

Fecha de presentación: octubre, 2017

Fecha de aceptación: diciembre, 2017

Fecha de publicación: enero, 2018

ANÁLISIS COMPARATIVO

DE EJES EQUIVALENTES OBTENIDOS MEDIANTE MÉTODO AASHTO 93 Y LOS PROPORCIONADOS POR PESAJE EN BALANZA FIJA DE VEHÍCULOS

COMPARATIVE ANALYSIS OF EQUIVALENT AXES OBTAINED BY THE AASHTO 93 METHOD AND THOSE PROVIDED BY WEIGHING IN FIXED VEHICLE BALANCE

Shirley Lisseth Barreto Cedeño¹

Jonathan Banguera Garces¹

Ing. Javier Córdova Rizo¹

E-mail: jacori1956@hotmail.com

¹ Universidad de Guayaquil. República del Ecuador.

E-mail: apollm@daad-alumni.de

Cita sugerida (APA, sexta edición)

Barreto Cedeño, S. L., Banguera Garces, J., & Córdova Rizo, J. (2018). Análisis comparativo de ejes equivalentes obtenidos mediante método AASHTO 93 y los proporcionados por pesaje en balanza fija de vehículos. *Universidad y Sociedad*, 10(1), 59-68. Recuperado de <http://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus>

RESUMEN

En el siguiente artículo se reconoce la importancia de los caminos en la historia de la humanidad; además dar a conocer procedimientos aplicados en estudios de tráfico y suelos, en el análisis del factor de equivalencia de cargas del tráfico que circula por vías, para el diseño de un pavimento flexible eficiente y seguro. Para ello se aplica la metodología de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) de 1993. Luego de la metodología aplicada se procede a evaluar los resultados obtenidos en esta investigación para poder realizar las recomendaciones necesarias en los diferentes estudios de cargas.

Palabras clave: Método AASHTO 93, pesaje en balanza fija de vehículos.

ABSTRACT

The following article recognizes the importance of roads in the history of humanity; in addition to publicize procedures applied in traffic studies and soils, in the analysis of the factor of equivalence of loads of traffic that circulates through roads, for the design of an efficient and safe flexible pavement. To this end, the methodology of the American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) of 1993 is applied. After the methodology applied, the results obtained in this investigation are evaluated to be able to make the necessary recommendations in the different load studies.

Keywords: AASHTO 93 method, weighing in fixed vehicle balance.

INTRODUCCIÓN

La infraestructura vial es parte importante del desarrollo de pueblos, debido a la alta actividad comercial de los últimos tiempos, por esto los productos deben ser movili- zados de manera eficiente. Dentro de esta infraestructura vial están los pavimentos, elemento que para su diseño debe contar con información necesaria, como: tipo de suelo de subrasante, estudios de tráfico, materiales con- siderados para la construcción de su estructura y drena- je. Estos parámetros deben ser determinados correcta- mente, de ocurrir lo contrario se obtendrán espesores de capa inadecuadas, lo cual ocasionaría que el pavimento diseñado no alcance su periodo de vida útil estableci- da. La investigación aborda sobre varios métodos para determinar ejes equivalentes (cargas), generados por vehículos que circulan en calles de las industrias existen- tes en el cantón Coronel Marcelio Maridueña, como son método Ley de la cuarta potencia, AASHTO e Instituto del Asfalto. Los datos obtenidos serán aplicados al diseño de pavimento flexible de vías de acceso a Industria Papelera Nacional, lo cual nos permite obtener espesores de ca- pas necesarios para soportar el tráfico generado por esta industria.

De acuerdo con Norma AASHTO existen dos puntos de vista para definir un pavimento: la Ingeniería y el usuario:

- » **Según el ingeniero**, el pavimento es un elemento es- tructural que se apoya en toda su superficie sobre la subrasante. Esta capa debe estar preparada para soportar el sistema de capas de espesores diferen- tes, denominado paquete estructural, diseñado para soportar cargas externas durante un determinado tiempo.
- » **Para el usuario**, el pavimento es una superficie que debe brindar comodidad y seguridad cuando se tran- site sobre ella. Debe proporcionar un servicio de cali- dad, de manera que influya positivamente en el estilo de vida de las personas (Rodríguez Velásquez, 2009).

El paquete estructural de un pavimento esta conformado por diferentes tipos de capas y espesores, los cuales tie- nen que cumplir con una serie de parámetros determinados por la norma AASHTO en función del espectro de carga. Estas estructuras también son diseñadas para soportar diferentes agentes ambientales que también influyen en el deterioro de la misma tales como; materiales de canto rodado que se encuentran en la rasante, agentes climati- cos cambios de temperatura y las lluvias controladas con un buen drenaje, con estos parámetros bien determinado las vías van a cumplir con el período de diseño.

- » **Pavimento flexible:** también llamado pavimento as- fáltico, está conformado por capa asfáltica en la superficie de rodadura, la cual permite pequeñas

deformaciones en capas inferiores sin que la estruc- tura falle. Debajo de esta capa, se encuentra base granular y capa de sub-base, destinadas a distribuir y transmitir cargas originadas por el tránsito.

Finalmente está la subrasante que sirve de soporte a las capas antes mencionadas. Este pavimento resulta más económico en su construcción inicial y tiene un periodo de vida útil de entre 10 y 15 años, pero tiene la desventaja que requiere mantenimiento periódico para cumplir con su vida útil (Rodríguez Velásquez, 2009).

- » **Pavimento rígido:** se compone de losas de concre- to hidráulico que algunas veces presentan acero de refuerzo. Esta losa va sobre la base (o sub-base), la cual está cimentada sobre la subrasante. Este tipo de pavimentos no permiten deformaciones de capas infe- riores. El pavimento rígido tiene costo inicial elevado a comparación con el pavimento flexible, pero su perio- do de vida útil es entre 20 y 40 años. El mantenimiento que requiere es bajo y se orienta generalmente al tra- tamiento de juntas de las losas (Rodríguez Velásquez, 2009).
- » **Pavimento híbrido o mixto:** es una combinación en- tre flexible y rígido. Por ejemplo cuando se colocan bloques de concretos en lugar de carpeta asfáltica, se tiene un tipo de pavimento híbrido. El objetivo de este pavimento es disminuir la velocidad límite de los ve- hículos, debido a que los bloques generan una ligera vibración en los autos al circular sobre ellos, que obli- ga al conductor a mantener una velocidad máxima de 60 Km/h, la cual es ideal para zona urbanas, puesto que garantiza seguridad y comodidad para usuarios. Otro ejemplo de pavimento mixto, son aquellos pavi- mentos de superficies asfáltica construidos sobre pa- vimento rígido, ese pavimento trae consigo un tipo de falla, llamada fisura de reflexión de junta (Rodríguez Velásquez, 2009).

Tráfico

La movilidad urbana sustentable es tema que forma parte de una solución factible para problemas que se tiene con el congestionamiento vehicular en diferentes ciudades del mundo. Debido al incremento vehicular de los últimos tiempos en nuestro país, se crea una dificultad visible al momento de realizar el conteo de tráfico de modo ma- nual, por eso que existen diversos métodos para realizar el conteo de tráfico, entre los cuales tenemos:

- » **Método manual:** es el conteo vehicular realizado por personas ubicadas en sector (es) estratégicos en la vía de estudio.
- » **Método fotográfico:** está basado en tecnología visión artificial (cámaras) que permite obtener el registro real de las características de tráfico en una infraestructura vial de forma no intrusiva.

Lo que se busca con los métodos existentes es conocer el tipo y volumen de vehículos que circulan por esa vía variados días del año y por horas del día. Su unidad de medida es el T.P.D.A.

» **Tráfico promedio diario anual:** se abrevia con las letras TPDA y representa el tránsito total que circula por la carretera durante un año dividido por 365, o sea que es el volumen de tránsito promedio por día. Este valor es importante para determinar el uso anual como justificación de costos en el análisis económico y para dimensionar los elementos estructurales y funcionales de las carreteras (República del Ecuador. Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2012).

Existen datos adicionales que se generan a partir del conteo vehicular:

» **Tráfico asignado:** cálculo previo al tráfico futuro en base al TPDA existente, adicionalmente le suman las tasas de incrementos como: tráfico generado y tráfico desarrollado.

» **Tráfico generado:** tráfico adicional formado por vehículos que anteriormente no circulaban por esa vía, y se constituye de la siguiente manera:

- Viajes que de ninguna manera se habrían hecho antes.
- Viajes que se habrían hecho antes por transporte público.
- Viajes que anteriormente se habrían hecho a otros sitios y que ahora se realizan por la comodidad de la nueva vía y no por cambio en los usos del terreno (República del Ecuador. Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2012).

» **Tráfico desarrollado:** se debe a las mejoras en las zonas adyacentes, que no se habrían presentado si la carretera no se hubiera construido o mejorado. Este componente del tránsito futuro se continúa presentando por muchos años, después de que la mejora vial se haya realizado (República del Ecuador. Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2012).

» **Tráfico futuro:** las carreteras nuevas o mejoramientos se deben diseñar en base al tránsito que va a usarlas, por eso los diseños se proyectan para el tiempo de vida útil, en pavimentos entre 10 y 30 años, esperando que el volumen de cada año sea menor al del año anterior (República del Ecuador. Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2012).

La topografía del lugar y el tráfico futuro nos permiten clasificar la vía de acuerdo a parámetros establecidos por MTOP. En la elaboración del estudio de tráfico determinamos el tipo de vehículos que circulan por la vía, este proceso también nos permite obtener la cantidad de vehículo de acuerdo a su tipo, esto se lo denomina composición del tráfico vehicular.

» **Composición del tráfico:** consiste en el porcentaje de diferentes tipos de vehículos que circulan por esta calzada, está integrada por livianos, buses y pesados, considerando para el diseño de pavimento utilizamos los dos últimos, es decir buses y pesados en sus distintos tipos de vehículos.

Ejes equivalentes

Denominados Esal's por sus siglas en inglés "*Equivalent Single Axle Load*", la transformación de ejes equivalente es una tarea compleja, hay que tener claro el concepto del tipo de eje y su peso, ya que éste influye directamente al comportamiento del pavimento. Con los porcentajes de tipos de vehículos que obtenemos a través de la composición del tráfico, procedemos a convertirlos en ejes equivalentes (cargas).

El análisis de carga transforma los diferentes tipos de ejes que circulan por una vía en un sistema normalizado de ejes simples, para la variante carga podemos utilizar los pesos establecidos el MTOP o los proporcionadas por un sistema de pesaje vehicular.

Métodos de pesaje vehicular

Las rutas y autopistas son fundamentales para nuestra vida cotidiana, embotellamientos, camiones con sobre peso y otros vehículos aceleran el deterioro de las vías, una manera importante de cuidar la infraestructura vial es controlando las cargas de vehículos, por ello existen algunos métodos para su pesaje.

» **Pesaje en movimiento (WIM - Weigh in motion):** permite controlar de forma precisa y confiable el peso neto y peso por eje de vehículos, este sistema funciona con sensores que controlan el peso de los camiones a altas velocidades, los vehículos sin sobrecarga siguen su marcha, y los posibles infractores son desviados a una balanza de baja velocidad, los vehículos que no tienen sobrepeso continúan su ruta y los vehículos infractores con desviados para ser inspeccionados.

» **Pesaje en balanza fija:** proporciona de manera segura el peso del vehículo ya que permite al conductor mantenerlo inmóvil mientras la balanza toma su peso. Este dato es transmitido a un software mediante sistema electrónico, permitiéndonos conocer el peso total del vehículo que circula por la vía y verificar si existe sobrecarga según el peso máximo establecido en la ley.

Suelos

En pavimentos es necesario conocer la resistencia de diseño que tiene la subrasante, con el fin de determinar el dimensionamiento de la estructura y predecir su comportamiento estructural y funcional ante cargas impuestas

por el tráfico. Se deben considerar también las condiciones geológicas, geotécnicas, topográficas, de drenaje y medio ambientales de la subrasante. Los estudios de suelos son la base para definir las unidades de diseño que constituyen el tipo de material de la subrasante existente. Entre los cuales tenemos:

- » **Contenido de humedad:** es la relación entre peso del agua contenida en la muestra de suelo y el peso de la muestra después de ser secada al horno.
- » **Límites de Atterberg:** sirven para conocer el comportamiento de suelos finos y medir la cohesión del terreno y su humedad. El límite líquido se encuentra entre el estado líquido y plástico del suelo, cuando alcanza una resistencia de 25gr/cm². Mientras que el límite plástico es el menor contenido de agua con el cual el suelo permanece plástico. Y por último el límite de contracción sucede cuando un suelo húmedo se seca se contrae, pero llega un límite donde el suelo sigue perdiendo agua y su volumen sigue siendo constante, este límite es el contenido de humedad de esos momentos.
- » **Análisis granulométrico:** consiste en separar por tamaños el material del suelo, con el fin de clasificar los suelos gruesos y de observar si se cumplen especificaciones.
- » **Ensayo de Proctor Estándar:** procedimiento que ayuda al control en cuanto a la compresión del terreno, sirve para la determinación de la densidad seca máxima en relación a su grado de humedad.
- » **Ensayo de CBR (California Bearing Ratio):** determina el índice de resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, con el CBR podemos determinar el espesor del pavimento flexible utilizando las curvas obtenidas experimentalmente.

DESARROLLO

Parte importante de las capas del pavimento son sus materiales, los cuales se seleccionan tomando en cuenta factores como calidad, disponibilidad, economía y experiencia previo uso.

Además se tiene en cuenta las características de los materiales definidos en Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes - MTOP. Los

diferentes tipos de pavimentos constan de los siguientes materiales:

- » **Sub-rasante:** sirve de terreno de fundación para el pavimento después de haber sido mejorada si así fuese el caso, ésta debe contar con las condiciones transversales y de pendiente necesarias.
- » **Sub-base:** Capa de material seleccionado que se coloca encima de la subrasante.
- » **Base:** capa de material pétreo, mezcla de suelo cemento, mezcla bituminosa o piedra triturada, que se coloca encima de la sub-base.
- » **Carpeta de rodadura:** se coloca encima de la base y está formada por una mezcla bituminosa (asfalto para pavimento flexible) o de concreto (hormigón para pavimento rígido).

Drenaje

La presencia de agua en las estructuras de los pavimentos, influye en las propiedades de sus materiales y el comportamiento de los pavimentos en general. El método AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) de 1993, en su ecuación de diseño incorpora un coeficiente de drenaje que afecta la base y sub-base.

La infiltración a través de la superficie, niveles freáticos altos, ascenso capilar, aguas provenientes de infiltraciones, contribuyen al desarrollo de fallas en los pavimentos.

Algunos de estos daños también pueden ser la migración de finos la cual crea problemas de erosión, fallas por saturación causada por escurrimiento incontrolado y disminución de la calidad del material de sus capas. Éstas fallas en pavimentos flexibles están caracterizadas por excesiva de flexión bajo valor soporte de subrasante y desintegración.

Cuando el módulo resiliente aumenta, baja el contenido de humedad, es decir, un buen drenaje aumenta la capacidad portante de la subrasante, mejorando así la calidad de la vía y permitiendo el uso de capas delgadas (tabla 1)

Tabla 1. Coeficientes de drenaje para pavimentos flexibles.

Calidad del drenaje	% de tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próxima a la saturación			
	<1%	1 - 5%	5 - 25 %	>25%
Excelente	1.40 - 1.35	1.35 - 1.35	1.30 - 1.20	1.20
Bueno	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1.00
Regular	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.80
Pobre	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.40













Fuente: American Association of State Highway and Transportation Officials (1993).

» **Conteo vehicular:** para efectuar el aforo de tráfico de las calles del cantón Marcelino Maridueña utilizamos el siguiente formato, donde se encuentran los diversos tipos de vehículos que circulan por estas vías.

Esta actividad se la efectuó en la estación del paradero de la cooperativa de transporte CITIM durante 4 días (viernes, sábado, domingo y lunes).

La finalidad de este conteo es obtener el número de vehículos que circulan por las vías contiguas a las industrias Papelera y SODERAL, además permite conocer la composición de este tráfico, el cual ponemos a consideración en los siguientes cuadros (tabla 2).

Tabla 2. Resumen total del conteo vehicular.

FECHA	DÍA DE LA SEMANA	LIVIANOS		BUSES		CAMIONES							TOTAL	
		Automóvil	Camioneta	Buseta	Bus	Pesados			Extrapesados					
														
16/06/17	Viernes	163	195	141	114	146	141	110	29	40	53	80	141	1353
17/06/17	Sábado	86	157	41	18	43	156	51	16	0	27	44	56	695
18/06/17	Domingo	141	130	15	31	18	24	26	17	22	17	21	17	479
19/06/17	Lunes	146	220	18	30	59	133	42	4	0	3	74	28	757
TOTAL		536	702	215	193	266	454	229	66	62	100	219	242	3284
T.P.D.S.		143	189	65	58	82	124	65	17	17	26	64	71	921
% T.P.D.S.		15%	21%	7%	6%	9%	13%	7%	2%	2%	3%	7%	8%	100%
%		36,04%		13,37%		29,39%			21,20%				100,00%	

Fuente: elaborada por los autores.

Cálculo del TPDS: para el proceso del cálculo del tráfico promedio diario semanal tenemos la siguiente ecuación:

$$TPDS = \left(\frac{5}{7}\right) \sum \left(\frac{Dn}{m}\right) + \left(\frac{2}{7}\right) \sum \left(\frac{De}{m}\right)$$

Donde:

TPDS: tráfico promedio diario semanal

Dn: días normales

De: días especiales

m: número de días que se realizó el conteo

Para nuestro caso días normales serían viernes y lunes, esto quiere decir que el valor de **Dn** será 2110, lo cual representa a la sumatoria de estos dos días. De igual manera para **De** será sábado y domingo entonces 1174 es el valor a utilizar en la ecuación.

$$TPDS = \left(\frac{5}{7}\right) \Sigma \left(\frac{2110}{2}\right) + \left(\frac{2}{7}\right) \Sigma \left(\frac{1174}{2}\right)$$

$$TPDS = 921 \text{ vehiculos mixtos (ambos sentidos)}$$

Para obtener el TPDA (tráfico promedio diario anual), el TPDS calculado anteriormente será afectado por los siguientes factores:

- » **Factor de estimación mensual (Fm):** estos valores fueron obtenidos de la Dirección de estudios del MTOP para el año 2011 (tabla 3).

Tabla 3. Factor de estimación mensual.

MES	FACTOR
Enero	1.07
Febrero	1.132
Marzo	1.085
Abril	1.093
Mayo	1.012
Junio	1.034
Julio	1.982
Agosto	0.974
Septiembre	0.923
Octubre	0.931
Noviembre	0.953
Diciembre	0.878

Fuente: MTOP basada en el factor de estacionalidad mensual.

Fuente: elaborada por los autores.

Por lo que para nuestro caso hemos tomado el valor correspondiente al mes de Junio $Fm = 1,034$, fecha en el que se realizó el conteo vehicular (tabla 4).

- » **Factor de ajuste diario (Fd):** se define en base al promedio de la semana, para la cual utilizaremos la siguiente fórmula:

$$Fd = \frac{TPDS}{TD}$$

TPDS: tráfico promedio diario semanal

TD: tráfico diario

Tabla 4. Factor de ajuste diario.

Día de la semana	TD (veh./día)	Fd (TPDS/TD)
Viernes	1353	0.681
Sábado	695	1.325

Domingo	479	1.922
Lunes	757	1.217
Fd Final		1,286

Fuente: elaborada por los autores.

Obtenemos como resultado de $Fd = 1.286$ en ambos sentidos.

- » **Cálculo del TPDA:** el tráfico Promedio diario anual se calculará utilizando la siguiente ecuación:

$$TPDA = TPDS (Fm)(Fd)$$

Ahora reemplazamos los valores de los factores Fm y Fd .

$$TPDA = 921(1.034)(1.286)$$

$$TPDA = 1225 \text{ vehiculos.}$$

- » **Cálculo del tráfico asignado:** deberá ser calculado mediante la siguiente fórmula:

Tg: tráfico generado, es una tasa de incremento que va desde el 5% hasta el 25% del TPDA.

Td: tráfico desarrollado que genera el 5% de incremento del TPDA.

Para nuestro caso utilizaremos el 25% en el tráfico generado, entonces:

$$Tg = 25\% TPDA$$

$$Tg = 25\% (1225)$$

$$Tg = 306 \text{ vehiculos mixtos}$$

Y en el tráfico desarrollado:

$$Td = 5\% TPDA$$

$$Td = 5\%(1225)$$

$$Td = 62 \text{ vehiculos mixtos}$$

Después de haber obtenido las tasas de incrementos, procedemos a calcular el tráfico asignado:

$$T. \text{Asignado} = TPDA \text{ actual} + Tg + Td$$

$$T. \text{Asignado} = 1225 + 306 + 62$$

$$T. \text{Asignado} = 1593 \text{ vehiculos mixtos.}$$

Estudios de suelos

Luego de la respectiva inspección visual de la vía y de determinar la necesidad de estudios de suelos, realizamos 2 calicatas, con las cuales elaboraremos los ensayos necesarios para determinar las características predominantes del material de sub-rasante, lo cual detallamos en el siguiente informe (tabla 5 y 6):

Tabla 5. Resumen del material de la calicata 1.

Calicata 1	
Profundidad (m)	Material
0.00 - 0.50	Arcilla de baja a media plasticidad color café claro y con poca arena fina.
- 0.50 - 1.00	Arcilla de baja a media plasticidad color café claro y con poca arena fina.
- 1.00 - 1.50	Arcilla de baja a media plasticidad color café claro y con poca arena fina.

Fuente: elaborada por los autores.

Tabla 6. Resumen del material de la calicata 2.

Calicata 2	
Profundidad (m)	Material
0.00 - 0.50	Limo inorgánico color gris oscuro y con poca grava.
-0.50 - 1.00	Grava limosa mal graduada color café claro con arena media
-1.00 - 1.50	Limo inorgánico color gris oscuro y con poca grava.

Fuente: elaborada por los autores.

Tabla 8. Resultados de los ensayos realizados a las calicata 2.

Profundidad	W %	Límites de Atterberg			Granulometría			γ	D.S.M.		C.B.R. Muestra alterada
		LL %	LP %	I.P. %	# 4	# 40	# 200		T/m3	Kg/m3	
-0.00 - 0.50	19,89	8,00	6,20	1,38	359	1039	580	1,62	1617,0	10,03	3
-0.50 - 1.00	4,06	N.P.	N.P.	N.P.	363	1001	330				
-1.00 - 1.50	20,89	N.P.	N.P.	N.P.	82,9	79,08	66,76				

Fuente: elaborada por los autores.

Habiendo obtenido las muestras, éstas son llevadas al Laboratorio de Suelo Ing. Arnaldo Ruffilli, donde obtuvimos los siguientes resultados (tabla 7 y 8) (Figura 1):

Tabla 7. Resultados de los ensayos realizados a las calicata 1.

Profundidad	W %	Límites de Atterberg			Granulometría			γ	D.S.M.		C.B.R. Muestra alterada
		LL %	LP %	I.P. %	# 4	# 40	# 200		T/m3	Kg/m3	
0 . 0 0	6,67	34,80	15,21	19,59	70,3	58,5	51,5	1,50	1496,19	21,07	95%
-0.50 - 1.00	20,49	34,00	15,18	18,82	NO	NO	NO	1,54	1542,28	18,81	3,20
-1.00 - 1.50	28,10	28,90	17,98	10,92	NO	NO	NO	1,78	17,82,00	12,08	2,10

Fuente: elaborada por los autores.

CBR de diseño:

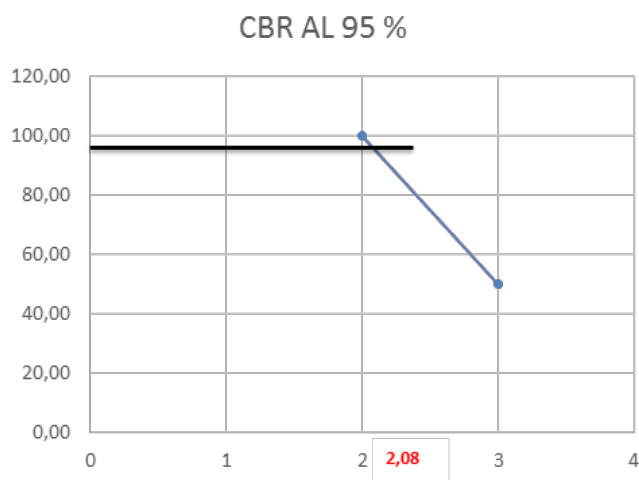


Figura 1. Cálculo de CBR de Diseño.

Fuente: elaborada por los autores.

Cálculo de Esal's con pesos establecidos en balanza fija.

Composición vehicular y parámetros de ecuación de Esal's serán exactamente los mismos, entonces (tabla 9, 10 y 11):

TPDA: 1593

Fc: 50%

Fd: 100%

GF Buses: 24,514

GF Camiones: 25,164

TKS Buses: 0,1337

TKS Camiones: 0,5059

» Ley de la cuarta potencia:

Tabla 9. Cálculo de FC - Ley de la cuarta potencia - B. Fija.

Tipos de Vehículos	Composición	Pesos B. Fija (Ton)	Factor de Equivalencia	% Vehículos	Factor Camión (FC)
Livianos	Simple 2R	1,00	-	-	-
	Simple 2R	3,00	-	-	-
Buseta	Simple 2R	3,87	0,1186	0,1099	0,1752
	Simple 4R	9,04	1,4752		
Bus	Simple 2R	6,58	0,9894	0,0992	0,3494
	Simple 4R	10,35	2,5341		
2DA	Simple 2R	4,73	0,2640	0,1390	0,4933
	Simple 4R	11,04	3,2845		
2DB	Simple 2R	7,13	1,3625	0,2097	1,0175
	Simple 4R	11,21	3,4897		
3-A	Simple 2R	7,61	1,7679	0,1108	0,6847
	Tándem	21,74	4,4120		
T3-S1	Simple 2R	6,48	0,9314	0,0280	0,1580
	Tándem	18,53	2,3267		
	Simple 4R	10,19	2,3851		
T2-S1	Simple 2R	12,52	12,9363	0,0296	0,5695
	Simple 4R	12,52	5,4291		
	Simple 4R	7,97	0,8907		
T2-S2	Simple 2R	7,28	1,4785	0,0446	0,3996
	Simple 4R	11,44	3,7859		
	Tándem	20,79	3,6931		

T3-S2	Simple 2R	7,73	1,8832	0,1091	1,2296
	Tándem	22,08	4,6943		
	Tándem	22,08	4,6943		
T3-S3	Simple 2R	7,30	1,4970	0,1201	0,7986
	Tándem	20,87	3,7466		
	Tridem	25,04	1,4050		
TOTAL FC				5,8754	

Fuente: elaborada por los autores.

$$\begin{aligned} \text{Esal's Buses} &= 5'598.630 \\ \text{Esal's Buses} &= 21'739.283 \\ \text{Total de Esal's} &= \text{Esal's Buses} + \text{Esal's Camiones} \\ \text{Total de Esal's} &= 27'337.913 \end{aligned}$$

» AASHTO-93:

Tabla 10. Cálculo de FC - AASHTO 93 - B. Fija.

Tipos de Vehículos	Composición	Pesos (Ton)	Pesos (Kip)	Factor de Equivalencia	% Vehículos	Factor Camión (FC)
Livianos	Simple 2R	1,00	2,20			
	Simple 2R	3,00	6,61			
Buseta	Simple 2R	3,87	8,54	0,0690	0,1099	0,1693
	Simple 2R	9,04	19,92	1,4711		
Bus	Simple 2R	6,58	14,51	0,4622	0,0992	0,2979
	Simple 4R	10,35	22,81	2,5419		
2DA	Simple 2R	4,73	10,43	0,1419	0,1390	0,4779
	Simple 4R	11,04	24,34	3,2952		
2DB	Simple 2R	7,13	15,72	0,6114	0,2097	0,1481
	Tridem	11,21	24,71	0,0946		
3-A	Simple 2R	7,61	16,78	0,7837	0,1108	0,5550
	Tándem	21,74	47,93	4,2254		
T3-S1	Simple 2R	6,48	14,29	0,4353	0,0280	0,1417
	Tándem	18,53	40,84	2,2409		
	Simple 4R	10,19	22,47	2,3842		
T2-S1	Simple 2R	12,52	27,59	5,5777	0,0296	0,3572
	Simple 4R	12,52	27,59	5,5777		
	Simple 4R	7,97	17,56	0,9225		
T2-S2	Simple 2R	7,28	16,04	0,6539	0,0446	0,3577
	Simple 4R	11,44	25,22	3,8320		
	Tándem	20,79	45,84	3,5335		
T3-S2	Simple 2R	7,73	17,04	0,8310	0,1091	1,0754
	Tándem	22,08	48,68	4,5134		
	Tándem	22,08	48,68	4,5134		

T3-S3	Simple 2R	7,30	16,09	0,6627	0,1201	0,7267
	Tándem	20,87	46,01	3,5825		
	Tridem	25,04	55,20	1,8045		
TOTAL FC					4,3068	

Fuente: elaborada por los autores.

$$\text{Esal's Buses} = 4'103.851$$

$$\text{Esal's Buses} = 15'935.111$$

$$\text{Total de Esal's} = \text{Esal's Buses} + \text{Esal's Camiones}$$

$$\text{Total de Esal's} = 20'038.962$$

Tabla 11. Comparación de resultados del cálculo de Esal's.

Cálculo de ESALs		
Método	Pesos MTOP	Pesos Balanza Fija
Ley de la cuarta potencia	20'059.719	27'337.913
AASHTO 93	17'543.656	20'038.962
Instituto del Asfalto	17'114.052	22'601.142

Fuente: elaborada por los autores.

En el diseño de pavimento utilizamos los resultados del número de Esal's por medio del método AASHTO-93.

CONCLUSIONES

La implementación del método AASHTO-93 en la conformación de pavimento flexible en las calles del cantón Marcelino Maridueña permite observar que los resultados obtenidos muestran la confiabilidad de que el pavimento diseñado se comporte satisfactoriamente durante el período de diseño, bajo las condiciones de tráfico que en ese cantón existen.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

República del Ecuador. inisterio de Transporte y Obras Públicas. (2012). Norma para estudios y diseños viales. Quito: Ministerio de Transporte y Obras Públicas.

Rodríguez Velásquez, D. (2009). Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la Av. Luis Montero, Distrito de Castilla. Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil. Piura: Universidad de Piura. Recuperado de https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1350/ICI_180.pdf

Ulloa, Á., Allen, J., Badilla, G., & Sibaja, D. (2007). Investigación en Infraestructura Vial Determinación de factores camión en pavimentos de Costa. Infraestructura Vial, 19, 30-39. Recuperado de <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/vial/article/view/2048>