

**COMPARACIÓN DEL DISEÑO CALCULADO MEDIANTE MÉTODO AASHTO
1993 DE TRAMO DE LA VÍA PASO NACIONAL POR ZIPAQUIRÁ, CON
RESPECTO A MÉTODOS MODERNOS DE DISEÑO DEL MANUAL INVIAS 2016
PARA MEDIOS Y ALTOS VOLUMENES DE TRÁNSITO**

REALIZADO POR:

Ing. NELSON ROLANDO VARGAS ANGARITA

Ing. GONZALO RÍOS MARIN
DIRECTOR DE ESPECIALIZACIÓN

JOSÉ LUIS MERCADO
TUTOR METODOLÓGICO



UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS
BOGOTÁ D.C
2018

**COMPARACIÓN DEL DISEÑO CALCULADO MEDIANTE MÉTODO AASHTO
1993 DE TRAMO DE LA VÍA PASO NACIONAL POR ZIPAQUIRÁ, CON
RESPECTO A MÉTODOS MODERNOS DE DISEÑO DEL MANUAL INVIAS 2016
PARA MEDIOS Y ALTOS VOLUMENES DE TRÁNSITO**

**REALIZADO POR:
NELSON ROLANDO VARGAS ANGARITA**

OPCIÓN DE GRADO



**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS
BOGOTÁ D.C
2018**

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	4
OBJETIVOS	5
Objetivo General.....	5
Objetivos Específicos.....	5
JUSTIFICACIÓN	6
MARCO TEÓRICO.....	7
METODOLOGÍA	9
INFORMACIÓN GENERAL DEL SEGMENTO	10
CARACTERIZACIÓN DE LA VÍA	11
CÁLCULO DEL TRÁNSITO	13
CÁLCULO DE MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE	17
CÁLCULO DE ESTRUCTURA MEDIANTE METODOLOGÍA AASHTO 1993.....	20
CÁLCULO DEL MÓDULO DINÁMICO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA	25
CÁLCULO DE MÓDULOS RESILIENTES	28
Módulo Resiliente Subrasante mejorada.....	28
Módulo Resiliente Granulares	28
Módulo Resiliente Subrasante mejorada teniendo en cuenta los factores de diseño manual INVIAS 2016 – Clima.....	28
PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN EN BISAR.....	32
EVALUACIÓN DEL DISEÑO MENSUALMENTE	44
DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES	55
REFERENCIAS.....	57

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Localización vía Paso Nacional - Zipaquirá	10
Ilustración 2 Vista general del segmento vial	10
Ilustración 3 Regresión Lineal Tránsito Equivalente Diario	13
Ilustración 4 Porcentaje de ejes equivalente en el carril de diseño	16
Ilustración 5 Ecuación mejoramiento a través de metodología AASHTO..	18
Ilustración 6 Ecuación para mejoramiento a través de Giroud y Han	18
Ilustración 7 Ecuación AASHTO para cálculo de estructuras	20
Ilustración 8 Estructura calculada con metodología AASHTO	24
Ilustración 9 Relación lineal entre la viscosidad y la temperatura para la mezcla asfáltica	26
Ilustración 10 Eje Simple Rueda Simple 4 TON	32
Ilustración 11 Eje Simple Rueda Simple 6 TON	34
Ilustración 12 Eje Simple Rueda Doble 8 TON.....	36
Ilustración 13 Eje Simple Rueda Doble 10 TON.....	38
Ilustración 14 Eje Tándem 21 TON.....	40
Ilustración 15 Eje Tándem 22 TON.....	42

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Desarrollo de Metodología AASHTO	7
Tabla 2 Variables relevantes de la metodología INVIAS.....	8
Tabla 3 Serie Histórica y Composición del Tránsito Promedio Diario - TPD	11
Tabla 4 TPDs caracterizados por camión	11
Tabla 5 Valores del tránsito equivalente diario	13
Tabla 6 Análisis de regresión transito equivalente	14
Tabla 7 Comparación de tránsitos equivalentes diarios.....	14
Tabla 8 Cálculo de la diferencia al cuadrado de cada año y el valor promedio de los años.....	15
Tabla 9 Calculo del error del pronóstico del número de ejes equivalentes, para cada año del periodo de proyección	15
Tabla 10 Cálculo de número estructurales para mejoramiento.....	17
Tabla 11 Cálculo de espesor de mejoramiento mediante metodología AASHTO	18
Tabla 12 Datos de entrada para el mejoramiento.....	19
Tabla 13 Cálculo de espesor de mejoramiento	19
Tabla 14 Parámetros de diseño	20
Tabla 15 Número Estructural Obtenido	24
Tabla 16 Cálculo de Espesores	24
Tabla 17 Granulometría de la mezcla MDC-19.....	25
Tabla 18 Cálculo de módulo dinámico de la mezcla asfáltica.....	26
Tabla 19 Cálculo de módulos resilientes	28
Tabla 20 Cálculo del módulo resiliente de la subrasante:.....	29
Tabla 21 Cálculo del módulo dinámico de la mezcla	30
Tabla 22 Resumen módulos por mes	31
Tabla 23 Verificaciones estructurales anuales	44

INTRODUCCIÓN

Concebir proyectos viales planificados que garanticen una mejora en la calidad de vida de los usuarios, así como un impacto en las actividades económicas y sociales de una nación, hacen que un diseño sea la respuesta a una insatisfacción, es así que nacen los métodos de diseño, como fuente de procesamiento para satisfacer una necesidad de manera económica, confiable y con la identificación de datos que reconocen las condiciones existentes.

En Colombia, estos métodos de diseño han sido extrapolados en su más amplio espectro de análisis, estudios y pruebas realizados en otras naciones con contextos distintos, pero en cierta medida semejantes a los propios, y de esta forma muchos de nuestros manuales y normas de diseño y construcción son lineamientos que nos permiten adecuarnos a un proceso en el tema del diseño.

Esto, sin duda alguna suscita en muchos profesionales, algunas dudas sobre el trabajo que desarrollan aun cuando la formación de estudiantes, futuros ingenieros y diseñadores colombianos, se ve dispuesta al aprendizaje de metodologías tradicionales, que posiblemente no responden a los modelos que podrían ser aplicables y amplificarse en factor de la evolución del país.

Por lo cual, este trabajo realiza un análisis de la confiabilidad y aplicabilidad que nos presenta el diseño mediante metodologías AASHTO respecto con la aplicación de métodos modernos presentados en el Manual de Diseño INVIAS 2016, donde nos permiten trabajar con el concepto de curva maestra para la mezcla asfáltica, y empezar a involucrar diversos ensayos como módulo dinámico, y estimación de los módulos resilientes de la subrasante para períodos mensuales y variaciones climatológicas, de tal forma se realizará una verificación del diseño con BISAR.

Por último, producto del análisis, se puede realizar una comparación entre las variables más utilizadas por cada método y su incidencia sobre la ejecución final, período de vida, identificando semejanzas y factores de diferenciación sobre los cuales se fundamentan algunas recomendaciones para ser consideradas dentro de la vida profesional de un ingeniero de pavimentos a la hora de realizar, ejecutar o verificar un diseño.

OBJETIVOS

Objetivo General

Verificar la incidencia de diseño con metodología AASHTO 1993 respecto con métodos de diseño modernos planteados en la guía de diseño INVIAS 2016 - el concepto de curva maestra de la mezcla asfáltica, con base en los resultados de ensayo de módulos dinámicos para una mezcla convencional MDC19 (INVIAS - Art.450-2013), para la vía paso nacional por Zipaquirá del PR 25+0200 al PR28+0200.

Objetivos Específicos

- Efectuar un análisis previo de las características de la zona, haciendo un reconocimiento de las condiciones conocidas del segmento vial.
- Calcular el tránsito para una estación de la serie histórica del INVIAS, teniendo en cuenta el procedimiento de cálculo de proyección con nivel de confianza.
- Revisar el diseño del pavimento flexible mediante cálculos del tránsito por espectro de cargas.
- Calcular los espesores del pavimento flexible por el método AASHTO 1993 mediante el procedimiento protección de capas (SN1, SN2, SN3 por ábacos).
- Revisar el diseño del pavimento flexible mediante cálculos del tránsito por espectro de cargas determinado en el punto 2. Para calcular las deformaciones a tracción en la base de la carpeta asfáltica ϵ_t y compresión en la subrasante ϵ_z utilice del programa BISAR.
- Elaborar un análisis donde se evidencien observaciones ante la aplicabilidad de metodologías.

JUSTIFICACIÓN

Como ingenieros se hace presente la necesidad de actualización de los conocimientos a razón de la evolución tecnológica en los procesos de diseño y construcción de los pavimentos, y de lo que ello compete a sus materiales, para lo cual es ineludible revisar periódicamente la metodología usada, esto en Colombia, aún no tiene un línea definida, y la inversión en desarrollo e innovación es cada día más escasa, por lo cual, se hace inevitable adaptar las diferentes realidades y características disponibles como topografía, insumos y rendimientos que proceden de nuestra nación hoy en día.

Las normas colombianas, direccionadas principalmente por Instituto Nacional de Vías – INVIAS- contienen un importante punto de vista técnico que han colaborado a que otras Entidades como las Empresas Públicas de Medellín –EPM-, el Instituto de Desarrollo Urbano –IDU, reglamenten las actividades ingenieriles, realizando esfuerzos para mantenerlos actualizados, aunque de una forma local donde estas empresas tienen regulación, en el otro extremo se tienen algunas entidades descentralizadas y de menor presupuesto estatal, que por su parte siguen aplicando directrices desactualizadas, las cuales tienen un carácter general y son adoptadas sin tener en cuenta las incidencias que este puede generar en la inversión pública.

En ese orden de ideas, como estudiantes de ingeniería e ingenieros, se requiere entender la atención que requiere la aplicación de una metodología de diseño y la importancia del acercamiento correcto al problema a resolver, tal que se usen las variables que contextualicen la realidad de la necesidad, para que, de esta forma, el diseñador pueda producir la solución más cercana a lo que se requiere, se promuevan estrategias para ejecutar eficiente y eficazmente.

MARCO TEÓRICO

Actualmente, dentro de los municipios y cabeceras, el método más usado para el cálculo de estructuras de pavimento flexible es el AASHTO, en el cual con base a algunos datos sencillos como el CBR, y el número de ejes equivalentes se puede definir un criterio para establecer un modelo de estructura.

La metodología de diseño de pavimentos AASHTO, se basa en los resultados de ensayos realizados en el AASHO Road Test (Ottawa), cuyo objetivo principal fue obtener relaciones confiables referentes al comportamiento y deterioro en los pavimentos después de que se les aplicaran cargas controladas de tránsito, tanto en pavimentos flexibles y rígidos.

Tabla 1 Desarrollo de Metodología AASHTO

Año	Suceso
1951	Se propone proyecto para obtener resultados de una evaluación de vías.
1956	Se pone en marcha el proyecto, iniciando la construcción de tramos de prueba.
1958 y 1960	Los primeros resultados fueron registrados.
1962	Se publica la primera guía de diseño de pavimentos mediante metodología AASHO "Interim Guide for Design of Pavement Structures".
1972	Primera revisión a la guía publicada en 1962.
1981	Segunda revisión a la guía publicada en 1962.
1984	Un subcomité de diseño y consultores se reúnen para hacer modificaciones y evaluación de la guía existente.
1986	Se publica la AASHTO Guide for Design of Pavement Structures.
1993	Se vuelve a revisar, pero no se evidencian cambios en el diseño de pavimentos de concreto.
1998	Se intentan incorporar conceptos mecanicistas en la guía.

Fuente: Elaboración Propia.

Es así que, a través del tiempo AASHTO lanza su metodología de diseño basada en las relaciones empíricas registradas en el AASHO Road Test [1]. El objetivo es calcular el mínimo espesor de un pavimento para que éste pueda soportar el paso de las cargas de tránsito manteniendo un cierto nivel de servicio para el periodo de diseño. AASHTO propone para ello valores de serviciabilidad del pavimento (basado en correlaciones con el IRI, agrietamiento, y fallas del pavimento), en donde se ha comprobado que guardan correlación con la calificación subjetiva de los usuarios de la vía.

En cuanto a la metodología INVIAS para medios y altos volúmenes, es considerada una herramienta actualizada que tiene en cuenta variables como la adaptación de los materiales locales, condiciones climáticas (dada la diversidad de pisos térmicos en el país), que son correspondientes a las especificaciones técnicas generales de construcción de 2013, y permita solucionar los problemas de pavimentos flexibles de una forma homogénea y con una suficiencia estructural que tenga como objetivo la racionalización, optimización de recursos, protección de las inversiones en pavimentación[2].

Las variables más importantes que tiene en cuenta la metodología INVIAS y variables que intervienen en el comportamiento del pavimento:

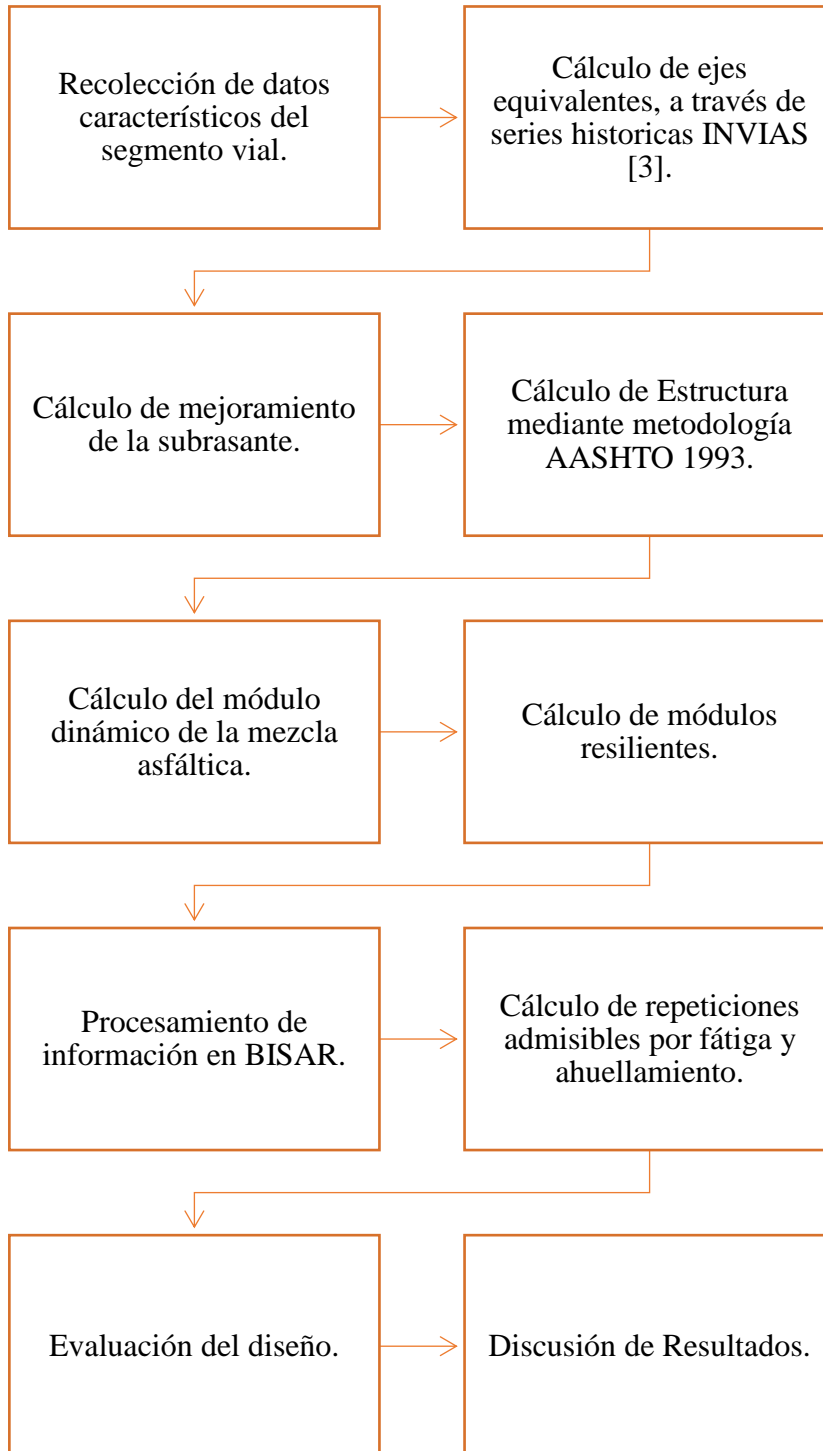
Tabla 2 Variables relevantes de la metodología INVIAS

Aspecto	Incidencia
Análisis de la variable tránsito	Procedimiento para el manejo de las bases de datos existentes y de los conteos y pesajes de vehículos que se realicen especialmente para el proyecto, así como la cuantificación del tránsito durante el periodo de diseño.
Análisis de las condiciones climáticas del proyecto	Las bases de datos del IDEAM, que disponen de información detallada de las características del clima, el diseñador puede Acceder a la información y utilizarlas en la cuantificación del clima del proyecto.
Subrasante	Las actividades mínimas que se deben realizar para determinar el parámetro que caracterice a cada una de las unidades homogéneas de diseño según la categoría del proyecto bien sea de un suelo natural, de un suelo mejorado, o de un suelo importado. Caracterizar el material de subrasante teniendo en cuenta la confiabilidad de la vía. Se presentan características de los suelos típicos colombianos como guía de los parámetros que se esperan durante el proceso de caracterización.
Materiales	Se indica la metodología a seguir para caracterizar los materiales viales utilizados en los pavimentos flexibles teniendo como referente las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del año 2013 y la metodología actualizada para la evaluación dinámica de los materiales compactados hasta los estándares establecidos.
Diseño estructural	El método mecánico empírico recomendado para verificar la estructura propuesta por el diseñador.

Fuente: Elaboración Propia.

METODOLOGÍA

La metodología planteada para el desarrollo del trabajo consiste:



Fuente: Elaboración Propia

INFORMACIÓN GENERAL DEL SEGMENTO

La vía que será caso de estudio se encuentra ubicada en el Municipio de Zipaquirá –Cundinamarca:



*Ilustración 1 Localización vía Paso Nacional - Zipaquirá
Fuente: Google Maps.*

Vía paso nacional por Zipaquirá del PR 25+0200 al PR28+0200:



*Ilustración 2 Vista general del segmento vial
Fuente: Google Maps.*

CARACTERIZACIÓN DE LA VÍA

Se ubicó la información INVIAS de las series históricas del tránsito [3]:

Tabla 3 Serie Histórica y Composición del Tránsito Promedio Diario - TPD

ESTAC. No.	SECTOR	CODIGO VIA	LONGITUD (KM)	SERIE HISTÓRICA Y COMPOSICIÓN DEL TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO SEMANAL TPDs																
				TERRITORIAL CUNDINAMARCA																DESVIA. ESTAND. (σ)
				1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011		
12	LA CARO-CAJICA		7	17.433	17.687	20.308	23.446	18.973	20.788	22.926	30.277	24.870	27.847	26.753	34.960	35.253	38.490	41.631	7783	
				76-9-15	73-9-18	71-9-20	77-8-15	66-12-22	73-12-15	76-11-12	75-11-14	64-17-19	70-10-20	70-10-20	72-10-18	62-11-27	75-10-15	69-11-20		
13	PASO NACIONAL POR Zipaquirá	45A04	3	11.130	13.180	13.731	13.566	12.069	10.677	11.521	9.804	12.423	12.214	13.956	17.516	17.526	19.549	19.456	3146	
				67-11-22	69-11-20	68-10-22	67-11-22	58-13-29	60-17-23	66-13-21	63-19-18	61-16-23	63-14-23	57-15-28	62-13-25	61-13-26	64-12-24	62-12-26		
15	ZIPAQUIRA-COGUA		5	3.073	3.445	3.381	3.300	3.382	3.459	3.170	3.462	3.802	3.566						202	
				69-14-17	74-12-14	77-11-12	75-13-12	74-13-13	65-24-11	74-4-22	66-23-11	67-23-10	71-23-6	--	--	--				
18	TE DEL NEUSA-UBATE	45A04	32	4.683	6.285	5.226	2.698	4.653	4.864	5.426	5.793	6.155	6.136	9.410	11.684	7.001	6.911	8.418	2180	
				58-6-36	65-8-27	61-10-29	59-11-30	58-9-33	57-10-33	52-2-46	57-11-32	54-10-36	53-10-37	55-11-34	62-11-27	53-12-35	55-11-34	52-10-38		

Fuente: INVIAS

Tabla 4 TPDs caracterizados por camión

Año	TPDS	Autos	Buses	Camiones	Distribución porcentual de camiones				
		% A	% B	% C	C2P	C2G	C3 - C4	C5	C6
2001	12.069	58,00	13,00	29,00	28,06	37,09	14,49	6,85	13,51
2002	10.677	60,00	17,00	23,00	28,06	37,09	14,49	6,85	13,51
2003	11.521	66,00	13,00	21,00	28,06	37,09	14,49	6,85	13,51
2004	9.804	63,00	19,00	18,00	28,06	37,09	14,49	6,85	13,51
2005	12.423	61,00	16,00	23,00	28,06	37,09	14,49	6,85	13,51
2006	12.214	63,00	14,00	23,00	25,46	42,09	12,22	7,23	13,00
2007	13.956	57,00	15,00	28,00	23,27	46,53	12,12	6,45	11,62
2008	17.516	62,00	13,00	25,00	34,89	30,40	21,05	4,37	9,29
2009	17.526	61,00	13,00	26,00	27,83	33,85	15,71	7,85	14,76
2010	19.549	64,00	12,00	24,00	30,14	33,65	11,85	6,67	17,69
2011	19.456	62,00	12,00	26,00	26,76	36,00	14,00	8,56	14,68

Fuente: INVIAS

EST N°	SECTOR	TPDS CAMIONES AÑO 2006						TPDS CA		
		TOTAL	C - 2P	C - 2G	C - 3 - 4	C - 5	>C - 5	TOTAL	C - 2P	C -
5	CALLE 232 - LA CARO	42,717	8,920 20.88%	19,648 46.00%	4,223 9.89%	3,658 8.56%	6,268 14.67%	53,478	15,192 28.41%	21,395 39.9%
6	LA CARO - BRICEÑO	42,013	10,558 25.13%	19,385 46.14%	3,338 7.95%	2,678 6.37%	6,054 14.41%	42,510	13,905 32.71%	13,326 32.6%
7	SALITRE - SOPÓ - BRICEÑO	15,142	2,980 19.68%	8,727 57.63%	1,296 8.56%	805 5.32%	1,334 8.81%	9,884	3,778 38.22%	3,333 33.3%
8	GACHANCIPA - SESQUILE	17,362	5,453 31.41%	6,907 39.78%	1,030 5.93%	1,136 6.54%	2,836 16.33%	20,178	6,531 32.37%	6,934 34.2%
9	SESQUILE - SISGA	17,540	4,520 25.77%	7,896 45.02%	892 5.09%	1,280 7.30%	2,952 16.83%	21,318	6,775 31.78%	6,333 29.5%
12	LA CARO - CAJICÁ	39,371	12,940 32.87%	15,333 38.94%	4,595 11.67%	2,853 7.25%	3,650 9.27%	38,044	12,349 32.46%	13,365 36.5%
13	PASO NACIONAL POR ZIPAQUIRÁ	20,052	5,106 25.46%	8,439 42.09%	2,451 12.22%	1,449 7.23%	2,607 13.00%	27,659	6,437 23.27%	12,465 46.5%
15	ZIPAQUIRÁ - COGUA	1,386	1,386 100.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	22,059	5,367 24.33%	8,842 40.2%
18	TE DE NEUSA - UBATE	15,774	2,110 13.38%	7,284 46.18%	2,651 16.81%	3,619 22.94%	110 0.70%			
19	LA ALEMANA(LA YE) - CHIPAQUE	14,356	4,430 30.86%	4,080 28.42%	1,177 8.20%	2,653 18.48%	2,016 14.04%			

Fuente: INVIAS

En este punto es importante resaltar que un buen estudio de tránsito durante el periodo de diseño presenta una base sólida de trabajo cuando se está diseñando y entrega una mayor confiabilidad después de construido, ya que en gran medida los procesos de deterioro se ven afectados por las sollicitaciones de tránsito viéndose reflejado directamente en la fatiga de la estructura, sabiendo esto y aunque no se realiza en el presente caso de estudio un análisis estructural, son consideraciones que deben tenerse claras en la evaluación a realizar, puesto que dependiendo el origen de las fallas pueden ser clasificadas como fallas funcionales o fallas estructurales.

CÁLCULO DEL TRÁNSITO

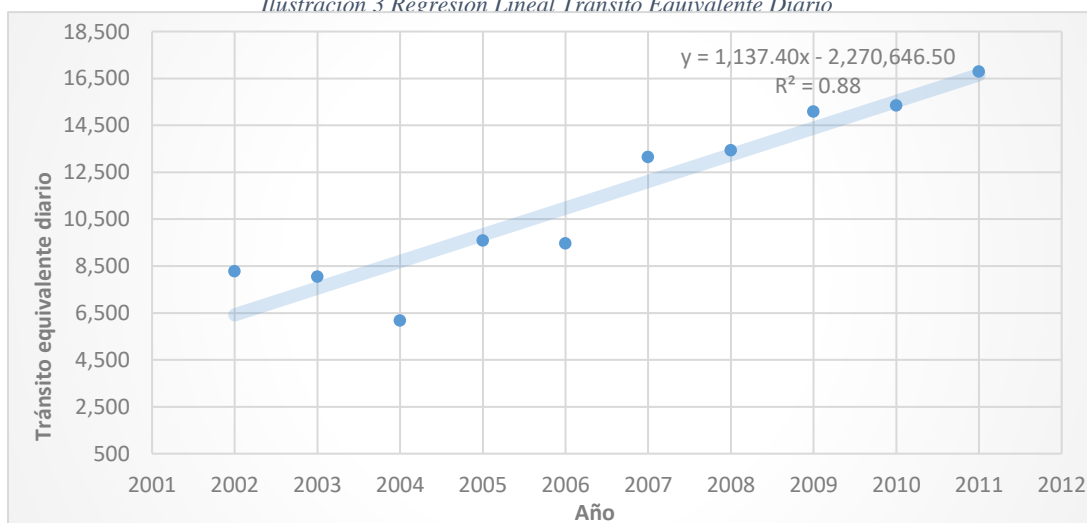
De acuerdo al Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito: Se debe realizar un análisis de regresión a partir de los registros de conteos vehiculares de al menos 10 años previos al año de diseño [4], descartando de la serie histórica los valores de los años con condiciones anormales, para lo cual se plantea una regresión desde 2002 a 2011, y así se realiza un análisis estadístico para establecer modelos de crecimiento de tipo lineal o exponencial.

Tabla 5 Valores del tránsito equivalente diario

Año	Tránsito Equivalente Diario
2001	11.396
2002	8.282
2003	8.043
2004	6.175
2005	9.586
2006	9.468
2007	13.154
2008	13.441
2009	15.089
2010	15.355
2011	16.800

Fuente: Elaboración Propia.

Ilustración 3 Regresión Lineal Tránsito Equivalente Diario



Fuente: Elaboración Propia.

La relación calculada es de carácter lineal:

Tabla 6 Análisis de regresión tránsito equivalente

Modelo lineal	
$y=1.137,40x - 2.270.646,50$	
R² =	0,8837
R=	0,9401

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 7 Comparación de tránsitos equivalentes diarios

Año	Tránsito Equivalente Diario Observado	Tránsito Equivalente Estimado por el Modelo Asumido	Diferencia de Tránsitos	Diferencia²
2002	8282	6428,30	-1853	3435104
2003	8043	7565,70	-477	227884
2004	6175	8703,10	2528	6392551
2005	9586	9840,50	254	64612
2006	9468	10977,90	1510	2280332
2007	13154	12115,30	-1038	1077939
2008	13441	13252,70	-189	35572
2009	15089	14390,10	-699	488232
2010	15355	15527,50	172	29745
2011	16800	16664,90	-135	18278
			Sumatoria=	3930098

Fuente: Elaboración Propia.

- Cálculo del error estándar del modelo de proyección asumido durante el período de la serie histórica:

$$s = 660,8158$$

- Determinación del valor promedio de los años registrados en la serie histórica:

$$\text{Año promedio} = 2007$$

Tabla 8 Cálculo de la diferencia al cuadrado de cada año y el valor promedio de los años

Año	(Año - Año medio)²
2002	20,25
2003	12,25
2004	6,25
2005	2,25
2006	0,25
2007	0,25
2008	2,25
2009	6,25
2010	12,25
2011	20,25
S=	43,75

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 9 Calculo del error del pronóstico del número de ejes equivalentes, para cada año del periodo de proyección

Nivel de confianza=		90%			
Año	Tránsito equivalente diario proyectado	Error de pronóstico	Zr	Error proyectado	Límite superior de tránsito equivalente diario
2012	17802	584,4906	1,282	749,3170	18551,6170
2013	18940	679,2670	1,282	870,8203	19810,5203
2014	20077	775,3325	1,282	993,9763	21071,0763
2015	21215	872,2613	1,282	1118,2390	22332,7390
2016	22352	969,7945	1,282	1243,2765	23595,1765
2017	23489	1067,7665	1,282	1368,8767	24858,1767
2018	24627	1166,0668	1,282	1494,8977	26121,5977
2019	25764	1264,6188	1,282	1621,2413	27385,3413
2020	26902	1363,3678	1,282	1747,8376	28649,3376
2021	28039	1462,2741	1,282	1874,6354	29913,5354
Sumatoria =	151172			Sumatoria=	242289,1177

Fuente: Elaboración Propia.

Dado que la vía nacional 45A, es una autopista con doble calzada (proyecto a cargo de Devinorte), el factor de distribución por carril y factor de distribución direccional son:

Ilustración 4 Porcentaje de ejes equivalente en el carril de diseño

No. carriles en cada dirección	Porcentaje de ejes simples equivalentes de 18 kips en el carril de diseño (F_c)
1	100
2	80 – 100
3	60 – 80
4 ó más	50 – 75

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993

- Calculo del tránsito equivalente de diseño para las condiciones normales:

N= 13.265.329,19

N= **1,3E+07 Ejes de 8,2 Toneladas**

CÁLCULO DE MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE

El espesor del mejoramiento se encuentra determinando el número estructural requerido bajo dos suposiciones:

- La primera cuando la estructura de pavimento se apoye sobre el suelo natural de comportamiento deficiente, o sea con el módulo resilientes del suelo natural de comportamiento deficiente. (SNe).
- La segunda con el módulo resilientes que se pretende alcanzar con la subrasante importada que como ya se anotó se construirá con suelo seleccionado adecuado para terraplenes, o sea con el módulo resilientes conjunto suelo natural – material mejoramiento. (SNm).

De tal forma en una hoja de Excel programada, se calculan los números estructurales, de tal forma se obtiene que:

Tabla 10 Cálculo de número estructurales para mejoramiento.

TRANSITO EAL	7.22E+06
LOG10(EAL)	6.859
R %	95
ZR	-1.645
So	0.450
p _o	4.5
P _t	2.5
D PSI	2.0
CBR	2.0
SUBRASANTE	
CBR RAJÓN	10.0
M _R SUBRASANTE	3982
M _R RAJÓN	11153
SNm	5.822
SNe	4.186
ΔSN	1.636

Fuente: Elaboración Propia.

Se calcula el espesor del mejoramiento de la subrasante, siguiendo la relación expresada como:

Ilustración 5 Ecuación mejoramiento a través de metodología AASHTO..

Ec.4.22

$$H_{\text{capa mejoramiento}} = \frac{\Delta SN}{a_i * m_i}$$

Fuente: Guía de diseño para altos y medios volúmenes de tránsito INVIAS 2016.

Tabla 11 Cálculo de espesor de mejoramiento mediante metodología AASHTO

MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE	1.636
a2	0.080
D2	20.5
ESPESOR MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE ADOPTADO EN CM	52.0

Fuente: Elaboración Propia.

Para el método de mejoramiento usando AASHTO, debe tenerse en cuenta que el coeficiente estructural fue estimado para la subrasante mejorada.

Posteriormente, se aplica el método de Giroud y Han a modo de comparación, usando la ecuación[4]:

Ilustración 6 Ecuación para mejoramiento a través de Giroud y Han

Ec.4.23

$$h = \frac{0.868 + (0.661 - 1.006 * J^2) * \left(\frac{r}{h}\right)^{1.5} * \log N}{1 + 0.204 * (R_E - 1)} \left(\sqrt{\frac{\frac{P}{\pi * r^2}}{\left(\frac{s}{r_s}\right) * (1 - 0.9 \exp\left(-\left(\frac{r}{h}\right)^2\right) * N_c * f_c * CBR_{sg}} - 1}\right)} * r \right)$$

Dónde: _____

h = Espesor requerido de material granular compacto, el método recomienda un espesor mínimo de 0.1m

J (N/m²) = Módulo de rigidez torsional del geosintético a utilizar, si no se utiliza geosintético se toma como 0.

N = Número de repeticiones de carga del eje de diseño y en el carril de diseño, en este caso sería el estimado con el tránsito que circularía por la subrasante durante la construcción.

Si el valor de R_E es mayor que 5 se tomará como valor R_E = 5

CBR_{sg} = CBR del suelo natural

s(mm) = Ahuellamiento permitido en el suelo natural.

f_s = Ahuellamiento de referencia. Valor recomendado 75mm

f_c = Factor que multiplica al valor de CBR para convertirlo en resistencia al corte no drenada. El método recomienda tomar un valor igual a 30 KPa (para valores de CBR entre 1 y 5)

Fuente: Guía de diseño para altos y medios volúmenes de tránsito INVIAS 2016.

Se ingresan los datos de cálculo a la hoja de Excel programada previamente, obteniendo:

Tabla 12 Datos de entrada para el mejoramiento

J (N/m ²)	0
P (KN)	82
r (m)	0.22
N	3000
Presión Inflado (MPa)	550
s (mm)	30
fs (mm)	75

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 13 Cálculo de espesor de mejoramiento

Subrasante			Mejoramiento				Fundación equivalente	
Subrasante			Material Granular				Fundación Equivalente	
CBR (%)	Mr (MPa/m)	fc (KPa)	h (m)	CBR (%)	Mr (MPa/m)	Nc	RE	h (m)
2.0	21	30	0.466	10	66	3.14	3	0.466

Fuente: Elaboración Propia.

El espesor de mejoramiento calculado a través de Solver, es de 47 cm.

Entre ambos métodos no se encuentra una diferencia considerable, el espesor de mejoramiento hallado fue menor por el método de Giroud y Han en comparación al AASHTO 1993. Se elige la de AASHTO al ser mayor y posiblemente ofrecer una mayor seguridad.

CÁLCULO DE ESTRUCTURA MEDIANTE METODOLOGÍA AASHTO

1993

Se calculan los espesores de pavimento flexible por AASHTO 1993 [4].

Ilustración 7 Ecuación AASHTO para cálculo de estructuras

Se resuelve:

$$\log_{10} W_{18} = Z_R * S_o + 9.36 * \log_{10}(SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta \text{PSI}}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10} M_R - 8.07$$

Fuente: Elaboración Propia.

Estableciendo que:

Tabla 14 Parámetros de diseño

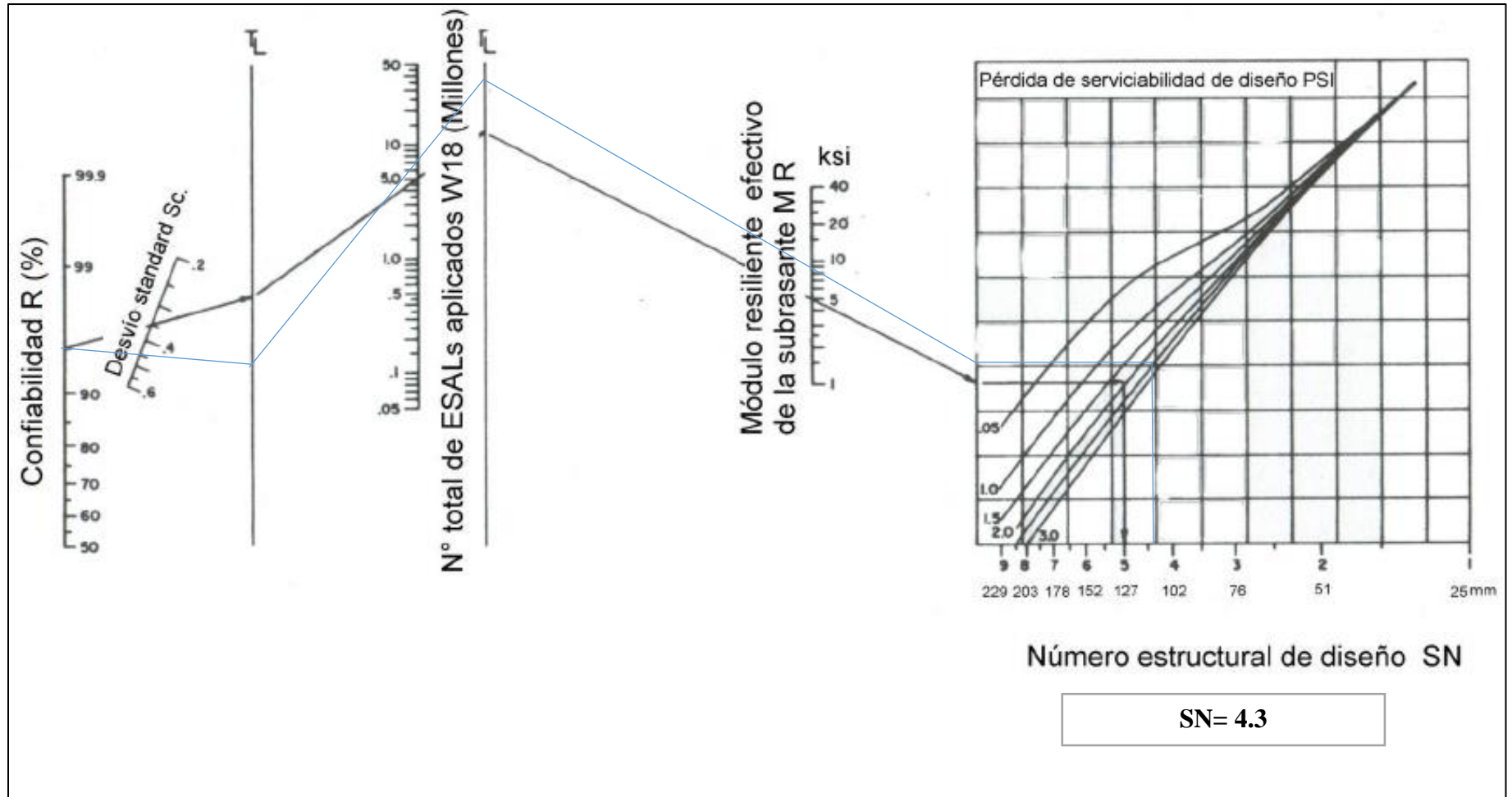
Po	4.5	ΔPSI= 2
Pf	2.5	
R %	95	
Zr	1.645	
So	0.45	
Mr Subrasante	CBR= 7%	8876 ¹ PSI
N	7,300,000.00	ESALS

Fuente: Elaboración Propia.

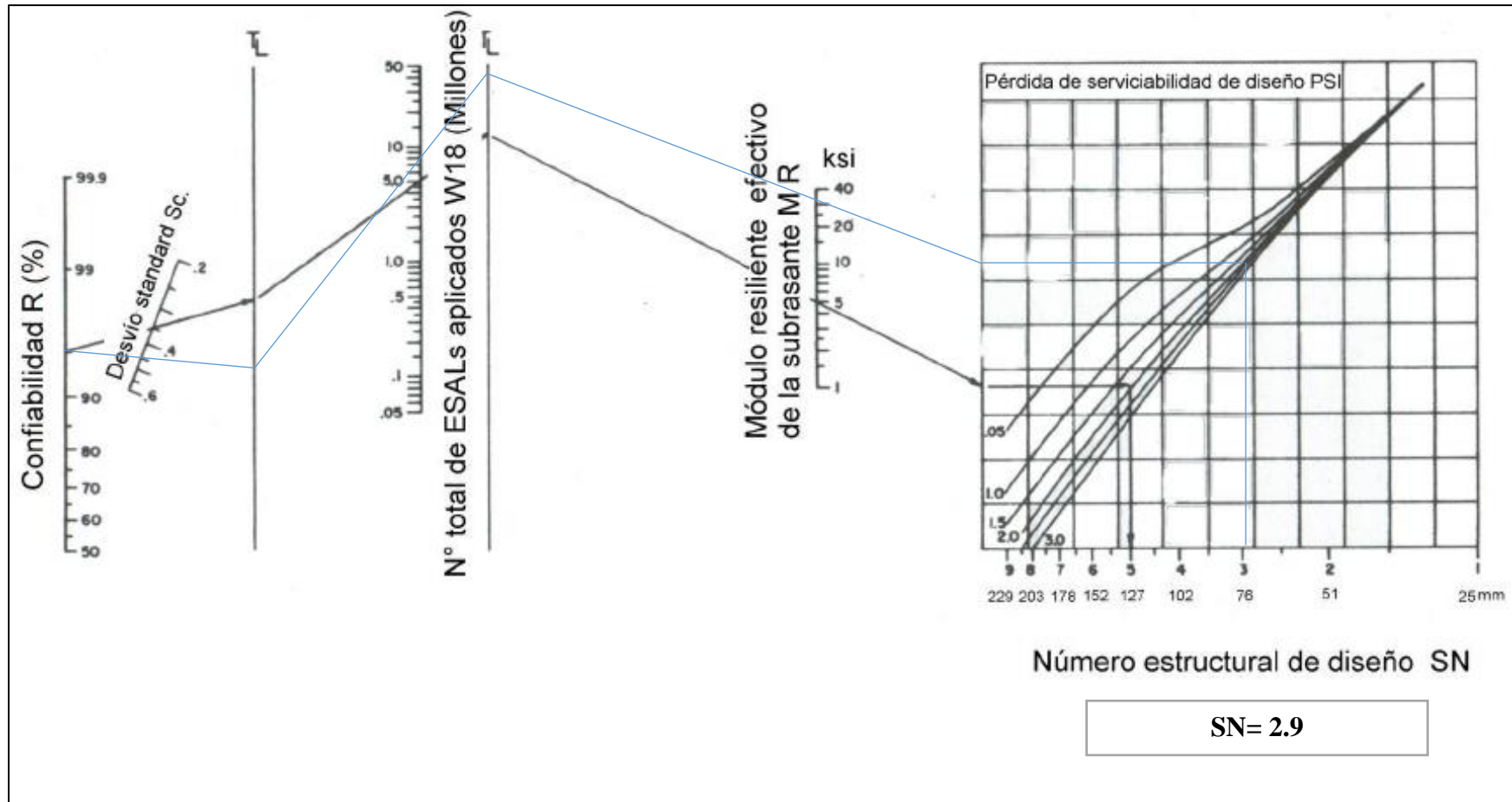
De tal forma de acuerdo a indicaciones, se obtiene el número estructural de acuerdo al módulo resiliente de la capa a proteger.

¹ Correlación: 2555*CBR^(0.64)

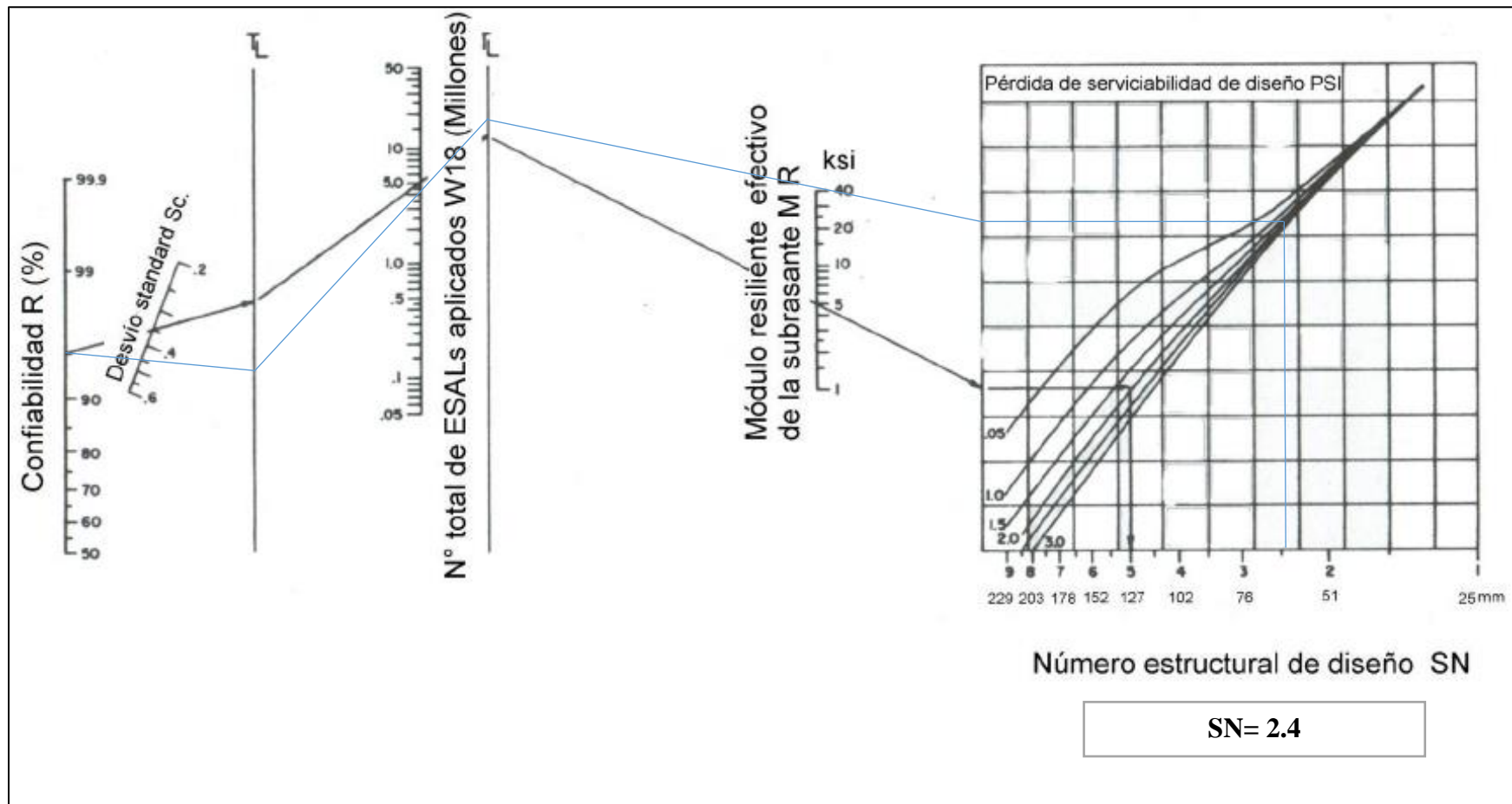
Posteriormente, se determina el número estructural para la sub-base:



Luego, se determina el número estructural para la base, se asume que la sub-base tendrá un CBR de 50%, es decir un $MR=31241$ PSI.



Por último, se determina el número estructural para la capa de rodadura, se asume que la base tendrá un CBR de 90%, es decir un MR= 45510 PSI.



De tal forma, se obtienen los datos como se muestra a continuación:

Tabla 15 Número Estructural Obtenido

SN SUBBASE	4.3	Datos dados	a3	0.11
SN BASE GRANULAR	2.9		a2	0.14
SN CARPETA ASFALTICA	2.4		a1	0.44

Fuente: Elaboración Propia.

Se asumieron coeficientes de drenaje de 1.0:

Tabla 16 Cálculo de Espesores

CAPA	SN Hallado	SN	H OBTENIDO (IN)	H OBTENIDO (CM)	H DEFINITIVO (CM)
SUBBASE	4.3	1.4	13	32	32
BASE GRANULAR	2.9	0.5	4	9	10
CARPETA ASFALTICA	2.4	2.4	5	14	14

Fuente: Elaboración Propia.

Ilustración 8 Estructura calculada con metodología AASHTO



Fuente: Elaboración Propia.

Los 10 cm, por métodos constructivos deben ser mínimo 15 cm.

Se probará la estructura en BISAR con 10 cm, de conformidad con lo obtenido exactamente por metodología AASHTO 1993.

CÁLCULO DEL MÓDULO DINÁMICO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

Se trabajará con una mezcla de penetración 60-70 y tipo MDC-19, la cual presenta una granulometría:

Tabla 17 Granulometría de la mezcla MDC-19

MDC-19	
Tamiz	% Pasa
3/4"	100
1/2"	95
3/8"	88
No. 4	65
No. 10	45
No. 40	25
No. 80	17
No. 200	8

Fuente: Elaboración Propia.

No. Tamiz	Porcentaje (%) Retenido	Porcentaje (%) Retenido acumulado	Porcentaje (%) Pasa
3/4"		-	100.00
3/8"	12.00	12.00	88.00
# 4	23.00	35.00	65.00
# 200	57.00	92.00	8.00

Fuente: Elaboración Propia.

La temperatura promedio de Zipaquirá es 11.5°C.

Usando la ecuación del manual, obtenemos la viscosidad en CentiPoise:

Ilustración 9 Relación lineal entre la viscosidad y la temperatura para la mezcla asfáltica

Ec.5.2

$$\log \log \eta = A + VTS * \log TR$$

Dónde: _____

η : Viscosidad, centiPoise

TR: Temperatura, °Rankine

A: Intercepto de la regresión resultante al relacionar Viscosidad y temperatura.

Fuente: Guía de diseño para altos y medios volúmenes de tránsito INVIAS 2016 [4].

De acuerdo al manual, se obtiene que para un asfalto 60-70

Tabla 5.10 – Parámetros A y VTS RTFOT recomendados en el grado de viscosidad del asfalto

Grado	A	VTS
40-50	10.5254	-3.5047
60-70	10.6508	-3.5537
85-100	11.8232	-3.6210
120-150	11.0897	-3.7252
200-300	11.8107	-4.0068

Fuente: Guía de diseño para altos y medios volúmenes de tránsito INVIAS 2016 [4].

Entonces, la viscosidad está dada por:

$$\text{LogLog } \eta = 10.6508 - 3.5537 * \text{Log } TR$$

$$\text{LogLog } \eta = 10.6508 - 3.5537 * \text{Log } (512.60)$$

Ingresando los datos en la hoja de cálculo formulada:

Tabla 18 Cálculo de módulo dinámico de la mezcla asfáltica

E= Modulo Dinámico PSI	6.40	SOLUCIÓN DE LA FÓRMULA	
η = Viscosidad del Asfalto, 10 ⁶ Poises	3.140	-1.015377	-2.08464947
f= Frecuencia de Carga, Hz	10.00	-0.113088	

Va= % vacíos con aire en la mezcla compactada	5.00	-0.099435	
Vbeff= % efectivo de asfalto en volumen	12.00	-0.290485	
P34= % Acumulado retenido en el tamiz 3/4"	-	-0.566264471	
P38= % Acumulado retenido en el tamiz 3/8"	12.00	3.843525	2.869994593
P4= % Acumulado retenido en el tamiz #4	35.00	1.33920984	
P200= % Pasa en el Tamiz #200	8.00		0.785345123
E= Modulo Dinámico KG/CM²	45.159,59		

Fuente: Elaboración Propia.

El módulo dinámico de la mezcla asfáltica es 45.000 kg/cm².

CÁLCULO DE MÓDULOS RESILIENTES

Módulo Resiliente Subrasante mejorada

Usando el modelo de la Transport Research Laboratory (TRL):

$$Mr = 2555 * CBR^{0.64} \text{ (PSI)}$$

$$Mr = 2555 * (7)^{0.64} = 8877 \text{ PSI}$$

El módulo Resiliente de la subrasante se establece como 8877 PSI.

Módulo Resiliente Granulares

Usando el modelo SHELL:

$$Mr = 0.206 * H^{0.45} * Mr \text{ apoyo}$$

H en mm y Mr en kg/cm².

Aplicando la ecuación en una hoja de Excel previamente programada:

Tabla 19 Cálculo de módulos resilientes

MODULOS CAPAS DE PAVIMENTO CONDICIONES ORIGINALES				
	CBR	E(PSI)	E(KG/CM²)	E (MPa)
BASE GRANULAR	NA	NA	2820	282
SUBBASE GRANULAR	NA	NA	1724	172
MEJORAMIENTO	7	8876.74	624	62

Fuente: Elaboración Propia.

Módulo Resiliente Subrasante mejorada teniendo en cuenta los factores de diseño manual INVIAS 2016 – Clima

En el diseño se asumen propiedades de los materiales, las cuales afectan el comportamiento de las estructuras de forma directa. Por lo anterior, se debe verificar tanto las características de los materiales a emplear como la disponibilidad de los mismos.

Se presentan características de los suelos típicos colombianos como guía de los parámetros que se esperan durante el proceso de caracterización, y para lo cual tienen variaciones respecto con el clima:

Primero determinaremos la variación de módulos a través de los meses [5]:

Tabla 20 Cálculo del módulo resiliente de la subrasante:

Meses	Precipitación ² mm	Temperatura C ²	Índice de calor	E. mensual (mm)	Días del mes	E. corregida (mm)	Alm. (mm)	Exceso (mm)	Déficit (mm)	TMI	Succión (KPa)	Saturación (-)	Fenv (%)	Módulo resiliente mensual (psi)	Daño Relativo
Enero	30,0	13,0	4,25	58,99	31	60,96	0,0	0,0	0,0	0,0	143,03	0,938	82,50%	7324	0,19
Febrero	40,9	12,0	3,76	53,74	28	50,16	0,0	0,0	-9,2	-11,0	225,74	0,917	88,86%	7887	0,16
Marzo	67,0	11,0	3,30	48,56	31	50,17	16,8	0,0	0,0	0,0	143,03	0,938	82,50%	7324	0,19
Abril	106,8	12,0	3,76	53,74	30	53,74	69,9	22,9	0,0	42,7	43,87	0,972	73,34%	6511	0,26
Mayo	106,2	12,0	3,76	53,74	31	55,53	100,0	50,7	0,0	91,2	22,42	0,982	70,81%	6285	0,28
Junio	58,6	11,0	3,30	48,56	30	48,56	100,0	10,1	0,0	20,7	73,17	0,960	76,34%	6776	0,23
Julio	62,8	11,0	3,30	48,56	31	50,17	100,0	12,6	0,0	25,1	65,06	0,963	75,54%	6706	0,24
Agosto	43,4	10,0	2,86	43,45	31	44,90	98,5	0,0	0,0	0,0	143,03	0,938	82,50%	7324	0,19
Setiembre	63,7	11,0	3,30	48,56	30	48,56	100,0	15,1	0,0	31,1	56,19	0,967	74,65%	6626	0,25
Octubre	114,0	11,0	3,30	48,56	31	50,17	100,0	63,8	0,0	127,1	17,19	0,985	70,10%	6223	0,28
Noviembre	87,9	11,0	3,30	48,56	30	48,56	100,0	39,3	0,0	80,9	24,89	0,980	71,12%	6313	0,27
Diciembre	45,3	13,0	4,25	58,99	31	60,96	84,4	0,0	0,0	0,0	143,03	0,938	82,50%	7324	0,19
Promedio	69		42,44		365		53,4								0,23
P200	PI	wPI	Cálculo de la succión				Cálculo de la saturación				Correlaciones				
70,5	24	16,92	alpha	beta	gamma	delta	af	bf	cf	hr	S ópt (-)	Gs	W ópt (-)	gamma d,max (kg/m3)	Cont. de humedad óptimo
			0,3	921,41	150,99	29,84	125,31	0,58	0,11	500	0,88	2,74	0,21	1651,87	0,35
CBR diseño	Módulo resiliente condición óptima	Constante a													
7,00	8877	1,16566602													

² Datos tomados de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), PROMEDIOS CLIMATOLÓGICOS 2011, Estación PG - 21200740.

Cálculo del módulo dinámico de la mezcla (se usó ábacos para obtener temperatura de la mezcla en °C), y se obtienen a través de la curva maestra de Arrhenius:

Análisis: Dinámico.

Frecuencia (Hz): 10.

Tabla 21 Cálculo del módulo dinámico de la mezcla

Período	CÁLCULO MÓDULO RESILIENTE SUBRASANTE				CÁLCULO MÓDULO DINÁMICO				GRANULARES	
	Precipitación mm	Succión KPa	Módulo Resiliente (PSI)	Módulo Resiliente Subrasante (MPa)	Temperatura WMAAT °C	Temperatura Mezcla °C	Módulo Dinámico (PSI)	Módulo Dinámico (MPa)	Módulo SBG (MPa)	Módulo BG (MPa)
Enero	30.0	143.03	7323.75	50	13	20.0	1,037,388.10	7,262	142	233
Febrero	40.9	225.74	7887.44	54	12	18.3	1,142,287.78	7,996	153	251
Marzo	67.0	143.03	7323.75	50	11	17.0	1,225,325.35	8,577	142	233
Abril	106.8	43.87	6510.51	45	12	18.3	1,142,287.78	7,996	126	207
Mayo	106.2	22.42	6285.24	43	12	18.3	1,142,287.78	7,996	122	200
Junio	58.6	73.17	6776.32	47	11	17.0	1,225,325.35	8,577	132	215
Julio	62.8	65.06	6705.87	46	11	17.0	1,225,325.35	8,577	130	213
Agosto	43.4	143.03	7323.75	50	10	15.5	1,323,561.94	9,265	142	233
Septiembre	63.7	56.19	6626.37	46	11	17.0	1,225,325.35	8,577	129	211
Octubre	114.0	17.19	6222.54	43	11	17.0	1,225,325.35	8,577	121	198
Noviembre	87.9	24.89	6313.49	44	11	17.0	1,225,325.35	8,577	123	201
Diciembre	45.3	143.03	7323.75	50	13	20.0	1,037,388.10	7,262	142	233

- Se obtienen los datos que se presentan a continuación:

Tabla 22 Resumen módulos por mes

Período	CÁLCULO MÓDULO RESILIENTE SUBRASANTE				CÁLCULO MÓDULO DINÁMICO			
	Precipitación mm	Succión KPa	Módulo Resiliente (PSI)	Módulo Resiliente Subrasante (MPa)	Temperatura WMAAT °C	Temperatura Mezcla °C	Módulo Dinámico (PSI)	Módulo Dinámico (MPa)
Enero	30,0	143,03	7323,75	50	13	20,0	1.037.388,10	7.262
Febrero	40,9	225,74	7887,44	54	12	18,3	1.142.287,78	7.996
Marzo	67,0	143,03	7323,75	50	11	17,0	1.225.325,35	8.577
Abril	106,8	43,87	6510,51	45	12	18,3	1.142.287,78	7.996
Mayo	106,2	22,42	6285,24	43	12	18,3	1.142.287,78	7.996
Junio	58,6	73,17	6776,32	47	11	17,0	1.225.325,35	8.577
Julio	62,8	65,06	6705,87	46	11	17,0	1.225.325,35	8.577
Agosto	43,4	143,03	7323,75	50	10	15,5	1.323.561,94	9.265
Setiembre	63,7	56,19	6626,37	46	11	17,0	1.225.325,35	8.577
Octubre	114,0	17,19	6222,54	43	11	17,0	1.225.325,35	8.577
Noviembre	87,9	24,89	6313,49	44	11	17,0	1.225.325,35	8.577
Diciembre	45,3	143,03	7323,75	50	13	20,0	1.037.388,10	7.262

Fuente: Elaboración Propia.

PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN EN BISAR

Se montó la información en BISAR para cada uno de los ejes estimados:

Ilustración 10 Eje Simple Rueda Simple 4 TON

Project:	SRS- 4 TON												
System:	1: (untitled)												
Layer	Thickness	Modulus Elasticity	Poisson's Ratio	Load Number	Vertical Load (kN)	Vertical Stress (MPa)	Horz. (Shear) Load (kN)	Horz. (Shear) Stress (MPa)	Radius (m)	X-Coordinate (m)	Y-Coordinate (m)	Shear Angle (Degrees)	
Number	(m)	(MPa)											
1	0,14	4,50E+03	0,35	1	2,00E+01	5,56E-01	0,00E+00	0,00E+00	1,07E-01	0,00E+00	-1,60E-01	0,00E+00	
2	0,1	2,82E+02	0,35										
3	0,32	1,72E+02	0,35										
4		6,20E+01	0,35										
Position	Layer	X-Coordinate	Y-Coordinate	Depth	Stress XX	Stress YY	Stress ZZ	Strain XX	Strain YY	Strain ZZ	Displacemer UX	Displacemer UY	Displacement UZ
Number	Number	(m)	(m)	(m)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	µstrain	µstrain	µstrain	(µm)	(µm)	(µm)
1	1	0,00E+00	-1,60E-01	0,00E+00	-1,07E+00	-1,07E+00	-5,56E-01	-1,12E+02	-1,12E+02	4,34E+01	0,00E+00	0,00E+00	2,39E+02
2	1	0,00E+00	-1,60E-01	1,40E-01	7,49E-01	7,49E-01	-7,90E-02	1,14E+02	1,14E+02	-1,34E+02	0,00E+00	0,00E+00	2,31E+02
3	2	0,00E+00	-1,60E-01	2,40E-01	2,09E-02	2,09E-02	-4,01E-02	9,79E+01	9,79E+01	-1,94E+02	0,00E+00	0,00E+00	2,08E+02
4	3	0,00E+00	-1,60E-01	5,60E-01	1,25E-02	1,25E-02	-1,04E-02	6,83E+01	6,83E+01	-1,11E+02	0,00E+00	0,00E+00	1,60E+02
5	4	0,00E+00	-1,60E-01	5,60E-01	9,29E-04	9,29E-04	-1,04E-02	6,83E+01	6,83E+01	-1,78E+02	0,00E+00	0,00E+00	1,60E+02
6	1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-4,46E-01	-2,68E-01	0,00E+00	-7,82E+01	-2,48E+01	5,55E+01	0,00E+00	-1,25E+01	2,08E+02
7	1	0,00E+00	0,00E+00	1,40E-01	3,97E-01	2,12E-01	-4,03E-02	7,48E+01	1,95E+01	-5,63E+01	0,00E+00	1,20E+01	2,08E+02
8	2	0,00E+00	0,00E+00	2,40E-01	1,55E-02	9,17E-03	-2,84E-02	7,90E+01	4,85E+01	-1,31E+02	0,00E+00	1,26E+01	1,95E+02
9	3	0,00E+00	0,00E+00	5,60E-01	1,15E-02	1,06E-02	-9,52E-03	6,46E+01	5,77E+01	-1,00E+02	0,00E+00	1,03E+01	1,56E+02
10	4	0,00E+00	0,00E+00	5,60E-01	8,64E-04	5,44E-04	-9,52E-03	6,46E+01	5,77E+01	-1,62E+02	0,00E+00	1,03E+01	1,56E+02

Number of Systems (1-10): 1

System Description:

Loads Layers Positions

Use Standard Dual Wheel? Save Retrieve

Mode of Load: 2 - Load and Radius No of Circular Loads (1-10): 1

Load Number	Vertical Load (kN)	Radius (m)	X Coordinate (m)	Y Coordinate (m)	Horizontal Load (kN)	Shear Direction (degr.)
1	20,000	0,1070	0,0000	-0,1599	0,000	0,0

Number of Systems (1-10): 1

System Description:

Loads Layers Positions

Full Friction Between Layers? Save Retrieve

No of Layers (1-10): 4

Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio
1	0,140	4,50E+03	0,35
2	0,100	2,82E+02	0,35
3	0,320	1,72E+02	0,35
4		6,20E+01	0,35

Number of Systems (1-10): 1

System Description:

Loads Layers Positions

Select Positions for Standard Dual Wheel Save Retrieve

No of Position Entries (1-10): 10

Position Number	X Coordinate (m)	Y Coordinate (m)	Z (depth) Coordinate (m)	Layer No
1	0,0000	-0,1599	0,0000	1
2	0,0000	-0,1599	0,1400	1
3	0,0000	-0,1599	0,2400	2
4	0,0000	-0,1599	0,5600	3
5	0,0000	-0,1599	0,5600	4
6	0,0000	0,0000	0,0000	1
7	0,0000	0,0000	0,1400	1
8	0,0000	0,0000	0,2400	2
9	0,0000	0,0000	0,5600	3
10	0,0000	0,0000	0,5600	4

Select Layer

Fuente: Elaboración Propia.

Ilustración 11 Eje Simple Rueda Simple 6 TON

Project:		SRS- 6TON											
System:		1: (untitled)											
Layer	Thickness	Modulus Elasticity	Poisson's Ratio	Load Number	Vertical Load (kN)	Vertical Stress (MPa)	Horz. (Shear) Load (kN)	Horz. (Shear) Stress (MPa)	Radius (m)	X-Coordinate (m)	Y-Coordinate (m)	Shear Angle (Degrees)	
1	0,14	4,50E+03	0,35	1	3,00E+01	5,57E-01	0,00E+00	0,00E+00	1,31E-01	0,00E+00	-1,96E-01	0,00E+00	
2	0,1	2,82E+02	0,35										
3	0,32	1,72E+02	0,35										
4		6,20E+01	0,35										
Position Number	Layer Number	X-Coordinate (m)	Y-Coordinate (m)	Depth (m)	Stress XX (MPa)	Stress YY (MPa)	Stress ZZ (MPa)	Strain XX µstrain	Strain YY µstrain	Strain ZZ µstrain	Displacemer UX (µm)	Displacemer UY (µm)	Displacement UZ (µm)
1	1	0,00E+00	-1,96E-01	0,00E+00	-1,31E+00	-1,31E+00	-5,57E-01	-1,46E+02	-1,46E+02	8,00E+01	0,00E+00	0,00E+00	3,49E+02
2	1	0,00E+00	-1,96E-01	1,40E-01	9,65E-01	9,65E-01	-1,05E-01	1,48E+02	1,48E+02	-1,74E+02	0,00E+00	0,00E+00	3,42E+02
3	2	0,00E+00	-1,96E-01	2,40E-01	2,91E-02	2,91E-02	-5,73E-02	1,38E+02	1,38E+02	-2,76E+02	0,00E+00	0,00E+00	3,10E+02
4	3	0,00E+00	-1,96E-01	5,60E-01	1,85E-02	1,85E-02	-1,54E-02	1,01E+02	1,01E+02	-1,65E+02	0,00E+00	0,00E+00	2,40E+02
5	4	0,00E+00	-1,96E-01	5,60E-01	1,35E-03	1,35E-03	-1,54E-02	1,01E+02	1,01E+02	-2,64E+02	0,00E+00	0,00E+00	2,40E+02
6	1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-5,50E-01	-3,08E-01	0,00E+00	-9,83E+01	-2,57E+01	6,68E+01	0,00E+00	-1,93E+01	2,98E+02
7	1	0,00E+00	0,00E+00	1,40E-01	4,65E-01	2,04E-01	-4,83E-02	9,13E+01	1,29E+01	-6,28E+01	0,00E+00	1,79E+01	2,99E+02
8	2	0,00E+00	0,00E+00	2,40E-01	2,00E-02	9,27E-03	-3,66E-02	1,05E+02	5,35E+01	-1,66E+02	0,00E+00	2,06E+01	2,83E+02
9	3	0,00E+00	0,00E+00	5,60E-01	1,64E-02	1,45E-02	-1,36E-02	9,34E+01	7,89E+01	-1,42E+02	0,00E+00	1,83E+01	2,30E+02
10	4	0,00E+00	0,00E+00	5,60E-01	1,22E-03	5,55E-04	-1,36E-02	9,34E+01	7,89E+01	-2,30E+02	0,00E+00	1,83E+01	2,30E+02

Number of Systems (1-10): 1

System Description:

Loads Layers Positions

Use Standard Dual Wheel?

Save Retrieve

Mode of Load: 2 - Load and Radius No of Circular Loads (1-10): 1

Load Number	Vertical Load (kN)	Radius (m)	X Coordinate (m)	Y Coordinate (m)	Horizontal Load (kN)	Shear Direction (degr.)
1	30,000	0,1310	0,0000	-0,1960	0,000	0,0

Number of Systems (1-10): 1

System Description:

Loads Layers Positions

Full Friction Between Layers?

Save Retrieve

No of Layers (1-10): 4

Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio
1	0,140	4,50E+03	0,35
2	0,100	2,82E+02	0,35
3	0,320	1,72E+02	0,35
4		6,20E+01	0,35

Fuente: Elaboración Propia.

Ilustración 12 Eje Simple Rueda Doble 8 TON

Project:		SRD- 8TON											
System:		1: (untitled)											
Layer Number	Thickness (m)	Modulus Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio	Load Number	Vertical Load (kN)	Vertical Stress (MPa)	Horz. (Shear) Load (kN)	Horz. (Shear) Stress (MPa)	Radius (m)	X-Coordinate (m)	Y-Coordinate (m)	Angle (Degrees)	Shear
1	0,14	4,50E+03	0,35	1	2,00E+01	7,69E-01	0,00E+00	0,00E+00	9,10E-02	0,00E+00	-1,36E-01	0,00E+00	
2	0,1	2,82E+02	0,35	2	2,00E+01	7,69E-01	0,00E+00	0,00E+00	9,10E-02	0,00E+00	1,36E-01	0,00E+00	
3	0,32	1,72E+02	0,35										
4		6,20E+01	0,35										
Position Number	Layer Number	X-Coordinate (m)	Y-Coordinate (m)	Depth (m)	Stress XX (MPa)	Stress YY (MPa)	Stress ZZ (MPa)	Strain XX (µstrain)	Strain YY (µstrain)	Strain ZZ (µstrain)	Displacement UX (µm)	Displacement UY (µm)	Displacement UZ (µm)
1	1	0,00E+00	-1,36E-01	0,00E+00	-1,54E+00	-1,37E+00	-7,69E-01	-1,76E+02	-1,24E+02	5,52E+01	0,00E+00	1,39E+01	4,28E+02
2	1	0,00E+00	-1,36E-01	1,40E-01	1,02E+00	8,38E-01	-1,05E-01	1,71E+02	1,15E+02	-1,68E+02	0,00E+00	-1,21E+01	4,17E+02
3	2	0,00E+00	-1,36E-01	2,40E-01	3,23E-02	2,23E-02	-5,89E-02	1,60E+02	1,12E+02	-2,77E+02	0,00E+00	-1,60E+01	3,86E+02
4	3	0,00E+00	-1,36E-01	5,60E-01	2,26E-02	2,04E-02	-1,87E-02	1,28E+02	1,11E+02	-1,96E+02	0,00E+00	-1,61E+01	3,09E+02
5	4	0,00E+00	-1,36E-01	5,60E-01	1,72E-03	9,32E-04	-1,87E-02	1,28E+02	1,11E+02	-3,16E+02	0,00E+00	-1,61E+01	3,09E+02
6	1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-1,02E+00	-6,27E-01	0,00E+00	-1,78E+02	-6,01E+01	1,28E+02	0,00E+00	0,00E+00	4,28E+02
7	1	0,00E+00	0,00E+00	1,40E-01	9,43E-01	5,66E-01	-9,43E-02	1,73E+02	5,98E+01	-1,38E+02	0,00E+00	0,00E+00	4,28E+02
8	2	0,00E+00	0,00E+00	2,40E-01	3,43E-02	2,30E-02	-6,26E-02	1,71E+02	1,17E+02	-2,93E+02	0,00E+00	0,00E+00	3,97E+02
9	3	0,00E+00	0,00E+00	5,60E-01	2,37E-02	2,23E-02	-1,96E-02	1,32E+02	1,21E+02	-2,07E+02	0,00E+00	0,00E+00	3,14E+02
10	4	0,00E+00	0,00E+00	5,60E-01	1,79E-03	1,30E-03	-1,96E-02	1,32E+02	1,21E+02	-3,33E+02	0,00E+00	0,00E+00	3,14E+02

Number of Systems (1-10): 1

System Description: _____

Use Standard Dual Wheel?

Mode of Load: 2 - Load and Radius

No of Circular Loads (1-10): 2

Load Number	Vertical Load (kN)	Radius (m)	X Coordinate (m)	Y Coordinate (m)	Horizontal Load (kN)	Shear Direction (degr.)
1	20,000	0,0910	0,0000	-0,1364	0,000	0,0
2	20,000	0,0910	0,0000	0,1364	0,000	0,0

Number of Systems (1-10): 1

System Description: _____

Full Friction Between Layers?

No of Layers (1-10): 4

Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio
1	0,140	4,50E+03	0,35
2	0,100	2,82E+02	0,35
3	0,320	1,72E+02	0,35
4		6,20E+01	0,35

Number of Systems (1-10): 1

System Description: _____

Select Positions for Standard Dual Wheel

No of Position Entries (1-10): 10

Position Number	X Coordinate (m)	Y Coordinate (m)	Z (depth) Coordinate (m)	Layer No	
1	0,0000	-0,1364	0,0000	1	
2	0,0000	-0,1364	0,1400	1	Select Layer
3	0,0000	-0,1364	0,2400	2	
4	0,0000	-0,1364	0,5600	3	Select Layer
5	0,0000	-0,1364	0,5600	4	Select Layer
6	0,0000	0,0000	0,0000	1	
7	0,0000	0,0000	0,1400	1	Select Layer
8	0,0000	0,0000	0,2400	2	
9	0,0000	0,0000	0,5600	3	Select Layer
10	0,0000	0,0000	0,5600	4	Select Layer

Fuente: Elaboración Propia.

Ilustración 13 Eje Simple Rueda Doble 10 TON

Project:	SRD- 10TON													
System:	1: (untitled)													
Layer	Thickness	Modulus			Vertical	Vertical	Horz. (Shear)	Horz. (Shear)					Shear	
Number	(m)	Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio	Load Number	Load (kN)	Stress (MPa)	Load (kN)	Stress (MPa)	Radius (m)	X-Coordinate (m)	Y-Coordinate (m)	Angle (Degrees)		
1	0,14	4,50E+03	0,35	1	2,50E+01	7,65E-01	0,00E+00	0,00E+00	1,02E-01	0,00E+00	-1,53E-01	0,00E+00		
2	0,1	2,82E+02	0,35	2	2,50E+01	7,65E-01	0,00E+00	0,00E+00	1,02E-01	0,00E+00	1,53E-01	0,00E+00		
3	0,32	1,72E+02	0,35											
4		6,20E+01	0,35											
Position Number	Layer Number	X-Coordinate (m)	Y-Coordinate (m)	Depth (m)	Stress XX (MPa)	Stress YY (MPa)	Stress ZZ (MPa)	Strain XX (µstrain)	Strain YY (µstrain)	Strain ZZ (µstrain)	Displacement UX (µm)	Displacement UY (µm)	Displacement UZ (µm)	
1	1	0,00E+00	-1,53E-01	0,00E+00	-1,69E+00	-1,48E+00	-7,65E-01	-2,01E+02	-1,39E+02	7,68E+01	0,00E+00	1,71E+01	5,22E+02	
2	1	0,00E+00	-1,53E-01	1,40E-01	1,17E+00	9,56E-01	-1,22E-01	1,95E+02	1,31E+02	-1,92E+02	0,00E+00	-1,46E+01	5,11E+02	
3	2	0,00E+00	-1,53E-01	2,40E-01	3,81E-02	2,55E-02	-6,96E-02	1,90E+02	1,30E+02	-3,26E+02	0,00E+00	-2,01E+01	4,75E+02	
4	3	0,00E+00	-1,53E-01	5,60E-01	2,75E-02	2,43E-02	-2,27E-02	1,56E+02	1,32E+02	-2,37E+02	0,00E+00	-2,16E+01	3,82E+02	
5	4	0,00E+00	-1,53E-01	5,60E-01	2,08E-03	9,46E-04	-2,27E-02	1,56E+02	1,32E+02	-3,83E+02	0,00E+00	-2,16E+01	3,82E+02	
6	1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-1,16E+00	-7,05E-01	0,00E+00	-2,03E+02	-6,63E+01	1,45E+02	0,00E+00	0,00E+00	5,24E+02	
7	1	0,00E+00	0,00E+00	1,40E-01	1,05E+00	5,81E-01	-1,06E-01	1,96E+02	5,60E+01	-1,50E+02	0,00E+00	0,00E+00	5,25E+02	
8	2	0,00E+00	0,00E+00	2,40E-01	4,01E-02	2,47E-02	-7,32E-02	2,02E+02	1,29E+02	-3,40E+02	0,00E+00	0,00E+00	4,90E+02	
9	3	0,00E+00	0,00E+00	5,60E-01	2,90E-02	2,70E-02	-2,40E-02	1,63E+02	1,47E+02	-2,54E+02	0,00E+00	0,00E+00	3,91E+02	
10	4	0,00E+00	0,00E+00	5,60E-01	2,19E-03	1,45E-03	-2,40E-02	1,63E+02	1,47E+02	-4,08E+02	0,00E+00	0,00E+00	3,91E+02	

Number of Systems (1-10): 1

System Description: _____

Loads Layers Positions

Use Standard Dual Wheel? **Save** **Retrieve**

Mode of Load: 2 - Load and Radius **No of Circular Loads (1-10):** 2

Load Number	Vertical Load (kN)	Radius (m)	X Coordinate (m)	Y Coordinate (m)	Horizontal Load (kN)	Shear Direction (degr.)
1	25,000	0,1020	0,0000	-0,1525	0,000	0,0
2	25,000	0,1020	0,0000	0,1525	0,000	0,0

Number of Systems (1-10): 1

System Description: _____

Loads Layers Positions

Full Friction Between Layers? **Save** **Retrieve**

No of Layers (1-10): 4

Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio
1	0,140	4,50E+03	0,35
2	0,100	2,82E+02	0,35
3	0,320	1,72E+02	0,35
4		6,20E+01	0,35

Number of Systems (1-10): 1

System Description: _____

Loads Layers Positions

Select Positions for Standard Dual Wheel **Save** **Retrieve**

No of Position Entries (1-10): 10

Position Number	X Coordinate (m)	Y Coordinate (m)	Z (depth) Coordinate (m)	Layer No	
1	0,0000	-0,1525	0,0000	1	
2	0,0000	-0,1525	0,1400	1	Select Layer
3	0,0000	-0,1525	0,2400	2	
4	0,0000	-0,1525	0,5600	3	Select Layer
5	0,0000	-0,1525	0,5600	4	Select Layer
6	0,0000	0,0000	0,0000	1	
7	0,0000	0,0000	0,1400	1	Select Layer
8	0,0000	0,0000	0,2400	2	
9	0,0000	0,0000	0,5600	3	Select Layer
10	0,0000	0,0000	0,5600	4	Select Layer

Fuente: Elaboración Propia.

Ilustración 14 Eje Tandem 21 TON

Project:	TANDEM- 21TON												
System:	1: (untitled)												
Layer	Thickness	Modulus Elasticity	Poisson's Ratio	Load Number	Vertical Load (kN)	Vertical Stress (MPa)	Horz. (Shear) Load (kN)	Horz. (Shear) Stress (MPa)	Radius (m)	X-Coordinate (m)	Y-Coordinate (m)	Angle (Degrees)	Shear
Number	(m)	(MPa)		Number	(kN)	(MPa)	(kN)	(MPa)	(m)	(m)	(m)	(Degrees)	
1	0,14	4,50E+03	0,35	1	2,63E+01	7,73E-01	0,00E+00	0,00E+00	1,04E-01	-6,00E-01	-1,56E-01	0,00E+00	
2	0,1	2,82E+02	0,35	2	2,63E+01	7,73E-01	0,00E+00	0,00E+00	1,04E-01	6,00E-01	-1,56E-01	0,00E+00	
3	0,32	1,72E+02	0,35	3	2,63E+01	7,73E-01	0,00E+00	0,00E+00	1,04E-01	6,00E-01	1,56E-01	0,00E+00	
4		6,20E+01	0,35	4	2,63E+01	7,73E-01	0,00E+00	0,00E+00	1,04E-01	-6,00E-01	1,56E-01	0,00E+00	
Position	Layer	X-Coordinate	Y-Coordinate	Depth	Stress XX	Stress YY	Stress ZZ	Strain XX	Strain YY	Strain ZZ	Displacemer UX	Displacemer UY	Displacement UZ
Number	Number	(m)	(m)	(m)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	μstrain	μstrain	μstrain	(μm)	(μm)	(μm)
1	1	0,00E+00	-1,56E-01	1,40E-01	-2,10E-01	1,19E-01	-1,46E-02	-5,48E+01	4,39E+01	3,86E+00	-2,37E-08	-7,57E+00	6,49E+02
2	1	0,00E+00	0,00E+00	1,40E-01	-2,28E-01	1,43E-01	-1,57E-02	-6,06E+01	5,07E+01	3,13E+00	-6,63E-07	-1,86E-08	6,60E+02
3	1	-6,00E-01	-1,56E-01	1,40E-01	1,16E+00	9,88E-01	-1,27E-01	1,91E+02	1,39E+02	-1,95E+02	-5,64E+00	-1,59E+01	7,30E+02
4	1	-6,00E-01	0,00E+00	1,40E-01	1,02E+00	5,84E-01	-1,09E-01	1,90E+02	5,89E+01	-1,49E+02	-5,79E+00	0,00E+00	7,46E+02
5	4	0,00E+00	-1,56E-01	5,60E-01	-5,73E-03	1,08E-03	-2,03E-02	1,59E+01	1,64E+02	-3,01E+02	7,56E-07	-2,71E+01	6,03E+02
6	4	0,00E+00	0,00E+00	5,60E-01	-6,01E-03	1,55E-03	-2,11E-02	1,32E+01	1,78E+02	-3,14E+02	9,59E-07	1,22E-07	6,11E+02
7	4	-6,00E-01	-1,56E-01	5,60E-01	-6,70E-04	1,08E-03	-2,64E-02	1,32E+02	1,70E+02	-4,27E+02	-4,25E+01	-2,84E+01	5,94E+02
8	4	-6,00E-01	0,00E+00	5,60E-01	-6,24E-04	1,66E-03	-2,78E-02	1,38E+02	1,88E+02	-4,55E+02	-4,32E+01	0,00E+00	6,04E+02

Number of Systems (1-10): 1

System Description:

Use Standard Dual Wheel?

Mode of Load: 2 - Load and Radius

No of Circular Loads (1-10): 4

Load Number	Vertical Load (kN)	Radius (m)	X Coordinate (m)	Y Coordinate (m)	Horizontal Load (kN)	Shear Direction (degr.)
1	26,250	0,1040	-0,6000	-0,1563	0,000	0,0
2	26,250	0,1040	0,6000	-0,1563	0,000	0,0
3	26,250	0,1040	0,6000	0,1563	0,000	0,0
4	26,250	0,1040	-0,6000	0,1563	0,000	0,0

Number of Systems (1-10): 1

System Description:

Full Friction Between Layers?

No of Layers (1-10): 4

Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio
1	0,140	4,50E+03	0,35
2	0,100	2,82E+02	0,35
3	0,320	1,72E+02	0,35
4		6,20E+01	0,35

Number of Systems (1-10): 1

System Description:

Select Positions for Standard Dual Wheel

No of Position Entries (1-10): 8

Position Number	X Coordinate (m)	Y Coordinate (m)	Z (depth) Coordinate (m)	Layer No	
1	0,0000	-0,1563	0,1400	1	Select Layer
2	0,0000	0,0000	0,1400	1	Select Layer
3	-0,6000	-0,1563	0,1400	1	Select Layer
4	-0,6000	0,0000	0,1400	1	Select Layer
5	0,0000	-0,1563	0,5600	4	Select Layer
6	0,0000	0,0000	0,5600	4	Select Layer
7	-0,6000	-0,1563	0,5600	4	Select Layer
8	-0,6000	0,0000	0,5600	4	Select Layer

Fuente: Elaboración Propia.

Ilustración 15 Eje Tándem 22 TON

Project: TANDEM- 22TON													
System: 1: (untitled)													
Layer	Thickness	Modulus		Load	Vertical	Vertical	Horz. (Shear)	Horz. (Shear)	Radius	X-Coordinate	Y-Coordinate	Shear	
Number	(m)	Elasticity	Poisson's	Number	Load	Stress	Load	Stress	(m)	(m)	(m)	Angle	
		(MPa)	Ratio		(kN)	(MPa)	(kN)	(MPa)				(Degrees)	
1	0,14	4,50E+03	0,35	1	2,75E+01	7,65E-01	0,00E+00	0,00E+00	1,07E-01	-6,00E-01	-1,60E-01	0,00E+00	
2	0,1	2,82E+02	0,35	2	2,75E+01	7,65E-01	0,00E+00	0,00E+00	1,07E-01	6,00E-01	-1,60E-01	0,00E+00	
3	0,32	1,72E+02	0,35	3	2,75E+01	7,65E-01	0,00E+00	0,00E+00	1,07E-01	6,00E-01	1,60E-01	0,00E+00	
4		6,20E+01	0,35	4	2,75E+01	7,65E-01	0,00E+00	0,00E+00	1,07E-01	-6,00E-01	1,60E-01	0,00E+00	
Position	Layer	X-Coordinate	Y-Coordinate	Depth	Stress	Stress	Stress	Strain	Strain	Strain	Displacemer	Displacemer	Displacement
Number	Number	(m)	(m)	(m)	XX	YY	ZZ	XX	YY	ZZ	UX	UY	UZ
		(m)	(m)	(m)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	µstrain	µstrain	µstrain	(µm)	(µm)	(µm)
1	1	0,00E+00	-1,60E-01	1,40E-01	-2,18E-01	1,22E-01	-1,52E-02	-5,68E+01	4,54E+01	4,08E+00	3,30E-08	-8,02E+00	6,79E+02
2	1	0,00E+00	0,00E+00	1,40E-01	-2,37E-01	1,48E-01	-1,64E-02	-6,29E+01	5,26E+01	3,31E+00	5,48E-07	7,75E-08	6,91E+02
3	1	-6,00E-01	-1,60E-01	1,40E-01	1,19E+00	1,01E+00	-1,30E-01	1,95E+02	1,43E+02	-2,00E+02	-5,90E+00	-1,65E+01	7,62E+02
4	1	-6,00E-01	0,00E+00	1,40E-01	1,04E+00	5,86E-01	-1,11E-01	1,94E+02	5,81E+01	-1,51E+02	-6,06E+00	0,00E+00	7,78E+02
5	4	0,00E+00	-1,60E-01	5,60E-01	-5,96E-03	1,09E-03	-2,12E-02	1,71E+01	1,71E+02	-3,14E+02	-8,55E-07	-2,89E+01	6,31E+02
6	4	0,00E+00	0,00E+00	5,60E-01	-6,28E-03	1,59E-03	-2,20E-02	1,41E+01	1,85E+02	-3,29E+02	-1,66E-07	-1,03E-08	6,40E+02
7	4	-6,00E-01	-1,60E-01	5,60E-01	-7,12E-04	1,07E-03	-2,75E-02	1,37E+02	1,76E+02	-4,45E+02	-4,45E+01	-3,02E+01	6,21E+02
8	4	-6,00E-01	0,00E+00	5,60E-01	-6,65E-04	1,69E-03	-2,90E-02	1,44E+02	1,95E+02	-4,74E+02	-4,52E+01	0,00E+00	6,32E+02

Number of Systems (1-10): 1

System Description: _____

Loads **Layers** **Positions**

Use Standard Dual Wheel? **Save** **Retrieve**

Mode of Load: 2 - Load and Radius **No of Circular Loads (1-10):** 4

Load Number	Vertical Load (kN)	Radius (m)	X Coordinate (m)	Y Coordinate (m)	Horizontal Load (kN)	Shear Direction (degr.)
1	27,500	0,1070	-0,6000	-0,1600	0,000	0,0
2	27,500	0,1070	0,6000	-0,1600	0,000	0,0
3	27,500	0,1070	0,6000	0,1600	0,000	0,0
4	27,500	0,1070	-0,6000	0,1600	0,000	0,0

Number of Systems (1-10): 1

System Description: _____

Loads **Layers** **Positions**

Full Friction Between Layers? **Save** **Retrieve**

No of Layers (1-10): 4

Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio
1	0,140	4,50E+03	0,35
2	0,100	2,82E+02	0,35
3	0,320	1,72E+02	0,35
4		6,20E+01	0,35

Number of Systems (1-10): 1

System Description: _____

Loads **Layers** **Positions**

Select Positions for Standard Dual Wheel **Save** **Retrieve**

No of Position Entries (1-10): 8

Position Number	X Coordinate (m)	Y Coordinate (m)	Z (depth) Coordinate (m)	Layer No	
1	0,0000	-0,1600	0,1400	1	Select Layer
2	0,0000	0,0000	0,1400	1	Select Layer
3	-0,6000	-0,1600	0,1400	1	Select Layer
4	-0,6000	0,0000	0,1400	1	Select Layer
5	0,0000	-0,1600	0,5600	4	Select Layer
6	0,0000	0,0000	0,5600	4	Select Layer
7	-0,6000	-0,1600	0,5600	4	Select Layer
8	-0,6000	0,0000	0,5600	4	Select Layer

Fuente: Elaboración Propia.

EVALUACIÓN DEL DISEÑO MENSUALMENTE

De acuerdo al manual, la evaluación estructural del pavimento se realiza empleando un software de análisis, que internamente utiliza un modelo multicapa elástico, el cual permite determinar en diferentes puntos de la estructura, la magnitud de esfuerzos, deformaciones y desplazamientos que se producen por la acción de las cargas.

Las repuestas del modelo multicapa son empleadas para determinar el consumo de las estructuras de acuerdo a las leyes de comportamiento del Instituto del Asfalto (INA) y de la guía de diseño mecánico empírica (AASHTO, 2008).

Tabla 23 Verificaciones estructurales anuales

VERIFICACION ESTRUCTURAL ENERO											
TIPO DE EJE	MAGNITUD CARGA EJE Ton	MAGNITUD CARGA LLANTA KN	PRESIÓN DE INFLADO kg/cm²	RADIO DE CARGA cm	TRANSITO CALCULADO Repeticiones Esperadas	EVALUACION ESTRUCTURAL CAPA DE RODADURA			EVALUACION ESTRUCTURAL SUBRASANTE		
						Deformación Tracción	Repeticiones Admisibles	% DE CONSUMO	Deformación Compresión	Repeticiones Admisibles	% CONSUMO
SRS	4	20	5,6	10,7	1.726.030,33	8,93E-05	613.356.292,79	0	1,76E-04	108.439.183,92	2
	6	30	5,6	13,1	1.150.686,89	1,18E-04	153.118.440,43	1	2,62E-04	22.232.603,59	5
SRD	8	20	7,7	9,1	1.726.030,33	1,47E-04	50.774.419,90	3	3,34E-04	8.407.939,68	21
	10	25	7,7	10,2	575.343,44	1,76E-04	20.685.193,87	3	4,11E-04	3.689.290,42	16
TANDEM	21	26,25	7,7	10,4	460.274,75	1,95E-04	12.478.314,32	4	4,71E-04	2.135.933,85	22
	22	27,5	7,7	10,7	345.206,07	2,03E-04	10.200.672,67	3	4,91E-04	1.802.476,13	19
CONSUMOS TOTALES								14			84

VERIFICACION ESTRUCTURAL FEBRERO

TIPO DE EJE	MAGNITUD CARGA EJE Ton	MAGNITUD CARGA LLANTA KN	PRESIÓN DE INFLADO kg/cm ²	RADIO DE CARGA cm	TRANSITO CALCULADO Repeticiones Esperadas	EVALUACION ESTRUCTURAL			EVALUACION ESTRUCTURAL		
						CAPA DE RODADURA			SUBRASANTE		
						Deformación Tracción	Repeticiones Admisibles	% DE CONSUMO	Deformación Compresión	Repeticiones Admisibles	% CONSUMO
SRS	4	20	5,6	10,7	1.726.030,33	8,16E-05	809.219.212,90	0	1,62E-04	150.980.691,61	1
	6	30	5,6	13,1	1.150.686,89	1,08E-04	201.545.801,00	1	2,41E-04	30.951.826,04	4
SRD	8	20	7,7	9,1	1.726.030,33	1,35E-04	65.858.872,66	3	3,08E-04	11.686.528,02	15
	10	25	7,7	10,2	575.343,44	1,61E-04	26.830.396,06	2	3,78E-04	5.125.884,08	11
TANDEM	21	26,25	7,7	10,4	460.274,75	1,79E-04	15.759.804,41	3	4,34E-04	2.952.817,27	16
	22	27,5	7,7	10,7	345.206,07	1,87E-04	12.874.509,18	3	4,53E-04	2.492.124,97	14
CONSUMOS TOTALES								11			60

VERIFICACION ESTRUCTURAL MARZO

TIPO DE EJE	MAGNITUD CARGA EJE Ton	MAGNITUD CARGA LLANTA KN	PRESIÓN DE INFLADO kg/cm ²	RADIO DE CARGA cm	TRANSITO CALCULADO Repeticiones Esperadas	EVALUACION ESTRUCTURAL			EVALUACION ESTRUCTURAL		
						CAPA DE RODADURA			SUBRASANTE		
						Deformación Tracción	Repeticiones Admisibles	% DE CONSUMO	Deformación Compresión	Repeticiones Admisibles	% CONSUMO
SRS	4	20	5.6	10.7	1,726,030.33	7,95E-05	810.003.518,21	0	1,68E-04	130.574.696,74	1

VERIFICACION ESTRUCTURAL MARZO

TIPO DE EJE	MAGNITUD CARGA EJE Ton	MAGNITUD CARGA LLANTA KN	PRESIÓN DE INFLADO kg/cm ²	RADIO DE CARGA cm	TRANSITO CALCULADO Repeticiones Esperadas	EVALUACION ESTRUCTURAL			EVALUACION ESTRUCTURAL		
						CAPA DE RODADURA			SUBRASANTE		
						Deformación Tracción	Repeticiones Admisibles	% DE CONSUMO	Deformación Compresión	Repeticiones Admisibles	% CONSUMO
	6	30	5.6	13.1	1,150,686.89	1,07E-04	183.517.204,09	1	2,50E-04	26.732.911,97	4
SRD	8	20	7.7	9.1	1,726,030.33	1,34E-04	59.133.433,08	3	3,20E-04	10.003.190,27	17
	10	25	7.7	10.2	575,343.44	1,61E-04	23.867.968,28	2	3,93E-04	4.373.791,41	13
TANDEM	21	26.25	7.7	10.4	460,274.75	1,88E-04	10.930.793,62	4	4,56E-04	2.429.290,07	19
	22	27.5	7.7	10.7	345,206.07	1,96E-04	8.921.204,45	4	4,76E-04	2.047.519,78	17
CONSUMOS TOTALES								14			72

VERIFICACION ESTRUCTURAL ABRIL

TIPO DE EJE	MAGNITUD CARGA EJE Ton	MAGNITUD CARGA LLANTA KN	PRESIÓN DE INFLADO kg/cm ²	RADIO DE CARGA cm	TRANSITO CALCULADO Repeticiones Esperadas	EVALUACION ESTRUCTURAL			EVALUACION ESTRUCTURAL		
						CAPA DE RODADURA			SUBRASANTE		
						Deformación Tracción	Repeticiones Admisibles	% DE CONSUMO	Deformación Compresión	Repeticiones Admisibles	% CONSUMO
SRS	4	20	5.6	10.7	1,726,030.33	8,64E-05	605.521.692,31	0	1,85E-04	89.435.219,28	2
	6	30	5.6	13.1	1,150,686.89	1,17E-04	133.205.746,97	1	2,75E-04	18.290.817,99	6

VERIFICACION ESTRUCTURAL ABRIL

TIPO DE EJE	MAGNITUD CARGA EJE Ton	MAGNITUD CARGA LLANTA KN	PRESIÓN DE INFLADO kg/cm ²	RADIO DE CARGA cm	TRANSITO CALCULADO Repeticiones Esperadas	EVALUACION ESTRUCTURAL			EVALUACION ESTRUCTURAL		
						CAPA DE RODADURA			SUBRASANTE		
						Deformación Tracción	Repeticiones Admisibles	% DE CONSUMO	Deformación Compresión	Repeticiones Admisibles	% CONSUMO
SRD	8	20	7.7	9.1	1,726,030.33	1,47E-04	42.837.290,46	4	3,52E-04	6.839.307,80	25
	10	25	7.7	10.2	575,343.44	1,76E-04	17.195.814,46	3	4,33E-04	2.988.463,18	19
TANDEM	21	26.25	7.7	10.4	460,274.75	2,07E-04	7.610.418,00	6	5,02E-04	1.645.670,09	28
	22	27.5	7.7	10.7	345,206.07	2,16E-04	6.168.359,45	6	5,24E-04	1.387.418,32	25
CONSUMOS TOTALES								20			106

VERIFICACION ESTRUCTURAL MAYO

TIPO DE EJE	MAGNITUD CARGA EJE Ton	MAGNITUD CARGA LLANTA KN	PRESIÓN DE INFLADO kg/cm ²	RADIO DE CARGA cm	TRANSITO CALCULADO Repeticiones Esperadas	EVALUACION ESTRUCTURAL			EVALUACION ESTRUCTURAL		
						CAPA DE RODADURA			SUBRASANTE		
						Deformación Tracción	Repeticiones Admisibles	% DE CONSUMO	Deformación Compresión	Repeticiones Admisibles	% CONSUMO
SRS	4	20	5.6	10.7	1,726,030.33	8,73E-05	575.285.775,51	0	1,90E-04	80.048.544,44	2
	6	30	5.6	13.1	1,150,686.89	1,19E-04	123.936.342,71	1	2,83E-04	16.355.495,28	7
SRD	8	20	7.7	9.1	1,726,030.33	1,49E-04	39.766.825,99	4	3,62E-04	6.100.440,67	28

VERIFICACION ESTRUCTURAL MAYO

TIPO DE EJE	MAGNITUD CARGA EJE Ton	MAGNITUD CARGA LLANTA KN	PRESIÓN DE INFLADO kg/cm ²	RADIO DE CARGA cm	TRANSITO CALCULADO Repeticiones Esperadas	EVALUACION ESTRUCTURAL			EVALUACION ESTRUCTURAL		
						CAPA DE RODADURA			SUBRASANTE		
						Deformación Tracción	Repeticiones Admisibles	% DE CONSUMO	Deformación Compresión	Repeticiones Admisibles	% CONSUMO
	10	25	7.7	10.2	575,343.44	1,79E-04	15.936.779,66	4	4,45E-04	2.661.917,79	22
TANDEM	21	26.25	7.7	10.4	460,274.75	2,14E-04	6.446.565,00	7	5,18E-04	1.450.559,40	32
	22	27.5	7.7	10.7	345,206.07	2,24E-04	5.225.083,98	7	5,41E-04	1.222.039,81	28
CONSUMOS TOTALES								23			119

VERIFICACION ESTRUCTURAL JUNIO

TIPO DE EJE	MAGNITUD CARGA EJE Ton	MAGNITUD CARGA LLANTA KN	PRESIÓN DE INFLADO kg/cm ²	RADIO DE CARGA cm	TRANSITO CALCULADO Repeticiones Esperadas	EVALUACION ESTRUCTURAL			EVALUACION ESTRUCTURAL		
						CAPA DE RODADURA			SUBRASANTE		
						Deformación Tracción	Repeticiones Admisibles	% DE CONSUMO	Deformación Compresión	Repeticiones Admisibles	% CONSUMO
SRS	4	20	5.6	10.7	1,726,030.33	8,12E-05	728.250.424,98	0	1,76E-04	110.429.983,31	2
	6	30	5.6	13.1	1,150,686.89	1,10E-04	160.548.854,18	1	2,61E-04	22.575.296,37	5
SRD	8	20	7.7	9.1	1,726,030.33	1,38E-04	51.428.071,67	3	3,34E-04	8.428.102,59	20
	10	25	7.7	10.2	575,343.44	1,66E-04	20.667.788,58	3	4,11E-04	3.682.109,32	16

VERIFICACION ESTRUCTURAL JUNIO

TIPO DE EJE	MAGNITUD CARGA EJE Ton	MAGNITUD CARGA LLANTA KN	PRESIÓN DE INFLADO kg/cm²	RADIO DE CARGA cm	TRANSITO CALCULADO Repeticiones Esperadas	EVALUACION ESTRUCTURAL			EVALUACION ESTRUCTURAL		
						CAPA DE RODADURA			SUBRASANTE		
						Deformación Tracción	Repeticiones Admisibles	% DE CONSUMO	Deformación Compresión	Repeticiones Admisibles	% CONSUMO
TANDEM	21	26.25	7.7	10.4	460,274.75	1,97E-04	8.631.000,06	5	4,77E-04	2.016.813,92	23
	22	27.5	7.7	10.7	345,206.07	2,06E-04	6.989.147,63	5	4,98E-04	1.699.150,87	20
CONSUMOS TOTALES								17			86

VERIFICACION ESTRUCTURAL JULIO

TIPO DE EJE	MAGNITUD CARGA EJE Ton	MAGNITUD CARGA LLANTA KN	PRESIÓN DE INFLADO kg/cm²	RADIO DE CARGA cm	TRANSITO CALCULADO Repeticiones Esperadas	EVALUACION ESTRUCTURAL			EVALUACION ESTRUCTURAL		
						CAPA DE RODADURA			SUBRASANTE		
						Deformación Tracción	Repeticiones Admisibles	% DE CONSUMO	Deformación Compresión	Repeticiones Admisibles	% CONSUMO
SRS	4	20	5.6	10.7	1,726,030.33	8,16E-05	713.634.513,45	0	1,78E-04	105.062.027,72	2
	6	30	5.6	13.1	1,150,686.89	1,11E-04	153.439.771,03	1	2,64E-04	21.468.753,88	5
SRD	8	20	7.7	9.1	1,726,030.33	1,39E-04	49.249.235,82	4	3,38E-04	7.998.112,32	22
	10	25	7.7	10.2	575,343.44	1,67E-04	19.756.655,32	3	4,16E-04	3.491.300,14	16
TANDEM	21	26.25	7.7	10.4	460,274.75	2,00E-04	7.983.455,82	6	4,85E-04	1.901.167,42	24
	22	27.5	7.7	10.7	345,206.07	2,09E-04	6.454.524,33	5	5,06E-04	1.601.856,75	22

VERIFICACION ESTRUCTURAL JULIO

TIPO DE EJE	MAGNITUD CARGA EJE Ton	MAGNITUD CARGA LLANTA KN	PRESIÓN DE INFLADO kg/cm ²	RADIO DE CARGA cm	TRANSITO CALCULADO Repeticiones Esperadas	EVALUACION ESTRUCTURAL			EVALUACION ESTRUCTURAL		
						CAPA DE RODADURA			SUBRASANTE		
						Deformación Tracción	Repeticiones Admisibles	% DE CONSUMO	Deformación Compresión	Repeticiones Admisibles	% CONSUMO
CONSUMOS TOTALES						19			91		

VERIFICACION ESTRUCTURAL AGOSTO

TIPO DE EJE	MAGNITUD CARGA EJE Ton	MAGNITUD CARGA LLANTA KN	PRESIÓN DE INFLADO kg/cm ²	RADIO DE CARGA cm	TRANSITO CALCULADO Repeticiones Esperadas	EVALUACION ESTRUCTURAL			EVALUACION ESTRUCTURAL		
						CAPA DE RODADURA			SUBRASANTE		
						Deformación Tracción	Repeticiones Admisibles	% DE CONSUMO	Deformación Compresión	Repeticiones Admisibles	% CONSUMO
SRS	4	20	5.6	10.7	1,726,030.33	7,53E-05	927.870.712,31	0	1,64E-04	145.525.768,05	1
	6	30	5.6	13.1	1,150,686.89	1,02E-04	199.954.125,05	1	2,44E-04	29.749.957,79	4
SRD	8	20	7.7	9.1	1,726,030.33	1,28E-04	64.192.371,14	3	3,12E-04	11.112.344,42	16
	10	25	7.7	10.2	575,343.44	1,54E-04	25.780.737,86	2	3,83E-04	4.848.272,88	12
TANDEM	21	26.25	7.7	10.4	460,274.75	1,85E-04	10.479.165,13	4	4,46E-04	2.642.878,67	17
	22	27.5	7.7	10.7	345,206.07	1,93E-04	8.475.295,85	4	4,66E-04	2.227.258,05	15
CONSUMOS TOTALES						14			65		

VERIFICACION ESTRUCTURAL SEPTIEMBRE

TIPO DE EJE	MAGNITUD CARGA EJE Ton	MAGNITUD CARGA LLANTA KN	PRESIÓN DE INFLADO kg/cm ²	RADIO DE CARGA cm	TRANSITO CALCULADO Repeticiones Esperadas	EVALUACION ESTRUCTURAL			EVALUACION ESTRUCTURAL		
						CAPA DE RODADURA			SUBRASANTE		
						Deformación Tracción	Repeticiones Admisibles	% DE CONSUMO	Deformación Compresión	Repeticiones Admisibles	% CONSUMO
SRS	4	20	5.6	10.7	1,726,030.33	8,17E-05	706.674.824,97	0	1,78E-04	104.590.369,53	2
	6	30	5.6	13.1	1,150,686.89	1,11E-04	152.063.638,48	1	2,65E-04	21.371.555,38	5
SRD	8	20	7.7	9.1	1,726,030.33	1,40E-04	48.721.946,94	4	3,39E-04	7.969.804,62	22
	10	25	7.7	10.2	575,343.44	1,68E-04	19.521.878,96	3	4,17E-04	3.477.910,70	17
TANDEM	21	26.25	7.7	10.4	460,274.75	2,01E-04	7.943.717,44	6	4,85E-04	1.894.902,00	24
	22	27.5	7.7	10.7	345,206.07	2,09E-04	6.439.105,02	5	5,06E-04	1.596.798,59	22
CONSUMOS TOTALES								19			91

VERIFICACION ESTRUCTURAL OCTUBRE

TIPO DE EJE	MAGNITUD CARGA EJE Ton	MAGNITUD CARGA LLANTA KN	PRESIÓN DE INFLADO kg/cm²	RADIO DE CARGA cm	TRANSITO CALCULADO Repeticiones Esperadas	EVALUACION ESTRUCTURAL			EVALUACION ESTRUCTURAL		
						CAPA DE RODADURA			SUBRASANTE		
						Deformación Tracción	Repeticiones Admisibles	% DE CONSUMO	Deformación Compresión	Repeticiones Admisibles	% CONSUMO
SRS	4	20	5.6	10.7	1,726,030.33	8,32E-05	645.235.215,90	0	1,86E-04	88.094.313,35	2
	6	30	5.6	13.1	1,150,686.89	1,14E-04	133.681.532,57	1	2,76E-04	18.001.172,46	6
SRD	8	20	7.7	9.1	1,726,030.33	1,43E-04	42.447.284,86	4	3,54E-04	6.693.530,56	26
	10	25	7.7	10.2	575,343.44	1,72E-04	16.949.983,71	3	4,35E-04	2.917.701,25	20
TANDEM	21	26.25	7.7	10.4	460,274.75	2,11E-04	6.183.617,82	7	5,09E-04	1.563.173,12	29
	22	27.5	7.7	10.7	345,206.07	2,20E-04	5.005.754,26	7	5,31E-04	1.316.710,46	26
CONSUMOS TOTALES								23			110

VERIFICACION ESTRUCTURAL NOVIEMBRE

TIPO DE EJE	MAGNITUD CARGA EJE Ton	MAGNITUD CARGA LLANTA KN	PRESIÓN DE INFLADO kg/cm²	RADIO DE CARGA cm	TRANSITO CALCULADO Repeticiones Esperadas	EVALUACION ESTRUCTURAL			EVALUACION ESTRUCTURAL		
						CAPA DE RODADURA			SUBRASANTE		
						Deformación Tracción	Repeticiones Admisibles	% DE CONSUMO	Deformación Compresión	Repeticiones Admisibles	% CONSUMO
SRS	4	20	5.6	10.7	1,726,030.33	8,28E-05	660.970.001,60	0	1,83E-04	93.205.622,76	2

VERIFICACION ESTRUCTURAL NOVIEMBRE

TIPO DE EJE	MAGNITUD CARGA EJE Ton	MAGNITUD CARGA LLANTA KN	PRESIÓN DE INFLADO kg/cm ²	RADIO DE CARGA cm	TRANSITO CALCULADO Repeticiones Esperadas	EVALUACION ESTRUCTURAL			EVALUACION ESTRUCTURAL		
						CAPA DE RODADURA			SUBRASANTE		
						Deformación Tracción	Repeticiones Admisibles	% DE CONSUMO	Deformación Compresión	Repeticiones Admisibles	% CONSUMO
	6	30	5.6	13.1	1,150,686.89	1,13E-04	138.472.501,65	1	2,72E-04	19.026.857,99	6
SRD	8	20	7.7	9.1	1,726,030.33	1,42E-04	44.113.465,02	4	3,49E-04	7.077.658,19	24
	10	25	7.7	10.2	575,343.44	1,71E-04	17.707.462,91	3	4,29E-04	3.087.142,22	19
TANDEM	21	26.25	7.7	10.4	460,274.75	2,07E-04	6.723.558,10	7	5,01E-04	1.665.475,35	28
	22	27.5	7.7	10.7	345,206.07	2,16E-04	5.436.420,92	6	5,23E-04	1.402.339,52	25
CONSUMOS TOTALES								21			103

VERIFICACION ESTRUCTURAL DICIEMBRE

TIPO DE EJE	MAGNITUD CARGA EJE Ton	MAGNITUD CARGA LLANTA KN	PRESIÓN DE INFLADO kg/cm ²	RADIO DE CARGA cm	TRANSITO CALCULADO Repeticiones Esperadas	EVALUACION ESTRUCTURAL			EVALUACION ESTRUCTURAL		
						CAPA DE RODADURA			SUBRASANTE		
						Deformación Tracción	Repeticiones Admisibles	% DE CONSUMO	Deformación Compresión	Repeticiones Admisibles	% CONSUMO
SRS	4	20	5.6	10.7	1,726,030.33	8,94E-05	609.931.643,10	0	1,78E-04	104.121.355,16	2
	6	30	5.6	13.1	1,150,686.89	1,18E-04	151.825.217,77	1	2,65E-04	21.307.061,86	5

VERIFICACION ESTRUCTURAL DICIEMBRE											
TIPO DE EJE	MAGNITUD CARGA EJE Ton	MAGNITUD CARGA LLANTA KN	PRESIÓN DE INFLADO kg/cm ²	RADIO DE CARGA cm	TRANSITO CALCULADO Repeticiones Esperadas	EVALUACION ESTRUCTURAL			EVALUACION ESTRUCTURAL		
						CAPA DE RODADURA			SUBRASANTE		
						Deformación Tracción	Repeticiones Admisibles	% DE CONSUMO	Deformación Compresión	Repeticiones Admisibles	% CONSUMO
SRD	8	20	7.7	9.1	1,726,030.33	1,47E-04	50.088.752,46	3	3,38E-04	8.055.105,77	21
	10	25	7.7	10.2	575,343.44	1,76E-04	20.451.465,26	3	4,15E-04	3.535.263,18	16
TANDEM	21	26.25	7.7	10.4	460,274.75	1,97E-04	11.706.385,41	4	4,76E-04	2.033.801,10	23
	22	27.5	7.7	10.7	345,206.07	2,05E-04	9.570.302,11	4	4,97E-04	1.715.617,38	20
CONSUMOS TOTALES								15			88

Fuente: Elaboración Propia.

CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos, se ha hecho particular entender que la calidad de un pavimento, específicamente su estructura como segmento vial, tiene como finalidad principal tener la capacidad de brindar a sus usuarios un servicio acorde con las necesidades que pretendía satisfacer, es decir, comodidad y durabilidad, en muchos casos ha sido evidente que en Colombia, las vías no cuentan con los niveles de servicio mínimo, y quizás el trabajo desarrollado nos muestre por qué no terminamos cumpliendo el objetivo planteado, dado que con un análisis como el realizado se pueden hacer observaciones tempranas a lo que será la vida del pavimento [6], posterior a la construcción, como se evidenció la falencia puede estar atribuida a factores de origen técnico como un diseño que no cumplirá con las demandas del tráfico, o en dado caso los cambios a los que deberán ser resistentes los materiales a instalar y con las condiciones que se cuentan características para el país o área de intervención, como lo es en este caso el Paso Nacional por Zipaquirá.

De acuerdo a los meses analizados, se observa que el pavimento dimensionado por AASHTO 1993, debe rediseñarse para que haya cumplimiento a deformaciones por compresión, ya que se evidencian fallas por ahuellamiento, por lo tanto, la recomendación inicial al evaluar el diseño mediante lo expuesto por el manual INVIAS 2016, es aumentar los espesores de las capas granulares para que las deformaciones a nivel de la subrasante sean menores y exista cumplimiento en los consumos.

Al probar de igual forma la estructura mensualmente, pudo verse representada la variabilidad de los materiales y sus propiedades con respecto a múltiples factores como la temperatura, o en dado caso velocidad de los vehículos, pues las condiciones climáticas colombianas en función de su ubicación ecuatorial, así como también en función de su topografía, indican la necesidad de un análisis que permita determinar si los actuales diseños tienen concordancia en su aplicación en zonas de alturas sobre el nivel del mar que pueden afectar las características mecánicas de los materiales utilizados en el pavimento, por lo cual debe verse a la metodología AASHTO 1993 como una buena herramienta para predimensionar pero no para finalizar un diseño.

De igual forma, se presenta la necesidad de una revisión constante de las normas que son utilizadas en Colombia como marco para el desarrollo de la actividad de diseño de pavimentos, teniendo en

cuenta las actualizaciones o modificaciones, y las importantes diferencias entre la guía de diseño INVIAS 2012 a la 2016, ya que con tan sólo el uso que se le va a dar a la vía, el cual la última guía cuenta, representa un factor que genera significativos ajustes en el diseño de la estructura, tiene en cuenta las propias solicitudes del tráfico con base en la información histórica del país, iniciando por un criterio propio en la elaboración del diseño y dejando de lado los diseños genéricos que pueden dejar de lado factores importantes que incidirán significativamente en ejecutar un buen trabajo.

Finalmente, el tema de fondo señala que los sistemas de gestión vial son esenciales desde el momento del diseño y construcción de los pavimentos, ya que estos van acordes al tiempo estimado de servicio, así como recrean el curso de la optimización de los recursos, siendo una herramienta que debe de ir de la mano con la innovación o bien sea con el uso de métodos de diseño cada vez más cercanos al contexto real de uso, que permitan identificar las intervenciones adecuadas para entregar el mejor servicio al usuario al costo más favorable.

REFERENCIAS

- [1] DURAVIA (2015) – Concretando Caminos. Metodología de diseño de pavimentos AASHTO. Recuperado el 25 de octubre de 2018, de <http://www.duravia.com.pe/wp-content/uploads/COLECCIONABLE-DURAVIA-VII.2.p>
- [2] UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN PROGRAMA DE CAPACITACIÓN ACADÉMICA (s.f.). Experimento Vial de la AASHO y las Guías de Diseño AASHTO, Recuperado el 30 de octubre de 2018, de <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/aashto-931.pdf>
- [3] INVIAS. (2013) Volúmenes de tránsito series historicas INVIAS, de PÁGINA GUBERNAMENTAL: <https://www.invias.gov.co/index.php/documentos-tecnicos>
- [4] INVÍAS. (2016). Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con medios y altos volúmenes de tránsito. Bogotá: INVÍAS.
- [5] INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM), Promedios Climatológicos 2011, Estación PG - 21200740.
- [6] GOOGLE IMAGES. (s.f.). E-ASPHALT. Recuperado el 27 de octubre de 2017, de GOOGLE IMAGES: <http://www.e-asphalt.com/selladores>