each vehicle class and according to the configuration of the type of axle, and spectra or histograms were obtained load by vehicle class and axle type, which represents the variable traffic of this road section. Subsequently, a statistical adjustment was applied with the use of continuous distribution functions, for a significant simplification regarding the number of parameters that define of the transit variable.*

**Key words:** traffic characterization, load spectra, load vehicles, load axis.

## 1 Introducción

Los métodos tradicionales para diseño de pavimentos con fundamentos empíricos como el AASHTO-93, están basados en correlaciones derivadas de resultados de diferentes tramos de prueba de la pista AASHTO construida en la década de los 50. En este procedimiento, el tránsito pesado conformado por los distintos tipos de vehículos (autobuses y camiones) con diversas configuraciones de ejes de carga (sencillo, dual, tandem y tridem), son caracterizados mediante el número de repeticiones de un eje de referencia (eje patrón) proyectado durante un periodo de servicio. Los factores de equivalencia transforman la carga de un eje cualquiera a un valor equivalente de repeticiones del eje patrón, esta transformación del tránsito definida como ESAL (Equivalent Standard Axle Load), es un indicador de la durabilidad de la estructura del pavimento para un periodo de diseño preconcebido.

Este enfoque, conlleva a definir la participación del tránsito como una variable de alto impacto a la hora de cuantificar el daño causado en el pavimento y concatenado a una determinada pérdida de servicio. En el cálculo del daño, los factores de equivalencia pueden ser distintos dependiendo del tipo de efecto que se desea predecir, considerándose distintos exponentes que dependerán del tipo de deterioro a analizar. Es por ello, que se hace necesario caracterizar la influencia del tránsito con una metodología de mayor eficiencia para interpretar de una mejor manera la afectación de las cargas en la estructura del pavimento.

Tecnologías recientes para el dimensionamiento de espesores de pavimentos con conceptos mecanicista en especial la guía empírico-mecanicista (AASHTO 2004), proponen un enfoque más científico para caracterizar la variable tránsito, como es a través del concepto del espectro de carga, el cual se define como el histograma o distribución estadística de carga para un tipo de eje determinado, un vehículo o un conjunto de ellos. Este procedimiento permite analizar el comportamiento del tránsito con mayor exactitud, ya que los datos del peso real por eje de los vehículos de carga que circula en una carretera, son agrupados en un conjunto determinado para representar con precisión las cargas bien sea por tipo de eje o por tipo de vehículo.

Para obtener los espectros de frecuencia relativa de carga, es necesario el conocimiento de datos precisos del peso (toneladas) en un punto representativo de un tramo carretero por cada eje y por tipo de vehículo. El estudio de tránsito *in situ*, que recopila información del peso por eje de cada vehículo en movimiento, se conoce como WIM por sus siglas en inglés (Weight in Motion), estos estudios dinámicos miden también de forma instantánea la distancia entre sus ejes y velocidad puntual entre otros parámetros de interés. Dependiendo de la cantidad e historial de datos que se tenga, así como de la confiabilidad que se desee en el diseño, la guía empírico-mecanicista (AASHTO 2004) clasifica al tránsito en tres niveles de precisión distintos, ya que en diversas ocasiones no se tienen tantos datos disponibles.

En muchos países latinoamericanos y en el caso particular de Venezuela, muchas veces no se tiene la disponibilidad de una robusta información histórica de datos (WIM) de nuestras carreteras, solo se cuenta con alguna información puntual de estudios temporales, que representan dentro de un cierto nivel de jerarquización la variable tránsito.

En este trabajo se realiza en forma metódica la caracterización del tránsito pesado de acuerdo al enfoque mecanicista para el diseño de pavimentos. Para ello, se tomó como referencia la información de un aforo realizado en un punto del tramo carretero Valle de la Pascua – El Tigre correspondiente a la Troncal 15 entre los Estados Guárico y Anzoátegui. El estudio temporal, fue realizado por la empresa Network Traffic de Venezuela en el año 2010, durante una semana de medición con una estación móvil de pesaje, los datos (WIM) recopilados en hojas de cálculo son procesados de acuerdo a cada clase de vehículo pesado, según la configuración del tipo de eje de carga y agrupados de acuerdo a un intervalo o nivel de carga (Toneladas), para obtener así, los espectros o histogramas de carga que caracterizan la variable tránsito en este tramo carretero.

Posterior a los histogramas de carga diagramados por cada configuración de eje, se aplica un ajuste estadístico con el uso de funciones de distribución continua, ya que ofrecen una simplificación significativa del número de parámetros para una caracterización del tráfico más efectiva y eficiente para el diseño estructural de pavimentos.

## 2 Marco Teórico

### 2.1 Histograma de frecuencia relativa de carga

Es una representación gráfica de una variable en forma de barras, donde la superficie de cada barra representa la frecuencia del nivel de carga por tipo de eje expresada en toneladas. Un espectro de carga o histograma se puede definir como la distribución normalizada de la carga de un tipo de eje dado (Sencillo, dual, tandem o tridem), de un cierto vehículo o conjunto de ellos durante un periodo de tiempo. Este espectro de carga se determina por tipo de eje y por tipo de vehículo. De este modo, los factores de distribución de carga por eje son los porcentajes del total de ejes aplicados, para cada rango de carga.

En la figura 1, se muestra un modelo de un histograma de frecuencia o espectro de carga. En el gráfico, se resalta la curva que une las superficies de las barras y que refleja la distribución de los niveles de carga de la muestra analizada.

Para obtener el espectro de carga se necesita conocer los datos de peso por eje de un estudio WIM (Weight in Motion) en un sitio específico. Los espectros de carga por tipo de eje o por clase de vehículo son representados en forma de barras tal y como se muestra en la figura 1 o comúnmente por la curva que materializa la distribución de frecuencias.

Según la investigación desarrollada por el “Center for Transportation Research The University of Texas at Austin” (Prozzi y col. 2006) con respecto a la caracterización del tránsito

sito para diseño empírico-mecanicista de pavimentos, recomiendan caracterizar la distribución de la carga por eje mediante una función continua en lugar de la función discreta (histogramas). Esta tiene la ventaja significativa de la minimización de parámetros de caracterización del tránsito, disminuir la cantidad de almacenamiento de datos, facilidad y simplicidad para ingresar datos en el proceso de diseño.

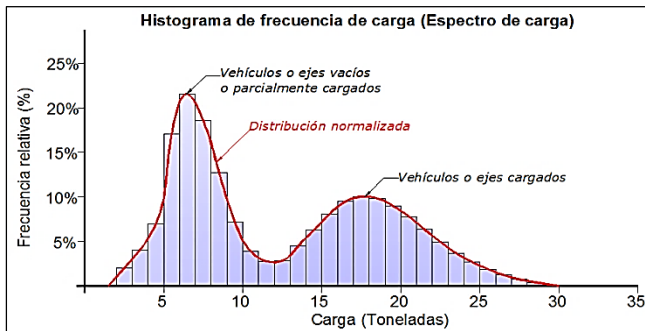


Fig. 1. Histograma de frecuencia de carga (Espectro de carga)

Del estudio estadístico aplicado, determinaron que todas las distribuciones de carga por eje comparten la característica común de ser multimodales y mediante análisis estadístico establecieron que la distribución lognormal mixta es apropiada para describir o ajustar de manera efectiva los espectros de carga. En la figura 2 se muestra gráficamente el ajuste de la distribución multimodal.

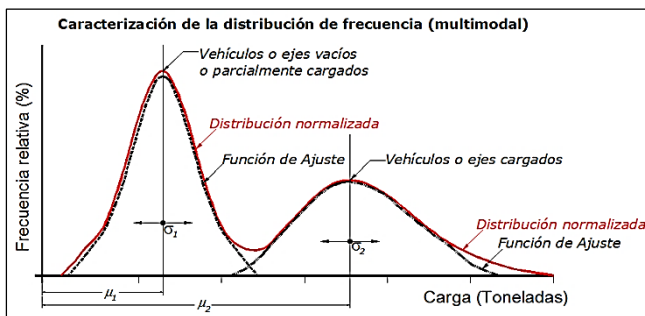


Fig. 2. Distribución multimodal de frecuencia

La distribución específica propuesta tiene la ventaja de ser una solución de forma cerrada para estimar los diversos momentos, esta propiedad facilita la estimación rápida del daño esperado en el pavimento asociado a un espectro de carga de eje dado.

## 2.2 Distribución lognormal mixta

La fórmula para la distribución lognormal mixta tiene la forma mostrada en la ecuación 1, donde:  $\sigma_i$  y  $\mu_i$ , es la desviación estándar y la media respectivamente, así como  $W_i$  representa la proporción, de modo que: ( $W_1+W_2+W_3 = 1$ ), estos parámetros definen la distribución lognormal mixta. Como resultado del ajuste aplicado, un espectro de carga quedará caracterizado y simplificado por tan solo nueve parámetros.

$$f(x) = W_1 \frac{1}{\sqrt{2\pi}X\sigma_1} e^{\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x)-\mu_1}{\sigma_1}\right)^2} + W_2 \frac{1}{\sqrt{2\pi}X\sigma_2} e^{\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x)-\mu_2}{\sigma_2}\right)^2} + (W_1+W_2+W_3) \frac{1}{\sqrt{2\pi}X\sigma_3} e^{\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x)-\mu_3}{\sigma_3}\right)^2} \quad (1)$$

## 3 Procedimiento Metodológico

La temática de este trabajo consiste en sistematizar y procesar los datos referentes al peso medido en los ejes de los diferentes tipos de vehículos de carga y con diversas configuraciones, agrupados cronológicamente según el tiempo de paso por una estación de pesaje. Estos datos son reagrupados y ordenados de acuerdo a la clasificación vehicular para luego extraer la información específica de cada configuración de eje bien sea del tipo: sencillo direccional, sencillo dual, tandem y tridem, con el objetivo de generar gráficamente los espectros de carga que caracterizaran el tránsito de la vía en estudio.

Bajo estas consideraciones, la investigación está enmarcada de acuerdo a la metodología de tipo descriptiva, ya que se realizó un análisis a los datos recopilados de una variable independiente como el peso por eje de los vehículos de carga para la caracterización del tránsito pesado en el tramo carretero estudiado, para lo cual se establecieron cuatro fases fundamentales y que a continuación se describen:

### 3.1 Fase 1: Categorización de los datos (WIM) de acuerdo a la tipología de los vehículos de carga obtenidos de la estación de pesaje.

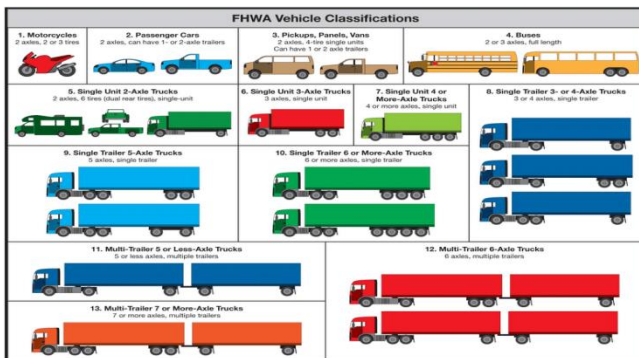
En esta fase se establecen las tipologías de los vehículos y se procesa su ordenamiento para poder extraer información de acuerdo al tipo de eje de carga. Para ello se emplea el registro de datos de un estudio temporal de tráfico clasificado y carga dinámica con una estación provisional de pesaje instalada por la empresa Network Traffic de Venezuela en el tramo vial Valle de la Pascua – El Tigre, carretera Troncal 15 entre los Estados Guárico y Anzoátegui. La captura de datos (WIM) tuvo una duración de 7 días continuos (1 semana) durante las 24 horas, el proceso de medición inició el día viernes 25/06/2010 a las 00:00 y culminó el jueves 01/07/2010 a las 23:59. Se realizó en un solo sentido de la vía en la dirección Valle de la Pascua - El Tigre, se capturaron los datos de una semana completa (5 días laborales y 2 días de fin de semana) y se realizó el aforo de los vehículos pesados de 2 o más ejes, contabilizándose un total de 6996 vehículos de carga registrados durante todo el proceso de medición.

En la tabla 1, se muestra parte de la información tabulada de la estación de pesaje, los vehículos de carga están categorizados en clases de acuerdo al criterio de la "Federal Highway Administration" (FHWA). En la figura 3, se muestra la configuración de los vehículos de carga según la clase asignada.

**Tabla 1.** Datos tabulados por la estación de pesaje de los vehículos de carga ordenados cronológicamente según el tiempo de medición.


Fecha y Hora	H.	Ejes		Clases	FHWA	DISTANCIAS ENTRE EJES (m)						PESO POR EJE (Kg)							Peso Total		
		Senc.	Dobles			(Km/h)	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	Eje 1	Eje 2	Eje 3	Eje 4	Eje 5	Eje 6		Eje 7	
25/06/2010 00:21	0	1	5	10	101	3.29	1.63	7.5	1.51	1.86	0	6600	7080	7150	7000	6570	7340	0	0	0	41740
25/06/2010 00:34	0	1	1	4	115	5.27	0	0	0	0	0	3010	3730	0	0	0	0	0	0	0	6740
25/06/2010 00:43	0	1	5	10	100	3.41	1.98	9.87	1.81	1.24	0	5520	5650	5360	5190	5650	5430	0	0	0	32800
25/06/2010 00:46	0	1	1	5	84	6.98	0	0	0	0	0	4900	4610	0	0	0	0	0	0	0	9510
25/06/2010 00:47	0	1	1	5	106	4.45	0	0	0	0	0	1880	1510	0	0	0	0	0	0	0	3190
25/06/2010 00:49	0	1	5	10	89	3.04	1.32	10.6	1.55	1.87	0	5720	5940	5930	5750	5470	5520	0	0	0	34330
25/06/2010 00:50	0	1	4	9	65	3.32	1.57	10.9	1.24	0	0	3450	2250	2250	2240	2240	0	0	0	0	12430
25/06/2010 00:54	0	1	4	9	68	3.27	1.79	11	1.41	0	0	3410	2190	2190	2190	2190	0	0	0	0	12170
25/06/2010 01:03	1	1	1	4	118	6.57	1.2	0	0	0	0	2340	3740	3310	0	0	0	0	0	0	9390
25/06/2010 01:04	1	1	5	10	75	3.01	1.97	8	1.29	1.57	0	6580	6930	6930	6560	7060	6940	0	0	0	41000
25/06/2010 01:05	1	1	1	5	117	3.54	0	0	0	0	0	1910	2000	0	0	0	0	0	0	0	3910
25/06/2010 01:05	1	1	5	10	73	3.38	1.27	12.1	1.22	1.21	0	3680	2590	2570	2570	2590	2610	0	0	0	16610
25/06/2010 01:08	1	1	5	10	91	3.07	1.32	11.1	1.49	1.5	0	3810	2820	2810	2760	2760	2790	0	0	0	17750
25/06/2010 01:12	1	1	5	10	109	3.25	1.95	11.8	1.25	1.77	0	3910	2930	2880	2990	2980	2980	0	0	0	18670
25/06/2010 01:13	1	1	1	5	83	5.03	0	0	0	0	0	2300	2840	0	0	0	0	0	0	0	5140
25/06/2010 01:15	1	1	1	5	72	5.27	0	0	0	0	0	4490	4000	0	0	0	0	0	0	0	8490
25/06/2010 01:17	1	1	1	5	92	7.86	0	0	0	0	0	5200	4920	0	0	0	0	0	0	0	10120
25/06/2010 01:17	1	1	1	4	109	6.93	1.43	0	0	0	0	4970	8340	6650	0	0	0	0	0	0	19960
25/06/2010 01:20	1	1	4	9	73	3.39	1.63	6.17	1.81	0	0	6850	6960	7340	7710	7130	0	0	0	0	35990
25/06/2010 01:20	1	1	1	5	108	7.16	0	0	0	0	0	4180	3390	0	0	0	0	0	0	0	7570
25/06/2010 01:22	1	1	5	10	81	3.32	1.37	11.5	1.61	1.69	0	3900	2900	2890	2890	2950	2850	0	0	0	18380
25/06/2010 01:23	1	1	5	10	70	3.18	1.94	10.4	1.26	1.37	0	3530	2390	2390	2390	2390	2370	0	0	0	15450
25/06/2010 01:26	1	1	1	4	94	7.3	1.77	0	0	0	0	4800	7520	6380	0	0	0	0	0	0	18500

Fuente: Departamento de Estudios de Tráfico, Empresa Network Traffic de Venezuela.



**Fig. 3.** Tipos de vehículos según la Federal Highway Administration (FHWA).

En el pesaje total se registró el paso de vehículos de carga clase 4, 5, 6, 8, 9 y 10, comprobándose que estas tipologías de camiones son las comunes en nuestro país. En las figuras 4 a la 12 se presentan a modo de fichas, el registro de la información por tipo de vehículo y según la configuración de eje, además se adjunta en cada tipología la designación de acuerdo a la norma venezolana (COVENIN 2402:1997).

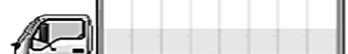
CLASE FHWA	TIPOLOGIA DEL VEHICULO CLASE 4 (2 EJES)			CLASIF. COVENIN 2402:1997
CLASE 4: BUS 2 EJES				2: Camión de dos ejes.
TIPO DE EJE	EJE SENCILLO DIR. (2 RUEDAS)		EJE SENCILLO DUAL (4 RUEDAS)	
CONTEO DE EJES:	250		250	
DISTANCIA ENTRE EJES:	4.00m - 7.34m			

**Fig. 4.** Características del vehículo clase 4, Bus de 2 ejes.

CLASE FHWA	TIPOLOGIA DEL VEHICULO CLASE 4 (3 EJES)			CLASIF. COVENIN 2402:1997
CLASE 4: BUS 3 EJES				
TIPO DE EJE	EJE SENCILLO DIR. (2 RUEDAS)		EJE TANDEM (8 RUEDAS)	
CONTEO DE EJES:	150		150	
DISTANCIA ENTRE EJES:	6.54m - 9.24m			
DISTANCIA EJES (TANDEM):			1.20m - 2.00m	


3: Camión de tres ejes.

**Fig. 5.** Características del vehículo clase 4, Bus de 3 ejes.

CLASE FHWA	TIPOLOGIA DEL VEHICULO CLASE 5 (2 EJES)			CLASIF. COVENIN 2402:1997
CLASE 5: CAMION RIGIDO DE 2 EJES				
TIPO DE EJE	EJE SENCILLO DIR. (2 RUEDAS)		EJE SENCILLO DUAL (4 RUEDAS)	
CONTEO DE EJES:	3980		3980	
DISTANCIA ENTRE EJES:		3.50m - 8.50m		

2: Camión de dos ejes.

**Fig. 6.** Características del vehículo clase 5, Camión Rígido de 2 ejes.

CLASE FHWA	TIPOLOGÍA DEL VEHICULO CLASE 6 (3 EJES)		CLASIF. COVENIN 2402:1997
CLASE 6: CAMION RIGIDO DE 3 EJES			3: Camión de tres ejes.
TIPO DE EJE	EJE SENCILLO DIR. (2 RUEDAS)	EJE TANDEM (8 RUEDAS)	
CONTEO DE EJES:	73	73	
DISTANCIA ENTRE EJES:	4.20m - 9.17m		
DISTANCIA EJES (TANDEM):	0.61m - 1.79m		


**Fig. 7.** Características del vehículo clase 6, Camión Rígido de 3 ejes.

CLASE FHWA	TIPOLOGIA DEL VEHICULO CLASE 8 (3 EJES)				CLASIF. COVENIN 2402:1997
CLASE 8: CAMION ARTICULADO DE 3 EJES					251
TIPO DE EJE	EJE SENCILLO DIR. (2 RUEDAS)	EJE SENCILLO DUAL (4 RUEDAS)		EJE SENCILLO DUAL (4 RUEDAS)	
CONTEO DE EJES:	62	62		62	
DISTANCIA ENTRE EJES:	EJES: 3.00m - 3.49m	7.21m - 7.99m			


**Fig. 8.** Características del vehículo clase 8, Camión Articulado de 3 ejes.

CLASE FHWA	TIPOLOGIA DEL VEHICULO CLASE 8 (4 EJES)				CLASIF. COVENIN 2402:1997
CLASE 8: CAMION ARTICULADO DE 4 EJES					252
TIPO DE EJE	EJE SENCILLO DIR. (2 RUEDAS)	EJE SENCILLO DUAL (4 RUEDAS)		EJE TANDEM (8 RUEDAS)	
CONTEO DE EJES:	93	93		93	
DISTANCIA ENTRE EJES:		3.00m - 3.49m	6.02m - 8.00m		
DISTANCIA EJES (TANDEM):		1.20m - 1.99m			

**Fig. 9.** Características del vehículo clase 8, Camión Articulado de 4 ejes.

CLASE FHWA	TIPOLOGIA DEL VEHICULO CLASE 8 (4 EJES)			CLASIF. COVENIN 2402:1997
CLASE 8: CAMION ARTICULADO DE 4 EJES				351
TIPO DE EJE	EJE SENCILLO DIR. (2 RUEDAS)	EJE TANDEM (8 RUEDAS)	EJE SENCILLO DUAL (4 RUEDAS)	
CONTEO DE EJES:	91	91	91	
DISTANCIA ENTRE EJES:	3.00m - 3.49m	8.00m - 13.49m		
DISTANCIA EJES (TANDEM):	1.22m - 1.99m			

**Fig. 10.** Características del vehículo clase 8, Camión Articulado de 4 ejes.

CLASE FHWA	TIPOLOGIA DEL VEHICULO CLASE 9 (5 EJES)				CLASIF. COVENIN 2402:1997
CLASE 9: CAMION ARTICULADO DE 5 EJES					352
TIPO DE EJE	EJE SENCILLO DIR. (2 RUEDAS)	EJE TANDEM (8 RUEDAS)		EJE TANDEM (8 RUEDAS)	
CONTEO DE EJES:	938	938		938	
DISTANCIA ENTRE EJES:	3.00m - 3.50m		6.00m - 11.50m		
DISTANCIA EJES (TANDEM):		1.20m-2.00m		1.20m-2.00m	

**Fig. 11.** Características del vehículo clase 9, Camión Articulado de 5 ejes.

CLASE FHWA	TIPOLOGIA DEL VEHICULO CLASE 10 (6 EJES)				CLASIF. COVENIN 2402:1997
CLASE 10: CAMION ARTICULADO DE 6 EJES					
TIPO DE EJE	EJE SENCILLO DIR. (2 RUEDAS)	EJE TANDEM (8 RUEDAS)		EJE TRIDEM (12 RUEDAS)	
CONTEO DE EJES:	1359	1359		1359	
DISTANCIA ENTRE EJES:	3.00m - 3.50m	7.00m - 12.49m			
DISTANCIA EJES (TANDEM):	1.20m - 2.00m				
DISTANCIA EJES (TRIDEM):	1.20m - 2.00m		1.20m - 2.00m		

**Fig. 12.** Características del vehículo clase 10, Camión Articulado de 6 ejes.

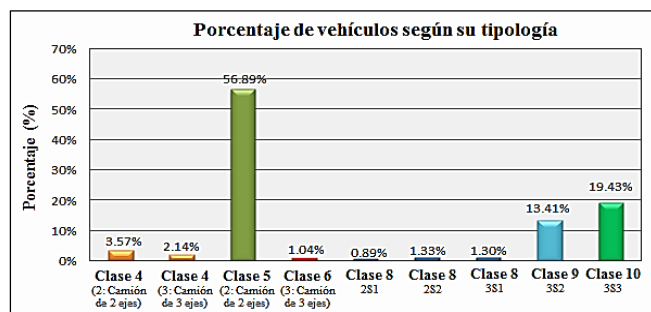


En esta primera fase, se procesa toda la información en hojas de cálculo y se agrupan los datos según su tipología, de ella se extraen parámetros de interés como el número de vehículos de carga de acuerdo a cada conjunto de clase. En la tabla 2, se muestran los valores obtenidos según el tipo de vehículo del estudio de tránsito procesado.

**Tabla 2.** Cantidad de vehículos por clases FHWA y según su tipología.

Clase (FHWA)	Clasificación COVENIN	Cantidad: (Vehículos)	Porcentaje: (%)
4	2: Camión de dos ejes	250	3.57
	3: Camión de tres ejes	150	2.14
5	2: Camión de dos ejes	3980	56.89
6	3: Camión de tres ejes	73	1.04
	2S1	62	0.89
8	2S2	93	1.33
	3S1	91	1.30
9	3S2	938	13.41
10	3S3	1359	19.43
<b>Total de Vehículos:</b>		<b>6996</b>	<b>100</b>

En la figura 13, se ilustran los porcentajes del tránsito pesado medido por la estación, se observa una participación dominante del vehículo clase 5 (2: Camión rígido de 2 ejes) con respecto a las demás categorías, sin embargo, la presencia de vehículos clase 9 (3S2) y 10 (3S3) es significativa con respecto a las demás clases evaluadas.



**Fig. 13.** Porcentaje de vehículo según su tipología y clase.

### 3.2 Fase 2: Categorización de los datos (WIM) de acuerdo a la configuración de los ejes: sencillo direccional, sencillo dual, tandem, tridem.

Luego del ordenamiento de los datos según la clase (FHWA) de los vehículos de carga, se realiza una reorganización de la información para determinar las cantidades de transitabilidad por la estación de pesaje de acuerdo a la configuración del tipo de eje, para ello se procesan los datos considerando los ejes según la categorización mostrada en las figuras 4 a la 12. La representación del tránsito por tipo de eje se requiere para poder sistematizar la incidencia de las cargas, en la tabla 3, se muestran los resultados del tránsito según el tipo y número de eje.

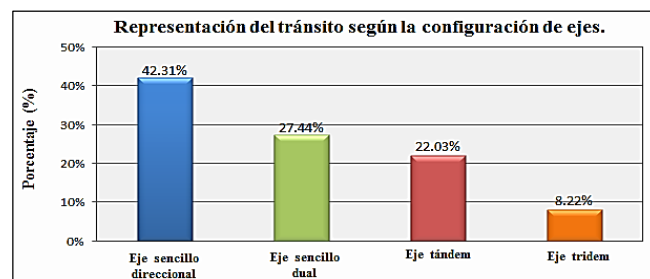
El eje sencillo direccional (2 ruedas) es típico para todos

los vehículos de carga, por tanto, su cantidad es igual al número total de camiones aforados. El eje sencillo dual (4 ruedas) está configurado en los vehículos clase 4 de dos ejes, en todos los camiones clase 5 y en los vehículos clase 8 de tres ejes y de cuatro ejes. El eje tandem (8 ruedas) está establecido en los vehículos clase 4 de tres ejes, en todos los camiones clase 6, también en los vehículos clase 8 de tres ejes y en los de clase 9 y 10. El eje tridem es uso exclusivo de los vehículos clase 10, por tanto, su cantidad coincide con el número de camiones de este tipo. El número de ejes medidos se totaliza en 16535 elementos, cada uno con diferente proporción de carga.

**Tabla 3.** Representación del tránsito según la configuración de ejes

Tipo de Eje	Nº de Ruedas	Cantidad: (Ejes)	Porcentaje: (%)
Sencillo Direccional	2	6996	42.31
Sencillo Dual	4	4538	27.44
Tándem	8	3642	22.03
Tridem	12	1359	8.22
<b>Total de Ejes:</b>		<b>16535</b>	<b>100</b>

En la figura 14, se representa la participación porcentual por cada tipo eje según el tránsito pesado evaluado en la estación de medición.



**Fig. 14.** Representación del tránsito según la configuración de ejes.

### 3.3 Fase 3: Clasificación del peso por eje según los rangos de carga.

Luego de la categorización de la información del tránsito pesado por clases y según la configuración de ejes, se procede a establecer los rangos de carga para la representación de los espectros de carga.

Los rangos de carga definen los intervalos que son aplicados en la jerarquización según el peso (toneladas) medido por cada eje, estas magnitudes se indican en la tabla 4, y corresponden a los valores utilizados en la guía mecanicista para diseño de pavimentos (AASHTO 2004).

Como se puede observar en la tabla 4, los rangos de carga están estandarizados para el caso de ejes sencillos en intervalos de 1 kips (0.45 ton), para los ejes tandem los intervalos corresponden a 2 kips (0.90 ton) y para los ejes tridem los rangos varían en 3 kips (1.35 ton). De acuerdo a estos parámetros se determina el número de ejes que transitan por la estación de pesaje con un valor de carga que este dentro de

cada rango, categorizando de esta manera los ejes de los vehículos por niveles de carga.

**Tabla 4.** Rango de carga para cada tipo de eje.

Eje Sencillo (Ton)	Prom (Ton)	Eje Tándem (Ton)	Prom (Ton)	Eje Tridem (Ton)	Prom (Ton)
0.00	1.35	0.0	2.7	0	5.4
1.35	1.80	2.7	3.6	5.4	6.75
1.80	2.25	3.6	4.5	6.75	8.1
2.25	2.70	4.5	5.4	8.1	9.45
2.70	3.15	5.4	6.3	9.45	10.8
3.15	3.60	6.3	7.2	10.8	12.15
3.60	4.05	7.2	8.1	12.15	13.5
4.05	4.50	8.1	9.0	13.5	14.85
4.50	4.95	9.0	9.9	14.85	16.2
4.95	5.40	9.9	10.8	16.2	17.55
5.40	5.85	10.8	11.7	17.55	18.9
5.85	6.30	11.7	12.6	18.9	20.25
6.30	6.75	12.6	13.5	20.25	21.6
6.75	7.20	13.5	14.4	21.6	22.95
7.20	7.65	14.4	15.3	22.95	24.3
7.65	8.10	15.3	16.2	24.3	25.65
8.10	8.55	16.2	17.1	25.65	27
8.55	9.00	17.1	18.0	27	28.35
9.00	9.45	18.0	18.9	28.35	29.7
9.45	9.90	18.9	19.8	29.7	31.05
9.90	10.35	19.8	20.7	31.05	32.4
10.35	10.80	20.7	21.6	32.4	33.75
10.80	11.25	21.6	22.5	33.75	35.1
11.25	11.70	22.5	23.4	35.1	36.45
11.70	12.15	23.4	24.3	36.45	37.8
12.15	12.60	24.3	25.2	37.8	39.15
12.60	13.05	25.2	26.1	39.15	40.5
13.05	13.50	26.1	27.0	40.5	41.85
13.50	13.95	27.0	27.9	41.85	43.2
13.95	14.40	27.9	28.8	43.2	44.55
14.40	14.85	28.8	29.7	44.55	45.9
14.85	15.30	29.7	30.6	45.9	47.25
15.30	15.75	30.6	31.5	47.25	48.6
15.75	16.20	31.5	32.4	48.6	49.95
16.20	16.65	32.4	33.3	49.95	51.3

(Fuente: Guía mecanicista para diseño de pavimentos AASHTO 2004)

**Tabla 5.** Número de ejes sencillos direccional por cada nivel de carga.

Rango (Ton)	Prom (Ton)	Clase					
		4	5	6	8	9	10
0.00-1.35	0.68	0	361	0	0	0	0
1.35-1.80	1.58	24	518	0	0	0	0
1.80-2.25	2.03	42	508	0	0	0	0
2.25-2.70	2.48	68	621	0	0	0	0
2.70-3.15	2.93	59	590	0	0	0	0
3.15-3.60	3.38	56	460	5	16	46	92
3.60-4.05	3.83	37	101	6	26	96	152
4.05-4.50	4.28	34	98	3	20	97	140
4.50-4.95	4.73	34	85	5	16	85	137
4.95-5.40	5.18	28	114	4	29	102	128
5.40-5.85	5.63	9	87	6	19	93	139
5.85-6.30	6.08	8	80	6	22	102	143
6.30-6.75	6.53	1	57	10	25	101	153
6.75-7.20	6.98	0	57	9	22	96	152
7.20-7.65	7.43	0	49	13	34	96	123
7.65-8.10	7.88	0	45	6	17	24	0
8.10-8.55	8.33	0	58	0	0	0	0
8.55-9.00	8.78	0	52	0	0	0	0
9.00-9.45	9.23	0	34	0	0	0	0
9.45-9.90	9.68	0	5	0	0	0	0
9.90-10.35	10.13	0	0	0	0	0	0
Total por clase:		400	3980	73	246	938	1359
Total:		6996					

En la tabla 5, se muestra las cantidades de ejes sencillos direccional por cada nivel de carga y por cada conjunto de clase, por ejemplo, en la tercera fila se indica que 42 ejes sencillos direccionales del vehículo clase 4 transitaban con un nivel de carga en el rango de [1.80 – 2.25] toneladas y 508 ejes direccionales del vehículo clase 5 transitaban en el

mismo umbral de carga. De forma análoga se determinan los valores de repetición por nivel de carga para los demás ejes considerados.

**Tabla 6.** Número de ejes sencillos dual por cada nivel de carga.

Rango (Ton)	Prom (Ton)	Clase					
		4	5	6	8	9	10
0.00-1.35	0.68	17	361	0	0	0	0
1.35-1.80	1.58	30	518	0	0	0	0
1.80-2.25	2.03	34	508	0	6	0	0
2.25-2.70	2.48	33	621	0	22	0	0
2.70-3.15	2.93	29	590	0	24	0	0
3.15-3.60	3.38	9	460	0	12	0	0
3.60-4.05	3.83	12	101	0	19	0	0
4.05-4.50	4.28	9	98	0	14	0	0
4.50-4.95	4.73	10	85	0	28	0	0
4.95-5.40	5.18	14	114	0	22	0	0
5.40-5.85	5.63	6	87	0	16	0	0
5.85-6.30	6.08	4	80	0	16	0	0
6.30-6.75	6.53	9	57	0	15	0	0
6.75-7.20	6.98	7	57	0	21	0	0
7.20-7.65	7.43	5	49	0	22	0	0
7.65-8.10	7.88	4	45	0	21	0	0
8.10-8.55	8.33	5	58	0	20	0	0
8.55-9.00	8.78	9	52	0	18	0	0
9.00-9.45	9.23	1	34	0	8	0	0
9.45-9.90	9.68	3	5	0	4	0	0
9.90-10.35	10.13	0	0	0	0	0	0
Total por clase:		250	3980	0	308	0	0
Total:		4538					

**Tabla 7.** Número de ejes tándem por cada nivel de carga.

Rango (Ton)	Prom (Ton)	Clase					
		4	5	6	8	9	10
0.00-2.70	1.35	0	0	0	0	0	0
2.70-3.60	3.15	0	0	0	0	0	0
3.60-4.50	4.05	0	0	3	4	38	36
4.50-5.40	4.95	0	0	3	12	110	111
5.40-6.30	5.85	0	0	5	16	136	105
6.30-7.20	6.75	14	0	3	8	110	77
7.20-8.10	7.65	17	0	1	10	147	100
8.10-9.00	8.55	12	0	4	11	103	94
9.00-9.90	9.45	9	0	3	15	140	76
9.90-10.80	10.35	16	0	3	7	136	91
10.80-11.70	11.25	14	0	6	14	116	107
11.70-12.60	12.15	16	0	1	10	133	94
12.60-13.50	13.05	14	0	9	14	137	90
13.50-14.40	13.95	11	0	3	7	134	110
14.40-15.30	14.85	21	0	6	15	121	90
15.30-16.20	15.75	6	0	7	12	133	108
16.20-17.10	16.65	0	0	11	13	133	66
17.10-18.00	17.55	0	0	4	12	41	4
18.00-18.90	18.45	0	0	0	4	8	0
18.90-19.80	19.35	0	0	1	0	0	0
19.80-20.70	20.25	0	0	0	0	0	0
Total por clase:		150	0	73	184	1876	1359
Total:		3642					

**Tabla 8.** Número de ejes tridem por cada nivel de carga.

Rango (Ton)	Prom (Ton)	Clase					
		4	5	6	8	9	10
0.00-5.40	2.70	0	0	0	0	0	0
5.40-6.75	6.08	0	0	0	0	0	36
6.75-8.10	7.43	0	0	0	0	0	114
8.10-9.45	8.78	0	0	0	0	0	91
9.45-10.80	10.13	0	0	0	0	0	86
10.80-12.15	11.48	0	0	0	0	0	101
12.15-13.50	12.83	0	0	0	0	0	92
13.50-14.85	14.18	0	0	0	0	0	83
14.85-16.20	15.53	0	0	0	0	0	89
16.20-17.55	16.88	0	0	0	0	0	88
17.55-18.90	18.23	0	0	0	0	0	111
18.90-20.25	19.58	0	0	0	0	0	93
20.25-21.60	20.93	0	0	0	0	0	101
21.60-22.95	22.28	0	0	0	0	0	101
22.95-24.30	23.63	0	0	0	0	0	112
24.30-25.65	24.98	0	0	0	0	0	58
25.65-27.00	26.33	0	0	0	0	0	3
27.00-28.35	27.68	0	0	0	0	0	0
<b>Total por clase:</b>		<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1359</b>
<b>Total:</b>					<b>1359</b>		

Categorizar todos los tipos de ejes por niveles de carga y por clase de vehículo, permite determinar los porcentajes de frecuencia relativa por cada rango, esta información es requerida en la fase metódica siguiente para poder graficar los espectros de carga para la caracterización de la variable tránsito en el diseño y evaluación de estructuras de pavimento con principios mecanicistas.

#### 4 Discusión y Resultados.

Los diagramas o espectros de carga se pueden generar de manera independiente para cada clase de vehículo o por cada tipo de eje, dependiendo del tipo de análisis que se quiera implementar. Una forma estratégica de visualizar los resultados para el diseño y evaluación de pavimentos es generar espectros de carga por cada conjunto de eje, para ello, se incluyen todos los ejes de un determinado tipo de la totalidad de los vehículos de carga medidos en la estación de pesaje sin discretizar por clase. Esta manera representa la mejor caracterización del tránsito vehicular en términos de lo que se denomina espectros de carga de cada uno de los diferentes tipos de ejes, además para fines de diseño mecanicista de estructuras de pavimentos, es la forma idónea de caracterizar la variable tránsito.

En la tabla 3, se muestra la totalidad de ejes aforados por cada tipo o configuración, como se puede apreciar el análisis se realiza considerando solo cuatro tipos de ejes como son: sencillo direccional (2 ruedas), sencillo dual (4 ruedas), tándem (8 ruedas) y tridem (12 ruedas). Todos los datos fueron procesados en hojas de cálculo para determinar la frecuencia relativa normalizada por cada tipo de eje.

Cada histograma de carga diagramado, se aproxima numéricamente empleando la ecuación de ajuste (1), configurada por la suma de tres funciones lognormal y que resulta en una ecuación mixta continua que se aproxima en gran medida a la función discreta (histograma). La bondad del ajuste se

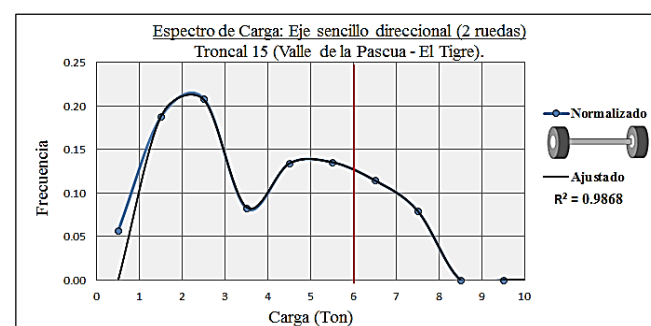
evalúa mediante el coeficiente  $R^2$  adoptado como criterio de contraste. Las funciones continuas con parámetros ajustados son válidas para representar los espectros de carga por eje y tienen la ventaja adicional de que, como máximo, se requieren nueve parámetros para su definición, a diferencia de los treinta y nueve valores necesarios para los espectros discretos propuestos en el ME Guía de diseño, lo que reduce potencialmente y significativamente el número de datos necesarios o requeridos para especificar la variable tránsito para el diseño y análisis de estructuras de pavimentos.

Es importante tener en consideración los valores de peso legal máximo por tipo de eje para vehículos de carga de acuerdo a la norma venezolana vigente (COVENIN 614:1997). Estos valores límites se indican en la tabla 9, para los ejes de común transitabilidad.

**Tabla 9.** Límite de peso para vehículos de carga en Venezuela.

Norma COVENIN 614:1997		
Límite de peso para vehículos de carga		
Tipo de eje	Nº de ruedas	Peso límite (Ton)
Sencillo Direccional	2	6.0
Sencillo Dual	4	13.0
Tándem	8	20.0
Tridem	12	27.0

En la figura 15, se muestra el espectro de carga (histograma) así como el ajuste numérico aplicado (función continua), obtenidos para el conjunto de ejes sencillos direccionales (2 ruedas) de toda la corriente de tráfico pesado medido. La línea roja vertical indica el límite de peso legal según la norma venezolana vigente para este tipo de eje.



**Fig. 15.** Espectro de carga para eje sencillo direccional (2 ruedas)

Es importante indicar tal y como se puede observar en la figura 15, existe un grupo de ejes sencillos direccionales que circulan por encima del peso límite permitido, es decir, transitan con una carga por eje sencillo mayor a 6 toneladas. El área bajo la curva del espectro debe ser unitaria y representa el 100% de los ejes procesados, por tanto, el porcentaje de ejes que circulan por encima de la carga reglamentaria se obtiene determinando el área de la región a la derecha de la línea roja, en este caso particular el 19.43% de todos los ejes sencillos direccionales circulan con sobrecarga.

Los valores porcentuales máximos permiten identificar los niveles de carga usuales, en la figura 15, el nivel máximo alcanza un aproximado del 21% en un rango de carga de 2 a

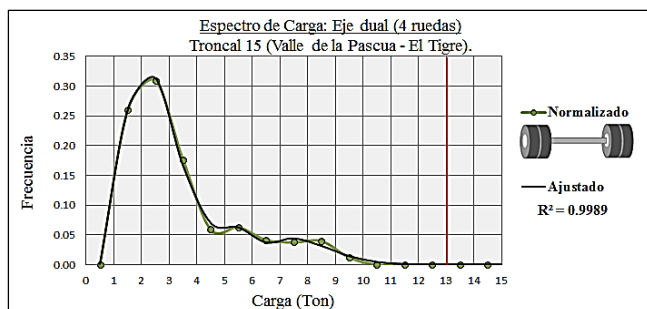
3 toneladas. Los niveles porcentuales máximos o picos de la gráfica, se pueden asociar para selección de los ejes que circulan vacíos o con carga completa.

En la tabla 10 se indican los parámetros que definen el espectro de carga ajustado para el eje sencillo direccional. Además, se muestra el valor ( $R^2 = 0.9868$ ) como indicador de la bondad del ajuste aplicado.

**Tabla 10.** Parámetros de la función de ajuste que define el espectro de carga para eje sencillo direccional (2 ruedas)

Eje sencillo direccional (2 ruedas)		
Peso (W)	Media ( $\mu$ )	Desv. Estándar ( $\sigma$ )
0.273138	1.614646	0.074653
0.509729	0.835283	0.383538
0.217133	1.939300	0.053134
$\Sigma W=1.00$	Valor de $R^2 = 0.9868$	

De forma similar, se realizan los análisis para diagramar la curva de frecuencia para todos los ejes sencillos dual de 4 ruedas. En la figura 16, se muestra el espectro de carga, así como la línea correspondiente al límite de carga máximo permitido, en ella se observa que los valores están a la izquierda del umbral de reglamentación considerándose que no hay presencia de sobrecarga para los ejes tipo dual, el pico de la curva se aproxima al 31% para una carga de 2.5 ton.



**Fig. 16.** Espectro de carga para eje sencillo dual (4 ruedas)

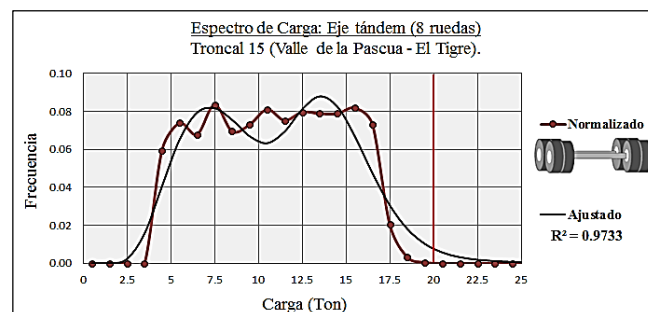
En la tabla 11, se muestran los parámetros que definen el espectro de carga ajustado numéricamente para la caracterización del eje sencillo dual de 4 ruedas.

**Tabla 11.** Parámetros de la función de ajuste que define el espectro de carga para eje sencillo dual (4 ruedas)

Eje sencillo dual (4 ruedas)		
Peso (W)	Media ( $\mu$ )	Desv. Estándar ( $\sigma$ )
0.024633	1.700288	0.001660
0.852576	0.918594	0.433565
0.122791	2.042420	0.160456
$\Sigma W=1.00$	Valor de $R^2 = 0.9989$	

En la figura 18, se muestra el espectro de carga para el conjunto de ejes tipo tandem (8 ruedas). Como se puede observar, existe un comportamiento regular de frecuencia que oscila entre 6.5% y 8.5%, considerándose una ocurrencia promedio de los ejes tandem con diferentes niveles de carga

y todas por debajo del umbral máximo permitido de 20 toneladas, es decir, no se registran sobrecargas importantes en el análisis de estos tipos de ejes, tampoco se aprecian picos determinantes en el espectro de carga, se observa una participación para los ejes tandem entre 5 y 18 toneladas de carga.

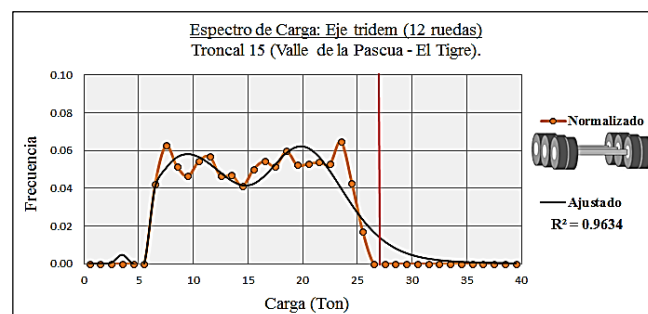


**Fig. 18.** Espectro de carga para eje tandem (8 ruedas)

La curva de ajuste aunque presenta algunas diferencias gráficas con respecto al histograma de carga, se comprueba un valor  $R^2$  muy cercano a la unidad, por lo que se considera un buen ajuste de la función continua. En la tabla 12, se indican los parámetros de la función de ajuste para caracterizar el eje tandem (8 ruedas).

**Tabla 12.** Parámetros de la función de ajuste que define el espectro de carga para eje tandem (8 ruedas)

Eje tandem (8 ruedas)		
Peso (W)	Media ( $\mu$ )	Desv. Estándar ( $\sigma$ )
0.000000	1.779515	0.001660
0.636426	2.132304	0.396843
0.363574	2.665845	0.153221
$\Sigma W=1.00$	Valor de $R^2 = 0.9733$	



**Fig. 19.** Espectro de carga para eje tridem (12 ruedas)

Un comportamiento similar se puede interpretar en el análisis del espectro de carga para el conjunto de ejes tridem (12 ruedas). En la figura 19, se muestra la curva de frecuencia para este tipo de ejes, los niveles de carga están por debajo del umbral máximo permitido, por tanto, no se presenta tampoco problemas de sobrecarga, también se muestra la aproximación lognormal mixta aplicada que resulta en una línea que se ajusta lo suficiente a las oscilaciones del histograma.



La curva de ajuste mostrada en la figura 19, si bien presenta algunas diferencias gráficas con respecto al histograma de carga del eje tridem, define un valor  $R^2$  muy cercano a la unidad, por lo que se comprueba la bondad del ajuste planteado. En la tabla 13, se indican los parámetros de la función de ajuste para caracterizar el eje de carga tipo tridem. (12 ruedas).

**Tabla 13.** Parámetros de la función de ajuste que define el espectro de carga para eje tridem (12 ruedas)

Eje tridem (12 ruedas)		
Peso (W)	Media ( $\mu$ )	Desv. Estándar ( $\sigma$ )
0.400225	3.042027	0.159530
0.679001	2.446235	0.445698
-0.079226	1.616579	0.053579
$\Sigma W=1.00$	Valor de $R^2 = 0.9634$	

Los gráficos finales de los espectros de carga resultantes mostrados en las figuras 15 a la 19, representan los espectros conclusivos de la caracterización del tránsito pesado real para la troncal 15 en el tramo Valle de la Pascua – El Tigre para una muestra de 6996 vehículos aforados durante un periodo de 7 días continuos, medidos con equipos dinámicos (WIM) en un solo sentido (Sentido: Valle La Pascua – El Tigre). De estos diagramas y de las tablas paramétricas adjuntas (Tablas 10 a 13) se pueden extraer datos concluyentes de interés según la aplicabilidad que se desea, en especial para evaluación y diseño de espesores para estructuras de pavimentos con principios mecanicistas.

## 5 Conclusiones

Sobre la base de los planteamientos iniciales y de acuerdo al análisis de los resultados obtenidos se puede concluir que la metodología de espectros de carga, es una manera eficiente para caracterizar la variable tránsito para el diseño y evaluación de estructuras de pavimento con enfoque mecanicista, además, es una representación valiosa y precisa del tránsito pesado, aportando datos realmente representativos de las cargas o solicitaciones. Los valores máximos en los diagramas permiten identificar los niveles de carga más usuales; niveles que se pueden asociar a si los vehículos circulan vacíos o con carga completa.

Para el caso de la vía en estudio (Tramo Valle La Pascua – El Tigre), la base de información (WIM) permitió la configuración de espectros de carga por tipo de vehículo y en forma general por tipo de eje. Los histogramas de carga para el caso de los ejes que producen el mayor daño en una estructura de pavimento como son los ejes tandem y tridem, se observaron niveles de carga por debajo de la reglamentación vigente, es decir, para el caso particular de la vía en estudio no se obtuvieron valores de ejes con sobrecarga excesiva.

Para el caso de los ejes sencillos direccionales (Fig. 15), se determinó un importante porcentaje de ejes con cargas sobre el nivel reglamentado por COVENIN 614:1997. Aunque por lo general, los niveles de carga de estos tipos de ejes son

bajos y no tienen gran incidencia sobre el pavimento, es importante resaltar el porcentaje (19.43%) de ejes con sobrecarga. Para el caso particular de los espectros de carga de los ejes dual y tandem, el área de sobrecarga calculada es mínima para los dos casos estudiados. En general, no se observó niveles de sobrecarga importantes en la dirección en la que se realizó esta medición, se debería hacer el análisis en la dirección opuesta y contrastar los resultados.

La función continua de ajuste implementada y el criterio adoptado de evaluación como el coeficiente  $R^2$ , resultó en valores próximos a la unidad ( $>0.96$ ), lo que indica la bondad del ajuste numérico de los histogramas de carga diagramados para los cuatro tipos de ejes analizados. Todos los espectros de carga por eje ajustados quedan definidos por los 36 parámetros exhibidos en las tablas 10 a la 13, estos valores representan los 16535 ejes medidos, lo que demuestra una franca optimización de los datos de caracterización del tránsito pesado

Como se puede observar todas las distribuciones de carga por eje comparten la característica común de ser multimodales, el valor de  $R^2$  en los diagramas sencillo direccional y dual fue mayor a los obtenidos en el ajuste para los ejes tandem y tridem, sin embargo, el  $R^2$  promedio fue de 0.9806 lo que representa un valor cercano a la unidad comprobándose de esta manera que la función de ajuste aplicada es representativa para los diagramas de carga analizados, por tanto, el análisis estadístico establecido como la distribución log normal mixta describe de manera efectiva los espectros de carga por eje.

## 6 Recomendaciones

Se recomienda a las instituciones competentes, incrementar la medición de peso por ejes de los vehículos de carga con sistemas WIM, en el mayor número posible de carreteras estratégicas del país, con el objetivo de obtener bases de información para generar espectros de carga por región, para lograr una representación más precisa del tránsito a nivel nacional.

Se sugiere la revisión y actualización de la normativa legal vigente COVENIN 614:1997 de los límites de carga por tipo de eje y vehículo de carga, para una mejor preservación de la infraestructura vial de la nación.

## Agradecimientos

Agradecimiento especial a la institución CDCHTA-ULA por su valioso apoyo por medio del proyecto de investigación NURR-C-617-16-02-C.

## Referencias

Corredor G, 2011, Apuntes de pavimentos. Universidad Santa María y Universidad Católica Andrés Bello, Caracas, Venezuela, Vol. 1, pp. 79-86.

FHWA. Traffic Monitoring Guide, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C., 2001. Se encuentra en: [https://www.fhwa.dot.gov/policyinformation/tmguide/tmg\\_2013/vehicle-types.cfm](https://www.fhwa.dot.gov/policyinformation/tmguide/tmg_2013/vehicle-types.cfm)  
Fecha de consulta: 03 noviembre 2019.

Garnica P, Correa A, 2004, Conceptos mecanicistas en pavimentos, Publicación técnica No 258, Secretaria de Comunicaciones y Transporte. Instituto Mexicano del Transporte, México. Se encuentra en: [http://www.imt.mx/Archivos/Publicaciones/Publicación\\_Técnica/pt258.pdf](http://www.imt.mx/Archivos/Publicaciones/Publicación_Técnica/pt258.pdf). Fecha de consulta: 07 diciembre 2019.

Hernández R, Garnica P, 2009, Espectros de carga representativos de la red carretera mexicana. Instituto Mexicano del Transporte, México. Se encuentra en: [http://www.amaac.org.mx/archivos/eventos/7cma\\_2011/32.pdf](http://www.amaac.org.mx/archivos/eventos/7cma_2011/32.pdf). Fecha de consulta: 10 diciembre 2019.

NCHRP. Guide of Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures. Final Report. NCHRP 1-37A. Se encuentra en: [http://www.trb.org/mepdg/Part2\\_Chapter4\\_Traffic.pdf](http://www.trb.org/mepdg/Part2_Chapter4_Traffic.pdf). 2004. Fecha de consulta: 10 diciembre 2019.

Norma COVENIN (Comisión Venezolana de Normas Industriales), Designación: 614-97 (1997), Límite de Peso para Vehículos de Carga (1ra revisión).


Norma COVENIN (Comisión Venezolana de Normas Industriales), Designación: 2402-97 (1997), Tipología de los Vehículos de Carga (1ra revisión).

Prozzi J, Hong F, 2006, Highway Traffic Characterization for Design of Pavement Structures. Center for Transportation Research The University of Texas at Austin, CTR Technical Report: 0-4510-4. Se encuentra en: [http://ctr.utexas.edu/wp-content/uploads/pubs/0\\_4510\\_4.pdf](http://ctr.utexas.edu/wp-content/uploads/pubs/0_4510_4.pdf)  
Fecha de consulta: 09 enero 2020.


 <https://orcid.org/0000-0001-7832-2040>

**Recibido:** 15 de septiembre de 2021

**Aceptado:** 17 de enero de 2022

**Araujo, Nómar:** Ingeniero Civil ULA (2000), MSc en Ingeniería Vial ULA (2016), Profesor Asistente NURR-ULA.  
 <https://orcid.org/0000-0001-6899-8127>

**Briceño, Álvaro:** Ingeniero Agrícola NURR-ULA (2004), Profesor Instructor NURR-ULA. Correo electrónico: [albani24102000@gmail.com](mailto:albani24102000@gmail.com)  
 <https://orcid.org/0000-0001-7078-833X>

**Rondón, Alirio:** Ingeniero Mecánico ULA (2007), Profesor Instructor NURR-ULA. Correo electrónico: [alirio\\_rs@hotmail.com](mailto:alirio_rs@hotmail.com)  
 <https://orcid.org/0000-0002-5512-2473>

**Castellanos, Jimmy:** Ingeniero Civil ULA (1999), MSc en Mecánica Aplicada a la Construcción UCLA (2017,) Ingeniero de Proyectos PDVSA-Occidente. Correo electrónico: [castellanosjimmy@gmail.com](mailto:castellanosjimmy@gmail.com)