

EVALUACIÓN DE FACTORES DE EQUIVALENCIA Y SUS EFECTOS EN LA
REDUCCIÓN DE LA VIDA ÚTIL EN LAS ESTRUCTURAS DE LOS PAVIMENTOS
DE LA VÍA BARRANQUILLA CIÉNAGA

GERARDO ENRIQUE ARIAS BRACHO
KEVIN ANDRES HERNANDEZ ORTIZ

CORPORACIÓN UNIVERSIDAD DE LA COSTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL
BARRANQUILLA
2016

EVALUACIÓN DE FACTORES DE EQUIVALENCIA Y SUS EFECTOS EN LA
REDUCCIÓN DE LA VIDA ÚTIL EN LAS ESTRUCTURAS DE LOS PAVIMENTOS
DE LA VÍA BARRANQUILLA CIÉNAGA

GERARDO ENRIQUE ARIAS BRACHO
KEVIN ANDRES HERNANDEZ ORTIZ

PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

DIRECTOR

Ing. M. Sc. MAURICIO J. OROZCO FONTALVO

CO-DIRECTOR

Ing. M. Sc. LAURA BERRÍO HERNÁNDEZ

CORPORACIÓN UNIVERSIDAD DE LA COSTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL
AREA DE PLANEACIÓN URBANA
BARRANQUILLA

2016



CORPORACION UNIVERSIDAD DE LA COSTA, CUC
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

SOLICITUD DE APROBACION DE PROPUESTA DE TRABAJO DE GRADO

Barranquilla, 2 de abril de 2015

Ingeniero
PEDRO ROMERO
DIRECTOR DEL PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
Barranquilla

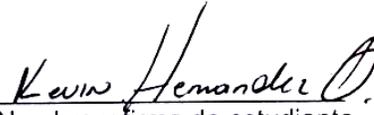
Por medio de la presente estamos sometiendo a su consideración la solicitud para la aprobación del trabajo de grado titulado:

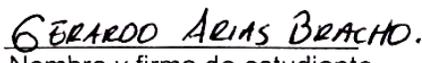
EVALUACIÓN DE LOS FACTORES DE EQUIVALENCIA Y SUS EFECTOS EN LA
REDUCCIÓN DE LA VIDA UTIL EN LAS ESTRUCTURAS DE LOS PAVIMENTOS
DE BARRANQUILLA.

Como requisito parcial para optar el título de Ingeniero Civil en la Facultad de Ingeniería de la Corporación Universidad de la Costa.

Adjuntamos con la presente la información requerida debidamente diligenciada para su estudio.

Cordialmente;


Nombre y firma de estudiante
C.C 1140869326


Nombre y firma de estudiante
C.C 1121333580

ESPACIO RESERVADO PARA LA FACULTAD



CORPORACION UNIVERSIDAD DE LA COSTA, CUC
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

Línea de Investigación en la cual se ubica el trabajo:

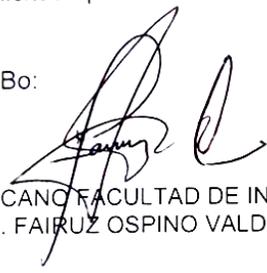
Programa Clave:

Subprograma Clave:

Solicitud aprobada:

Fecha:

VoBo:


DECANO FACULTAD DE INGENIERÍA
Ing. FAIRUZ OSPINO VALDIRIZ


DIRECTOR PROGRAMA INGENIERIA CIVIL
Ing. PEDRO ROMERO LEIRO

Barranquilla, 27 de Marzo del 2015

Estudiante:

HERNANDEZ ORTIZ KEVIN

Reciba un caluroso saludo.

Les informo que en sesión de Comité curricular realizado el 27 de Marzo del 2015 se estudió el diseño y la propuesta de su investigación titulada "Estimación de factores de equivalencia y sus efectos en la reducción de la vida útil en las estructuras de los pavimentos del departamento del atlántico".

Objetivo general: "Determinar los factores de equivalencia de los vehículos pesados que transitan por las vías principales del departamento del atlántico y compararlos con otros factores encontrados en la literatura y/o documentos técnicos nacionales.

Diseñar pavimentos rígidos y flexibles con los factores obtenidos, para corredores de carga pesada del departamento del atlántico, utilizando diferentes metodologías. Estos diseños se realizan a su vez con los factores existentes, con el fin de realizar un análisis comparativo en base a los resultados de diseño y de esta forma determinar la afectación del pavimento por posibles sobrecargas y conocer si la estructura podría estar sub-diseñada o sobre-diseñada actualmente."

Grupo de Investigación: GINICUC

Línea de investigación: Planeación Urbana Ambiental Estratégica.

Los miembros del comité curricular:

Al considerar:

1. Que el estudiante está matriculado en la institución y han cursado y aprobado como mínimo el 70% de los créditos académicos establecidos en su plan de estudio.
2. Que el estudiante al presentar el proyecto final cumpla con la Norma NTC 1486 de Icontec.
3. Que en la propuesta se especifica el grupo de Investigación al que se vinculará el trabajo de grado y la línea de investigación en la que se enmarca.
4. Que la propuesta presenta un cronograma y un presupuesto que garantiza el cumplimiento de los términos establecidos y la disponibilidad de los recursos de los estudiantes para la realización de la investigación.
5. Que la calidad de la propuesta, la relevancia científica, social y pertinencia se desarrollan dentro de las líneas de investigación Institucional.

Procedieron a:

Emitir concepto favorable para la aprobación de la propuesta de su trabajo de grado. De igual forma, los miembros del comité curricular establecieron que en cumplimiento del acuerdo No 237 del 28 de septiembre del 2011 del Consejo Directivo, el estudiante está obligado a:

1. Realizar y entregar el trabajo de grado, como equipo de trabajo, tal como fue presentada la propuesta inicial.
2. Desarrollar el anteproyecto en línea bajo la Plataforma INDEX TG Virtual

3. Finalizar el anteproyecto en un tiempo mínimo de seis (6) meses y máximo un (1) año calendario para la realización total de su trabajo de grado, tiempos contados a partir de la fecha de entrega de este comunicado.
4. Presentar un (1) artículo con base en el trabajo de grado. Este artículo recibirá asesoría por parte del asesor para su elaboración.
5. Cumplir las demás disposiciones establecidas en el acuerdo No 237 del 28 de septiembre del 2011 emanado por el Consejo Directivo.

Para la realización de este proyecto se asignó como asesores al ingeniero: **MAURICIO OROZCO FONTALVO**, quien aprobará el anteproyecto enviándole un informe al Director de Programa. De esta manera se oficializará la iniciación de la etapa de la ejecución del Proyecto. El asesor deberá enviar al Director de Programa un informe final donde señalará que ha hecho sus 40 sesiones de trabajo con el estudiante.

Deseándole éxito en todas las actividades conducentes a la entrega satisfactoria de su trabajo de grado.

Atte.

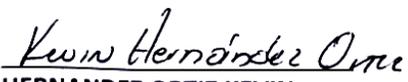


PEDRO ROMERO LEIRO
Director de Programa de Ingeniería Civil

Copia:

Consejo de Facultad
Líder del grupo de investigación GINICUC
Asesor de trabajo de grado

Recibe:


HERNANDEZ ORTIZ KEVIN
7140369326.



CORPORACION UNIVERSIDAD DE LA COSTA, CUC
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA XXX

APROBACION DE PROYECTO POR PARTE DE ASESORES

FECHA: 07 de abril de 2016

Ingeniero: PEDRO ROMERO LEIRO

DIRECTOR PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
Barranquilla

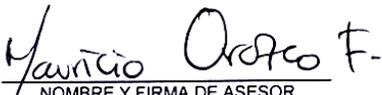
Los abajo firmantes asesores del trabajo de grado titulado:

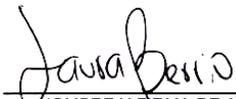
"EVALUACIÓN DE FACTORES DE EQUIVALENCIA Y SUS EFECTOS EN LA
REDUCCIÓN DE LA VIDA ÚTIL EN LAS ESTRUCTURAS DE LOS PAVIMENTOS
DE BARRANQUILLA"

Certificamos que este ha sido evaluado, lográndose los alcances establecidos en la
propuesta.

Cordialmente.

ASESORES TECNICOS


NOMBRE Y FIRMA DE ASESOR


NOMBRE Y FIRMA DE ASESOR

ASESOR METODOLOGICO


NOMBRE Y FIRMA DE ASESOR



ACTA DE SUSTENTACIÓN Y APROBACIÓN DE TRABAJO DE GRADO

El día 26 de abril de 2016 se da aprobación al trabajo de grado evaluado por los jurados Ingenieros Civil, MSc. Raul Ramos de Ciudades Amables Montería y Lorena Cabas de LCB Ingeniería SAS.

Presentado por el estudiante relacionado a continuación:

Trabajo de grado	Estudiantes	Identificación	Tutores
EVALUACIÓN DE FACTORES DE EQUIVALENCIA Y SUS EFECTOS EN LA REDUCCIÓN DE LA VIDA ÚTIL EN LAS ESTRUCTURAS DE LOS PAVIMENTOS DE BARRANQUILLA	KEVIN ANDRES HERNANDEZ ORTIZ	1140869326	MAURICIO OROZCO
	GERARDO ARIAS BRACHO	1121333580	LAURA BERRIO

Certificamos que el **PROYECTO** ha sido evaluado, y ha obtenido la calificación de:

4.2 y ha cumplido técnica y metodológicamente, teniendo en cuenta las siguientes escalas:

Meritoria _____

Aprobada x

Reprobada _____

Se firma el presente en la ciudad de Barranquilla, a los 27 días del mes Abril de 2016.

Atentamente;

RAÚL RAMOS

Jurado 1

LORENA CABAS

Jurado 2

Nuestros más sinceros agradecimientos a:
Díos, por la oportunidad de culminar con éxito este proceso.
Nuestros padres y hermanos por su incansable apoyo y esfuerzo.
Los ingenieros Mauricio Orozco y Laura Berrío, por su guía y
acompañamiento.

CONTENIDO

RESUMEN	12
INTRODUCCIÓN	7
1. DEFINICION DEL PROBLEMA.....	8
1.1 JUSTIFICACIÓN.....	9
1.2 OBJETIVOS.....	10
1.2.1 Objetivo general	10
1.2.2 Objetivos específicos.....	10
3. MARCO TEÓRICO.....	11
3.1 ANTECEDENTES.....	11
3.2 DEFINICIÓN DE PAVIMENTO	13
3.2.1 Clasificación de los pavimentos	14
3.3 ESTUDIO DEL TRANSITO Y LOS EFECTOS DE ESTE EN EL DISEÑO DE LOS PAVIMENTOS	16
3.3.1 Clasificación vehicular.....	18
3.3.2 Factor vehicular de deterioro (Factor Camión).....	19
3.4 DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE POR EL MÉTODO AASHTO	20
4. METODOLOGÍA.....	30
4.1 TRAMO DE ESTUDIO	30
4.2 DATOS DE TRÁNSITO DE LA VÍA	31
4.5 DEFINICIÓN DE VARIABLES PARA LOS DISEÑOS DE PAVIMENTO	35
5. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	38
5.1 FACTOR CAMION Y NUMERO DE EJES EQUIVALENTES	38
5.2 ESPECTROS DE CARGA	39
5.3 ANÁLISIS DE SOBREPESO	44
5.3 DISEÑOS DE PAVIMENTO.....	47

6. CONCLUSIONES.....	53
REFERENCIAS.....	55

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Directrices para periodo de análisis.....	22
Tabla 2 Niveles de Confiabilidad recomendados por AASHTO.....	23
Tabla 3. Desviaciones Estándar Normales para varios niveles de confiabilidad... 23	
Tabla 4. Desviaciones Estándar Normales para varios niveles de confiabilidad... 27	
Tabla 5. Capacidad de Drenaje.....	27
Tabla 6. Espesores mínimos para la carpeta asfáltica y la base.....	29
Tabla 7. Serie histórica de TPD y distribución vehicular de la vía Barranquilla-Ciénaga.....	31
Tabla 8. Distribución de vehículos por sentido	33
Tabla 9. Ecuación para calcular el Factor de Equivalencia por Eje.....	34
Tabla 10. Regulación de pesos por eje a nivel nacional.	34
Tabla 11. Proyección del TPD.....	36
Tabla 12. Proyección de vehículos/año en el período de diseño	36
Tabla 13. Factores Camión por tipo de vehículo	38
Tabla 14. Factores Camión a Nivel Nacional (INVIAS) y Local (Calculados)	38
Tabla 15. FC y resultados del número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el período de diseño	39
Tabla 16. Tipo de vehículos con sobrepeso	44
Tabla 17. Ejes con sobrepeso	46

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Clasificación vehicular.....	19
Ilustración 2. Estructura típica de un pavimento flexible.....	28
Ilustración 3. Tramo en estudio	30
Ilustración 4. Rutas de libre circulación para vehículos pesados en Barranquilla .	31

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Nomograma para calcular el Coeficiente Estructural de la Subbase	25
Figura 2. Nomograma para calcular el Coeficiente Estructural de la Base.	26
Figura 3. Módulo Resiliente de la Mezcla Asfáltica vs Coeficiente Estructural.....	26
Figura 4. Nomograma para determinar el Número Estructural SN.....	29
Figura 5. Distribución por tipo de vehículo y sentido.	32
Figura 6. Variación del TPD.	35

RESUMEN

El departamento del Atlántico, dada su posición geográfica es una gran atracción para todo tipo de comercio por lo que esto ha generado en los últimos años un notable incremento en la actividad económica. Producto de esta actividad es necesario transportar cantidades enormes de mercancía la cual tiene su influencia sobre las estructuras de pavimento.

Cuando los vehículos de carga exceden frecuentemente el peso límite establecido por las autoridades competentes, se producen altos esfuerzos en las estructuras generando un deterioro acelerado de las mismas reflejándose en reducciones de la vida útil y la posible destrucción de su infraestructura. Lo mencionado justifica la necesidad de contar con información real actualizada en el departamento, la cual permitirá una mejor estimación de las cargas transitorias que afectan las estructuras de los pavimentos.

En la investigación se contó con pesajes de los vehículos de carga que transitan la vía Ciénaga Barranquilla en ambos sentidos durante un mes, se graficaron los espectros de carga para observar la frecuencia de estas, se calcularon los Factores de Equivalencia de carga y Factor Camión para cada configuración de ejes. Posteriormente se realizó una comparación de los valores obtenidos con los valores proporcionados por el INVIAS y se evidenciaron las diferencias entre estos siendo mayores los valores obtenidos debido a un importante porcentaje de sobrepeso en la red vial. Estas diferencias se atribuyen a que al generar factores globales para todo el territorio nacional, no se tienen en cuenta las diversas características específicas de operación de las diferentes vías del país.

Palabras clave: Espectros de carga, Factor de Equivalencia de carga, Factor Camión, Diseño de pavimentos.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento socioeconómico que presenta en los últimos años el departamento del Atlántico y en especial la ciudad de Barranquilla, ha sido impulsado por los tratados de libre comercio (TLC) y demás políticas de comercio exterior que han aprovechado la posición estratégica del departamento, convirtiéndolo así en una atracción para la actividad industrial.

Este aumento de movimientos comerciales e industriales lleva consigo el incremento en el transporte de carga, desde y hacia el distrito de Barranquilla. En ese sentido es necesario contar con una infraestructura aérea, fluvial, férrea, marítima, pero sobretodo terrestre -ya que aproximadamente el 73% del movimiento de carga nacional en Colombia se realiza por carretera¹- en óptimas condiciones para que sea capaz de soportar el crecimiento del tránsito.

En este documento se analiza el tránsito en una de las principales vías de acceso al distrito de Barranquilla, específicamente la vía Barranquilla-Ciénaga a partir de pesajes de vehículos de carga, con base en información obtenida de la báscula del peaje de Tasajera. A partir de estos datos se grafican los espectros de carga, se efectúan comparaciones entre los Factores Camión (FC) calculados y los proporcionados por el INVIAS, se realizan diseños por el método AASHTO y por último se analiza el sobrepeso y su efecto en la vida útil del pavimento.

¹ T15. Distribución Porcentual por modos del Movimiento de Carga Nacional. Transporte en Cifras 2010. Ministerio de Transporte.

1. DEFINICION DEL PROBLEMA

Existe una gran incertidumbre en la estimación de las cargas del tránsito para el diseño de las estructuras de los pavimentos. Es un punto relevante a tener en cuenta, el cual siempre ha estado presente a pesar de los diferentes estudios, avances tecnológicos y las pruebas realizadas a nivel mundial sobre el tránsito y las cargas impuestas al pavimento a través de este. Por otro lado se sabe que los diseños de pavimento en el departamento del Atlántico se realizan con la información presentada por el INVIAS de estimación nacional. Teniendo en cuenta que los factores equivalentes varían de acuerdo al tipo de carga y al número de camiones que pasan por la red vial, se infiere que la información manejada no contempla los datos reales arrojados por investigaciones recientes por cada departamento, teniendo esto una relevancia considerable en la determinación de los factores de daño y su posterior manejo en el diseño, generando con el paso del tiempo fallas y reducciones en la vida útil del pavimento.

Este aspecto genera grandes efectos negativos en la estructura de los pavimentos, producidas posiblemente por sobrecargas transitorias a las cuales el pavimento no está en capacidad de soportar continuamente. Este hecho ocasiona daños prematuros en los pavimentos, reducción en su vida útil, aumento de los costos de mantenimiento, rehabilitación, serviciabilidad, conociendo esta última como la condición necesaria de un pavimento para proveer a los usuarios un manejo seguro y confortable, que se puede ver directamente afectado por los factores equivalentes de carga correspondientes a la configuración de cada vehículo.

1.1 JUSTIFICACIÓN

Actualmente en el departamento del Atlántico, se han estado desarrollando importantes obras de infraestructura vial, todo esto se lleva a cabo debido al gran crecimiento del comercio y la industria a nivel nacional y a la influencia de los tratados de libre comercio (TLC) y demás políticas de comercio exterior, permitiendo que el país genere grandes importaciones y exportaciones de mercancías que se convierten en cargas que necesitan ser transportadas.

Gracias a este gran incremento de comercialización en el país, el departamento del Atlántico y su capital Barranquilla, han obtenido gran beneficio de esta nueva era, pues la ciudad conocida como puerta de oro de Colombia. Esto ha influido en el crecimiento del transporte de mercancías, aumentando por su parte el porcentaje de vehículos pesados encargados de transportar todas estas cargas a diferentes puntos del país.

El exceso de peso en la red vial ocasionado por los vehículos, produce esfuerzos mayores en las estructuras de los pavimentos, generando un incremento de deterioros en periodos más cortos, reflejándose en las reducciones de la vida útil y la posible destrucción de su infraestructura.

Por tal razón la siguiente investigación se justifica en la necesidad de contar con información real actualizada en el departamento, la cual permitirá una mejor estimación de las cargas transitorias que afectan las estructuras de los pavimentos, proporcionando mejoras en los diseños, menores costos por mantenimiento o rehabilitación, mejor serviciabilidad, mayor seguridad y evitar la reducciones aceleradas de la vida útil, por efecto de sobrecargas y así demostrar la importancia de los mecanismos de control en las vías y la diferenciación de las tipologías de carga de acuerdo a la posición geográfica.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

Determinar los factores de equivalencia de los vehículos pesados que transitan por las vías principales del departamento del Atlántico y compararlos con otros factores encontrados en la literatura y/o documentos técnicos nacionales.

Diseñar estructuras de pavimento flexible con los factores obtenidos, para corredores de carga pesada del departamento del Atlántico. Estos diseños se realizarán a su vez con los factores existentes, con el fin de realizar un análisis comparativo con base a los resultados de diseño y de esta forma determinar la afectación del pavimento por posibles sobrecargas y conocer si la estructura podría estar sub-diseñada o sobre-diseñada.

1.2.2 Objetivos específicos

- Obtener a partir de una base de datos, los pesos vehiculares de los camiones que transitan en las vías objeto de esta investigación
- Recopilar información de la literatura y documentos técnicos acerca de factores de equivalencia utilizados en el diseño de pavimentos a nivel nacional.
- Calcular los factores de equivalencias teniendo en cuenta los tipos de ejes (simple, tándem, tridem).
- Determinar los factores camión para cada uno de los vehículos en su respectiva configuración.
- Diseñar la estructura de un pavimento flexible.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 ANTECEDENTES

A lo largo de la historia el transporte de carga ha tenido una evolución muy significativa y como es de esperarse, esto ha estimulado investigaciones que evalúan la interacción entre los vehículos pesados y el pavimento. La principal causa de estas investigaciones ha sido el efecto negativo que ejerce el deterioro vial sobre los diferentes aspectos del transporte de mercancías y personas, sin olvidar aspectos económicos y la serviciabilidad (Sweatman, 1983).

Es así como la economía de cualquier país puede verse afectada por el estado de las vías, generando que los gobiernos destinen cifras considerables del presupuesto nacional para rehabilitar y mantener los pavimentos en óptimas condiciones. Esto es debido a que un pavimento deteriorado, que presenta baches y otros tipos de irregularidades, se traduce en mayores costos de operación para los usuarios de las infraestructuras, que van desde montos asociados a las averías de los componentes del vehículo hasta aquellas imperfecciones que son producidas a la mercancía (Hurtado, 2009).

Según Troncoso (2011) las vías sufren un deterioro progresivo debido a las condiciones impuestas por el tráfico y por las condiciones atmosféricas, a lo que se suma la falta de mantenimiento que potencia esta destrucción. Teniendo en cuenta el tráfico, la vida útil de los pavimentos es reducida de forma significativa por el daño que produce exceder las cargas máximas permitidas, resultando también en un crecimiento en los niveles de intervención de mantenimiento rutinario, refuerzos y rehabilitación de las estructuras de pavimento, lo que representa una mayor inversión. Es muy probable que el tránsito sea la variable más relevante en el diseño de una vía, debido a las cargas impuestas al pavimento por los vehículos (Montejo Fonseca, 2006).

Entrando un poco más a fondo en el estudio de los esfuerzos propagados por las cargas, las fuerzas que los vehículos ejercen sobre el pavimento están compuestas por una parte estática y otra dinámica como función de la vibración de las masas de los vehículos (Hurtado, 2009). En el diseño son muchos los factores a tener en cuenta, siendo los principales, las características de los diversos tipos de vehículos, la cantidad, peso y distribución sobre la superficie del pavimento. Es por tanto el estudio de la interacción entre el vehículo y el pavimento un asunto de gran importancia, el cual Hurtado (2009) describe como complicado ya que estas fuerzas dependen de las condiciones de operación de los vehículos y de otros factores como las propiedades de rigidez de las llantas y de las suspensiones, por lo tanto se entiende que no son temas sencillos de escudriñar.

Sin embargo, las configuraciones y las cargas por eje de los camiones han cambiado significativamente y nuevas preguntas surgieron sobre los efectos que estas variaciones causan al pavimento impulsando así a varios expertos a investigar ese impacto (Salama, Chatti, & Lyles, 2006). Estos especialistas en el tema realizaron una investigación en el estado de Michigan, Estados Unidos, donde se supervisaron datos de camiones con distintas configuraciones para identificar sus efectos perjudiciales en pavimentos flexibles en cuanto a la formación de grietas y ahuellamiento. Los resultados indicaron que los camiones con ejes tridem producen más daño asociados a la formación de surcos que aquellos con sólo ejes individuales y tándem. Por otra parte, los camiones con ejes individuales y tándem tienden a causar más agrietamiento. Con respecto a la rugosidad no se obtuvieron pruebas suficientes para llegar a una clara conclusión en esta investigación, pero Collop (1993) menciona que la rigidez del pavimento afecta la forma de como vibran las masas dentro del vehículo, y así mismo las fuerzas que son ejercidas sobre el pavimento.

Según Moreno (2004) entre los efectos negativos que el tránsito vehicular ocasiona: la congestión; las emisiones contaminantes; los accidentes; el ruido y el daño a la infraestructura, todos excepto el último son aplicables tanto a camiones de carga como a automóviles y autobuses. Este daño tiene tres características:

primero establece que es atribuible exclusivamente a los vehículos pesados; segundo, al aumentar la carga el daño crece súbitamente. Y por último no se percibe de inmediato, lo que hace difícil tomar control y concientizar a los transportistas acerca de la magnitud del impacto.

Las fallas generadas en el pavimento se dan por mecanismo de fatiga, es decir, las repetidas aplicaciones de carga son las que hacen evidente la falla, la cual puede constar de una fractura progresiva o de una deformación plástica también progresiva (Rico & Del Castillo, 1989). Basados en este planteamiento se infiere que el daño es proporcional al volumen de tránsito. Además, según Osman, Ghazolly & Mousa (2009) cuando el límite de carga se excede entre 17% y 36% se refleja en un aumento del Factor Camión de 200%. Así mismo se ve manifestado en el número de ejes simples equivalentes de 8,2 toneladas un incremento del 75% al 136%. Todo esto ha llevado a los gobiernos a establecer límites de carga para cada tipo de eje y tipo de vehículo, y así frenar el daño causado por las sobrecargas (Strauss & Semmens, 2006).

En el caso de Colombia, Macea, Fuentes & Álvarez (2013) realizaron una investigación en las vías principales del país, a través de treinta y ocho operativos móviles de pesajes en varios departamentos mediante la cual se comprueba que los valores de FC varían según las características del tránsito, ya que estas cambian de acuerdo al ambiente socioeconómico que rodea a las vías en cuestión. Por lo tanto, no es conveniente usar los mismos valores de FC en todo el país.

3.2 DEFINICIÓN DE PAVIMENTO

Las estructuras de pavimentos están constituidas por varias capas diseñadas y superpuestas una sobre otra de materiales seleccionados y compactados adecuadamente, con el fin de prestar de manera rápida, eficiente y cómoda el transporte de vehicular, teniendo en cuenta la seguridad y los costos.

Las estructuras se encuentran apoyadas sobre el terreno natural y deben estar en capacidad de resistir los esfuerzos generados por las cargas repetidas o dinámicas del tránsito durante un periodo de diseño o de vida útil.

Los pavimentos presentan, como toda estructura funcional, características que debe cumplir adecuadamente como son la resistencia a las cargas, durabilidad, resistencia a efectos ambientales, condiciones de drenaje adecuadas, seguridad, economía, entre otros.

3.2.1 Clasificación de los pavimentos

Existen tres tipos de pavimentos: flexibles, rígidos, semirrígidos y articulados. En el departamento del Atlántico el diseño y construcción de pavimentos semirrígido o articulados no es muy común. Estando la red vial principal constituida por estructuras rígidas y/o flexibles en su gran mayoría, a continuación se definirán los pavimentos rígidos y los flexibles.

3.2.1.1 Pavimentos rígidos

Se conocen como pavimentos rígidos aquellos que están constituidos por una losa de concreto hidráulico, que se apoya sobre la capa de terreno natural conocida como subrasante o en algunos casos sobre la subbase. Este tipo de pavimentos son considerados como auto resistentes, puesto que por su alta resistencia y su capacidad de resistir esfuerzos a la tensión, transmite esfuerzos al suelo en forma minimizada, pues absorbe gran parte de los esfuerzos transmitidos por el tránsito.

La estructura de los pavimentos rígidos está constituida por: el suelo natural tratado (subrasante), luego una capa de subbase o base y por encima de esta la losa de concreto. Las funciones de las capas del pavimento rígido son:

Subbase: La importancia de la subbase en las estructuras de los pavimentos rígidos es impedir el bombeo en las juntas y grietas, además de esta mejora parte

de la capacidad de soporte de la subrasante, mejora el drenaje y acumulación de agua sobre el pavimento, sirve como capa de transición y suministra apoyo uniforme, estable y permanente en la estructura.

Losa de concreto: Su función es resistir los efectos abrasivos del tránsito y, además soportar y transmitir de manera adecuada los esfuerzos aplicados.

3.2.1.2 Pavimentos flexibles

Los pavimentos flexibles son aquellos conformados por una carpeta de asfalto o material bituminoso, que se apoya sobre unas capas no rígidas, conocidas como base y subbase, apoyadas a su vez sobre la subrasante o suelo natural compactado. Las funciones de las capas de los pavimentos flexibles son:

Subbase granular: Esta capa cumple una función que es de gran relevancia a la hora de tratarse de pavimentos flexibles y esta es el carácter económico, ya que es una capa de material de menor calidad y que sirve como soporte de los esfuerzos aplicados. A pesar que esta aumenta el espesor del pavimento, resulta más económica.

Además cumple funciones como la resistencia y distribución adecuada de los esfuerzos, impide la penetración de materiales que constituyen la base con los de la subrasante, absorbe además deformaciones que pueden afectar de manera perjudicial la subrasante por cambios volumétricos a causa de la humedad, otra de las funciones es que funciona como dren del agua que se infiltra desde las capas superiores e impedir la ascensión capilar.

Base granular: la función de la base en este tipo de pavimentos es proporcionar un elemento lo suficientemente resistente que tenga la capacidad de transmitir las cargas a la subbase y subrasante los esfuerzos generados por el tránsito en una intensidad apropiada.

Carpeta de rodadura: Debe proporcionar una superficie de rodamiento adecuada, uniforme y estable al tránsito, de textura y color conveniente y resistir los efectos abrasivos del tránsito, además impedir el paso del agua al interior del pavimento hasta donde sea posible.

Al momento de diseñar pavimentos existen algunos factores importantes que se deben tener en cuenta como el tránsito, el cual es de gran importancia para el dimensionamiento de las estructuras del pavimento, el efecto de las cargas dinámicas o transitorias y los daños generados por cada uno de los tipos de ejes (simple, tándem, tridem), uno de los factores más influyentes en la determinación de las estructuras del pavimento. Otro de los factores importantes y donde la calidad depende de esta es la subrasante, la cual como parámetro de evaluación se emplea la capacidad de soporte o resistencia a las deformaciones por los esfuerzos cortantes bajo las cargas del tránsito. Por otro lado el clima y los materiales disponibles juegan un papel importante y que se deben tener en cuenta, por su parte el cambio climático y el efecto de las lluvias influyen en la resistencia, la comprensibilidad y los cambios volumétricos de la subrasante; con respecto a los materiales la selección adecuada de esta para las estructuras de los pavimentos debe ser económica, técnica y el mayor índice de calidad posible.

3.3 ESTUDIO DEL TRANSITO Y LOS EFECTOS DE ESTE EN EL DISEÑO DE LOS PAVIMENTOS

Una de las variables más importantes en el diseño de una vía es el tránsito, pues se tiene muy en cuenta que el volumen, dimensiones, características como el peso de los ejes de los vehículos que transitan por una vía influyen en el diseño geométrico y estructural del pavimento.

Dentro de los estudios previos para el diseño de pavimentos es necesario conocer el tipo de vehículos que transitan por este. Los vehículos se clasifican de acuerdo a sus ejes los cuales pueden ser simples, tándem o tridem.

Ejes sencillos: Es un eje con una o dos ruedas sencillas en sus extremos.

Ejes tándem: Son dos ejes sencillos con ruedas dobles en sus extremos.

Ejes tridem: Son aquellos que tienen tres ejes sencillos con ruedas dobles en sus extremos.

Como conceptos generales debemos tener en cuenta en el estudio del tránsito:

Volumen del tránsito: definido como el número de vehículos que pasan por un punto o carril en un periodo de tiempo determinado, este puede ser horario, diario, semanal o anual.

Transito Promedio Diario (TPD): Volumen de transito durante un periodo de tiempo, dividido por el número de días del periodo. Este puede ser anual, mensual o semanal.

Transito existente: Es el transito que presenta la vía antes de pavimentarla.

Transito atraído: Es el transito que puede ocupar la vía futura pavimentada sin cambiar su origen o destino, tomando ésta a través de vías existentes.

Transito inducido: Suma del tránsito atraído y generado.

Nivel de servicio: Medida de la calidad del flujo del tránsito por la vía, teniendo en cuenta los factores de velocidad, el tiempo de recorrido, interrupciones del tránsito, seguridad y costos.

Capacidad: Número máximo de vehículos que pueden transitar por una vía o un carril durante un periodo de tiempo determinado sin presentar demoras ni restricciones en la libertad de movimientos de los vehículos.

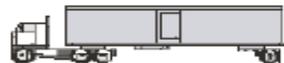
3.3.1 Clasificación vehicular

Existen una gran diversidad de vehículos que circulan sobre un pavimento durante su vida útil, estos vehículos traen como consecuencia de acuerdo a sus características grandes espectros de carga, con diferentes espacios entre llantas los cuales originan sobre la estructura grandes esfuerzos y deformaciones. A causa de esta problemática y teniendo en cuenta que este es uno de los problemas generalmente con más relevancia en los daños generados a las estructuras de los pavimentos y que además contar con la estimación exacta de las cargas por ejes de cada vehículo es muy complejo, se puede decir que la fuente más confiable es “AASTHO ROAD TEST”.

Se dice que los pavimentos deben ser diseñados para soportar las cargas generadas por el tránsito inicial y todo aquel que le de uso durante su vida útil. Sin embargo, existe incertidumbre en su estimación, ya que el tránsito futuro puede intervenir de manera compleja, dependiendo de un crecimiento de la economía, industria, etc. Por ende el uso de transporte terrestre se verá más comprometido y esto genera una reducción en el tiempo de servicio del pavimento.

Pese a la incertidumbre del volumen vehicular y al tipo de vehículos a transitar por los pavimentos durante su vida útil, se da la importancia de conocer el tipo de vehículos, para la cual se diseñara una estructura capaz de soportar las cargas generadas por estos. Esta clasificación se da de acuerdo a número y disposición de sus ejes, el Instituto Nacional de Vías (INVIAS), designa una terminología para los vehículos en Colombia.

Ilustración 1. Clasificación vehicular

CLASE	ESQUEMA	CLASE	ESQUEMA
2		2S3	
3		3S1	
2S1		3S2	
2S2		3S3	

Fuente: Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras.

3.3.2 Factor vehicular de deterioro (Factor Camión)

El INVIAS define este valor como “El factor vehicular de deterioro se puede definir como el número de ejes simples, de rueda doble, de 80 kN (8.2 toneladas), que producirían en el pavimento un deterioro equivalente al ocasionado por la circulación de un vehículo comercial. El proceso de determinación de dicho factor requiere algunas consideraciones previas.”

3.3.3 Factor equivalente de carga por eje (FECE)

El factor equivalente de carga es a partir de la información recolectada por la AASTHO en el ensayo vial desarrollado, el daño proporcionado al pavimento a partir de la relación existente entre el peso que ejerce el eje con una carga cualquiera y el eje patrón.

$$Fe = \left[\frac{Pi}{Pe} \right]^n$$

Fe: Factor equivalente

Pi: Carga en eje

Pe: Carga patrón

n: Exponente

Adicionalmente fue necesario asignar a este eje patrón un valor del efecto que causaba al pasar sobre un pavimento, este efecto se conoce como "factor daño", y para una carga patrón de 18 kips, sobre un eje simple de cuatro ruedas (o ruedas morochas), se le asignó un valor unitario, es decir cada vez que un eje simple de 18.000 lb. Pasa sobre una sección de un pavimento flexible, causa sobre ese pavimento un daño igual a uno (1).

Como consecuencia de esta simplificación surge la definición de los "Factores de equivalencia de cargas", que "son valores numéricos que definen el daño que causa el paso de un vehículo, o eje determinado, sobre una sección de pavimento en una manera relativa al daño que el vehículo, o eje patrón, causa al pasar sobre la misma sección de pavimento", o dicho de otra manera, los "Factores de Equivalencia" transforman las repeticiones de un eje cualquiera, a un número de repeticiones del eje patrón que causan el mismo efecto daño sobre el pavimento que el daño causado por ese eje cualquiera.

3.3.4 Espectro de Carga

El espectro de carga indica las magnitudes de las diferentes cargas en los respectivos ejes que circulan por una vía en un periodo de tiempo, además de esto son definidos como "la relación entre el número de ejes con cierto rango de carga y el número total de ese tipo de eje, expresado en porcentaje" (Anguas)

3.4 DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE POR EL MÉTODO AASHTO

Las ecuaciones de diseño del método AASHTO se desarrollaron considerando el efecto que tienen la calidad de los materiales, las mezclas con las que se construyen las capas y la configuración, magnitud y frecuencias de las cargas actuantes sobre el comportamiento de la estructura del pavimento.

Ecuación general:

$$\text{Log } N = Z_r S_o + 9.36 \text{ Log}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\text{Log} \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \text{ Log } Mr - 8.07$$

En donde:

N: Numero de ejes equivalentes a 8.2 toneladas que se esperan circulen en el carril de diseño durante el periodo de vida útil del pavimento.

Z_r: Desviación estándar normal.

S_o: Error estándar combinado de la predicción del tránsito y de la predicción del comportamiento, va de 0,4 a 0,5.

ΔPSI: Diferencia entre el índice de servicio inicial (Pi) y el final (Pf).

Mr: Modulo Resiliente de la Subrasante.

SN: Número estructural indicativo del espesor total requerido del pavimento.

El numero estructural es el valor que expresa la resistencia que requiere un pavimento construido sobre una subrasante con un módulo *Mr*, para poder soportar el transito *N*, bajo unas condiciones ambientales específicas y un determinado nivel de servicio terminal.

$$SN = a_1 e_1 + a_2 e_2 m_2 + a_3 e_3 m_3$$

Siendo:

a_i: Coeficiente de la capa *i*

e_i: Espesor de la capa *i*

m_i: Coeficiente de drenaje de la capa *i*

Las variables de diseño del método son las siguientes:

- Comportamiento con el tiempo.
- La confiabilidad del proceso de diseño.
- Los efectos ambientales.

- Criterio de Performance o Comportamiento.
- Propiedades mecánicas y dinámicas de los materiales.
- Condiciones de drenaje.

Comportamiento con el tiempo

Periodo de diseño: Se refiere al tiempo que dura una estructura inicial hasta que requiere alguna rehabilitación. En términos de servicio, se define como el tiempo transcurrido para que un pavimento nuevo, reconstruido o reforzado, se deteriore desde su índice de servicio inicial hasta su índice de servicio final.

Periodo de análisis:

Se refiere al lapso que debe cubrir el análisis, es decir el tiempo que debe abarcar la estrategia elegida.

Tabla 1. Directrices para periodo de análisis.

CONDICIONES	PERÍODO (AÑOS)
Urbana - Alto trafico	30-50
Rural - bajo transito	20-50
Pavimentada - Bajo tránsito	15-25
Superficie tratada - Bajo tránsito	10-20

Fuente: Yang H. Huang (2004).

Confiabilidad

Se define como la probabilidad de que una sección de pavimento, se comporte satisfactoriamente bajo las condiciones de tránsito y clima especificados durante el periodo de diseño.

Factor de confiabilidad R:

Está en función de las probables variaciones en las predicciones de la variable de tránsito y el comportamiento integral de la estructura, y garantiza que la sección diseñada cumpla satisfactoriamente la función encomendada durante el periodo de diseño con un índice de servicio por lo menos igual a Pf.

Tabla 2 Niveles de Confiabilidad recomendados por AASHTO.

NIVELES DE CONFIABILIDAD SUGERIDOS PARA DIFERENTES CARRETERAS		
CLASIFICACION	NIVEL DE CONFIABILIDAD	
	Urbana	Rural
Autopistas interestatales y otras	85-99.9	80-99.9
Arterias principales	80-99	75-95
Colectoras de tránsito	80-95	75-95
Carreteras locales	50-80	50-80

Fuente: Montejo (2001)

Tabla 3. Desviaciones Estándar Normales para varios niveles de confiabilidad.

VALORES DE DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL PARA VARIOS NIVELES DE CONFIABILIDAD			
CONFIABILIDAD	DESV. ESTÁNDAR	CONFIABILIDAD	DESV. ESTÁNDAR
50	0.000	93	-1.476
60	-253	94	-1.555
70	-524	95	-1.645
75	-674	96	-1.751
80	-841	97	-1.881
85	-1.037	98	-2.054
90	-1.282	99	-2.327
91	-1.340	99.9	-3.090
91	-1.405	99.99	-3.750

Fuente: Huang (2004).

Criterio de performance o comportamiento

La serviciabilidad se define como la capacidad que tiene una estructura de pavimento para prestar un buen servicio al tránsito. Se evalúa a través del índice de servicio presente (PSI), el cual varía de 0 a 5.

$$\Delta PSI = P_i - P_f$$

Debido a los valores típicos obtenidos en los ensayos de AASHO Road Test se recomiendan tomar para pavimento flexible valore de P_f : 4.2 y P_i : 2.5 para vías con altos volúmenes de tránsito.

Propiedades mecánicas y dinámicas de los materiales

La subrasante: El método utiliza como parámetro de resistencia de la subrasante el Módulo resiliente M_r . Para ello se estableció la siguiente correlación con el CBR de laboratorio.

M_R (psi) = 1.500 CBR (CBR menor o igual a 7.2%)

M_R (psi) = 4326*Ln (CBR) +241 (CBR > 7,5%)

Capas granulares: Los materiales se deben caracterizar a través de sus módulos de elasticidad obtenidos a través de los ensayos AASHTO T - 274 o ASTM D – 4123. O se hace uso de correlaciones más comunes tales como el CBR.

Se recomiendan que la **sub-base** cumpla las siguientes condiciones de calidad:

Límite líquido < 35%.

Índice de plasticidad < 8 %

Porcentaje de desgaste < 40%

CBR > 40 %

EL uso de la capa de sub-base requiere el empleo del coeficiente estructural que permite convertir su espesor en un número estructural.

La **capa de base** puede estar construida por material granular o estabilizada, con requisitos de calidad de mayor exigencia que para la sub-base. El material debe cumplir las siguientes especificaciones:

Límite líquido < 25%.

Índice de plasticidad < 6%.

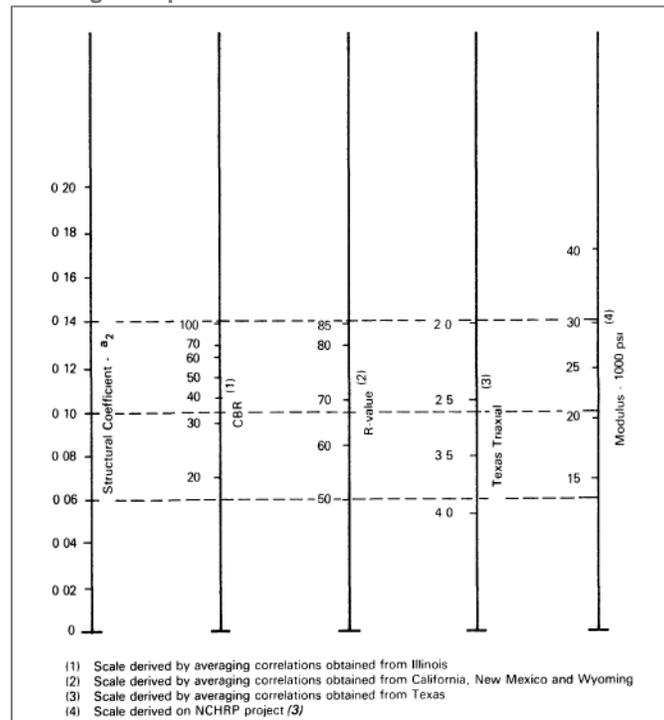
Desgaste de la máquina de los Ángeles < 35%.

Porcentaje de partículas trituradas > 50%.

CBR > 80%

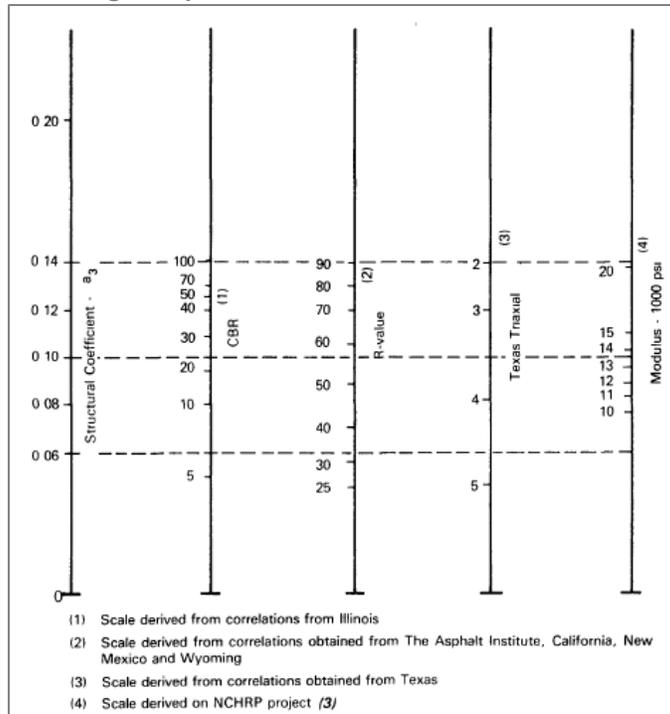
Teniendo los valores de CBR se puede determinar los números estructurales y los valores de módulo resiliente para cada capa mediante los nomogramas.

Figura 1: Nomograma para calcular el Coeficiente Estructural de la Subbase



Fuente: Guía AASHTO (1993).

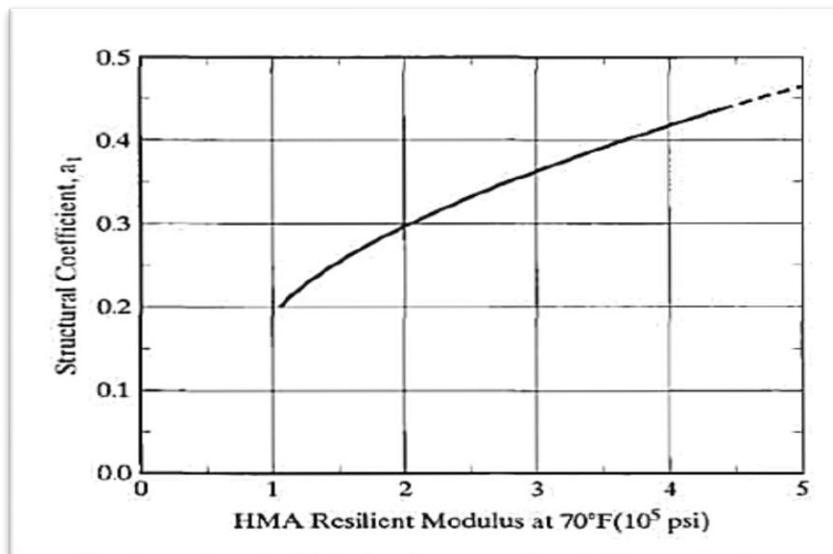
Figura 2. Nomograma para calcular el Coeficiente Estructural de la Base.



Fuente: Guía AASHTO (1993).

La capa de rodadura asfáltica consistirá de una mezcla de agregados pétreos y un producto bituminoso, diseñada y construida para que cumpla con requisitos estructurales y funcionales.

Figura 3. Módulo Resiliente de la Mezcla Asfáltica vs Coeficiente Estructural.



Fuente: Huang (2004)

Condiciones de drenaje

El método no considera diseños especiales para las estructuras de drenaje, pero los efectos los tiene en cuenta en términos de la influencia del agua en la resistencia y potencial expansivo de la subrasante, así como en la resistencia de las capas del pavimento.

La calidad del drenaje se mide mediante el tiempo de permanencia del agua en la estructura.

Tabla 4. Desviaciones Estándar Normales para varios niveles de confiabilidad.

CALIDAD DEL DRENAJE	TIEMPO QUE TARDA EL AGUA EN SER EVACUADA
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Malo	1 mes
Muy malo	Agua no drena

Fuente: León. (2006)

Factor de drenaje

El factor *mi* modifica los coeficientes estructurales de las capas en la ecuación del número estructural. Se recomienda un valor de *mi* de acuerdo a la calidad del drenaje y el tiempo en el año durante el cual se espera que el pavimento este normalmente expuesto a niveles de humedad cercanos a la saturación. Los factores son aplicables únicamente a las capas granulares.

Tabla 5. Capacidad de Drenaje.

CAPACIDAD DEL DRENAJE	% DE TIEMPO EN EL QUE EL PAVIMENTO ESTÁ EXPUESTO A NIVELES DE HUMEDAD PRÓXIMOS A LA SATURACIÓN			
	Menos del 1%	1-5%	5-25%	Más del 25%
Excelente	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.20
Bueno	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1.00

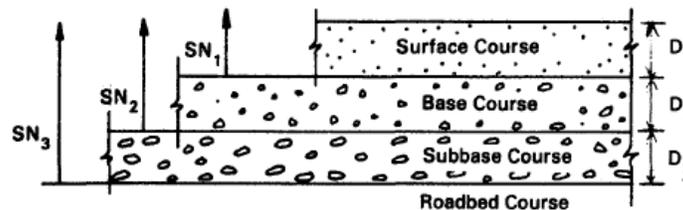
Regular	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.80
Malo	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.60
Muy malo	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.40

Fuente: León (2006)

Procedimiento general de diseño

El procedimiento para el diseño de espesor se inicia normalmente desde la parte superior, como se muestra en la siguiente figura y descrito como sigue:

Ilustración 2. Estructura típica de un pavimento flexible.



Fuente: Guía AASHTO (1993)

1. Usando E_2 como M_R , se determina en el nomograma el número estructural SN_1 requerido para proteger la base, y se calcula el espesor de la capa 1.

$$D_1 > \frac{SN_1}{a_1}$$

2. Usando E_3 como M_R , se determina en el nomograma el número estructural SN_2 requerido para proteger la subbase, y se calcula el espesor de la capa 2.

$$D_2 \geq \frac{SN_2 - a_1 D_1}{a_2 m_2}$$

3. Basado en el M_R del firme, determinar en el nomograma el número estructural SN_3 requerido y calcular el número estructural de la capa 3.

$$D_3 \geq \frac{SN_3 - a_1 D_1 - a_2 D_2 m_2}{a_3 m_3}$$

Espesores mínimos para la carpeta asfáltica y la base

Tabla 6. Espesores mínimos para la carpeta asfáltica y la base.

TRÁNSITO (ESAL)	CONCRETO ASFÁLTICO (Pulg)	BASE GRANULAR (Pulg)
Menor a 50.000	1.0	4
50.001-150.000	2.0	4
150.001-500.000	2.5	4
500.001-2.000.000	3.0	6
2.000.0001-7.000.000	3.5	6
Mayor a 7.000.000	4.0	6

Fuente: Yang H. Huang (2004)

Figura 4. Nomograma para determinar el Número Estructural SN

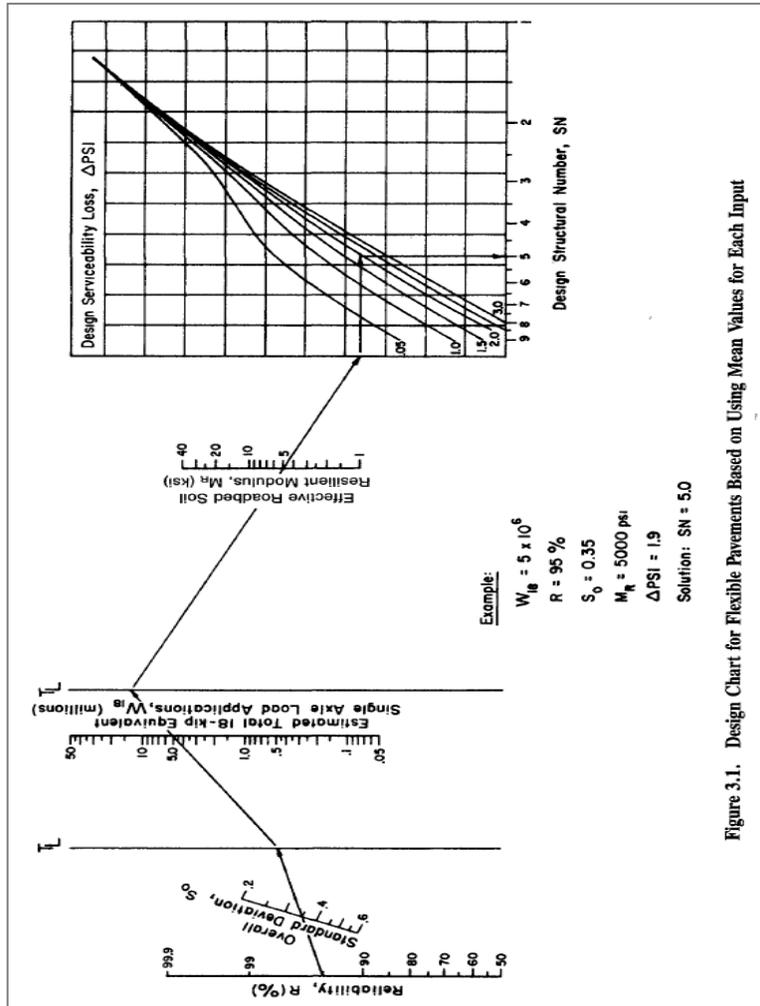


Figure 3.1. Design Chart for Flexible Pavements Based on Using Mean Values for Each Input

Fuente: Guía AASHTO (1993)

4. METODOLOGÍA

4.1 TRAMO DE ESTUDIO

Para el estudio se obtuvieron pesajes del peaje de Tasajera de los vehículos de carga que transitan la vía Barranquilla Ciénaga en ambos sentidos. Es una vía construida en asfalto de una calzada doble carril.

Ilustración 3. Tramo en estudio



Fuente: Google Earth

Dentro de la ciudad de Barranquilla las posibles rutas principales tomadas por los vehículos de carga que proceden del tramo analizado son las vías de libre circulación para vehículos con carga mayor a cinco toneladas establecidas por la Secretaria de Movilidad:

- Calle 17 entre carreras 30 y 9
- Av. Simón Bolívar (Calle 19) entre calles 30 y 17
- Vía 40 en toda su extensión
- Av. Circunvalar entre calle 30 y Vía 40
- Carrera 9 entre el puente Laureano Gómez y glorieta de la calle 17

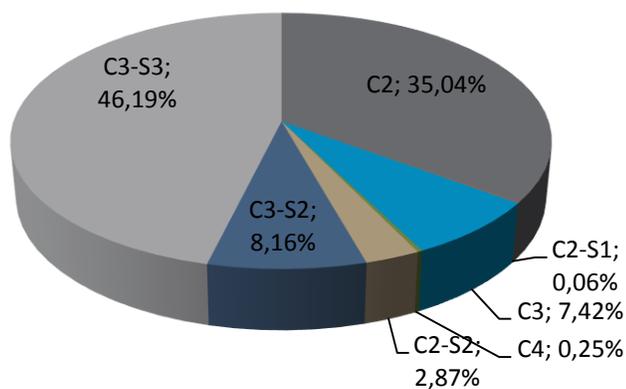
2003	4097	42	19	39
2004	4127	40	21	39
2005	4469	39	18	43
2006	5520	38	20	42
2007	5135	42	16	42
2008	5366	40	18	42
2009	5213	43	15	42

Fuente: INVIAS. Volúmenes de tránsito

Teniendo en cuenta la base de datos obtenida del peaje de Tasajera se definió la distribución porcentual por tipo de vehículo mostrada en las figuras 1 y 2.

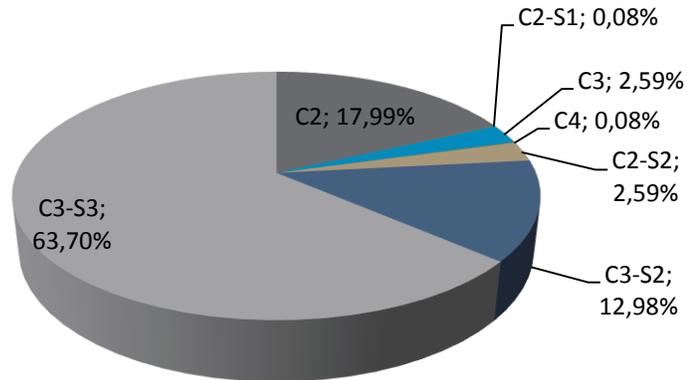
El problema consiste en señalar si los FC usados actualmente están produciendo diseños que sobre valoran o subestiman las cargas que realmente le son impuestas al pavimento. Para el estudio se tuvo en cuenta la circulación en ambos sentidos durante el mes de Julio de 2015, con un total de 3.193 vehículos pesados en dirección a Barranquilla y 2.547 en dirección a Ciénaga, teniendo en mayor porcentaje C2, C3, C3-S2 Y C3-S3.

Figura 5ª. Distribución por tipo de vehículo. Sentido Ciénaga Barranquilla



Fuente: Elaboración propia

Figura 6b. Distribución por tipo de vehículo. Sentido Barranquilla Ciénaga



Fuente: Elaboración propia

Siendo las cantidades de vehículos las siguientes:

Tabla 8. Distribución de vehículos por sentido

REFERENCIA	BARRANQUILLA-CIÉNAGA	CIÉNAGA-BARRANQUILLA
C2	459	1100
C2-S1	2	2
C3	66	233
C4	2	8
C2-S2	66	90
C3-S2	331	256
C3-S3	1625	1450

Fuente: Elaboración propia.

Se calcularon también los FEC para cada vehículo, luego se calculó el FC y finalmente se obtuvo el FC para cada tipo de vehículo. Para calcular los FEC se usó el método AASHTO:

Tabla 9. Ecuación para calcular el Factor de Equivalencia por Eje.

TIPO DE EJE	FORMULA PARA EL FACTOR EQUIVALENTE
Simple rueda simple	$FEC = \left(\frac{\text{Carja del eje}}{6.6}\right)^4$
Simple rueda doble	$FEC = \left(\frac{\text{Carja del eje}}{8.2}\right)^4$
Tándem	$FEC = \left(\frac{\text{Carja del eje}}{15}\right)^4$
Tridem	$FEC = \left(\frac{\text{Carja del eje}}{23}\right)^4$

Fuente: (Macea, Fuentes, & Alvarez, 2013)

El cálculo del FC se realiza para cada tipo de vehículo por medio de la Ecuación 4.1, haciendo la sumatoria de los FEC de sus respectivos ejes FEC_i , siendo n el número de ejes de la configuración del vehículo de carga.

$$FC = \sum_{i=1}^n FEC_i \quad (4.1)$$

4.3 ESPECTROS DE CARGA Y SOBREPESO

Para graficar los espectros de carga se agruparon los pesajes primeramente en los dos sentidos y en cada tipo de eje para ambos sentidos.

Con los pesajes disponibles se hizo un análisis de sobrepeso teniendo en cuenta lo estipulado en la Resolución 4100 de 2004 y la afectación de este sobrepeso a la vida útil de la estructura de pavimento.

Tabla 10. Regulación de pesos por eje a nivel nacional.

Tipo de eje	Peso máximo (Kg)
Eje sencillo	
2 llantas	6.000
4 llantas	11.000
Eje Tándem	

4 llantas	11.000
6 llantas	17.000
8 llantas	22.000
Eje Tridem	
6 llantas	16.500
8 llantas	19.000
10 llantas	21.500
12 llantas	24.000

Fuente: Resolución 4100 de 2004.

Finalmente se diseñaron estructuras de pavimento flexible y rígido con los FC obtenidos. Para esta sección del proyecto se definieron algunas variables.

4.5 DEFINICIÓN DE VARIABLES PARA LOS DISEÑOS DE PAVIMENTO

❖ Período de diseño

Se definió un período de diseño de 20 años ya que en el país se diseña normalmente con períodos alrededor de este tiempo.

❖ Tránsito

Para esta variable se analizó la variación del TPD desde el año 1.997 hasta 2.009 aplicando Regresión Lineal y obtenida la ecuación de la recta se proyectó el TPD para cada año desde 2.016 hasta 2.035.

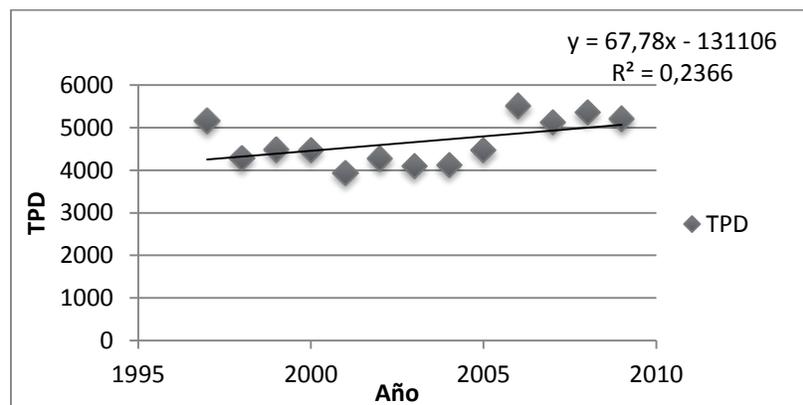


Figura 7. Variación del TPD.

Tabla 11. Proyección del TPD.

AÑO	TPD
2016	5538
2017	5606
2018	5674
2019	5742
2020	5810
2021	5877
2022	5945
2023	6013
2024	6081
2025	6149
2026	6216
2027	6284
2028	6352
2029	6420
2030	6487
2031	6555
2032	6623
2033	6691
2034	6759
2035	6826

Fuente: Elaboración propia.

Para calcular el número de ejes equivalentes de 8.2 Ton para el período de diseño se tuvo en cuenta:

- Del TPD, el 42% son vehículos pesados
- Para el carril de diseño se tomó un valor de 55%
- Se calcularon los vehículos/año tomando 5 días por semana

Tabla 12. Proyección de vehículos/año en el período de diseño

AÑO	No. VEHICULOS
2016	332.641
2017	336.712
2018	340.783
2019	344.854
2020	348.925
2021	352.995
2022	357.066

2023	361.137
2024	365.208
2025	369.279
2026	373.350
2027	377.421
2028	381.492
2029	385.562
2030	389.633
2031	393.704
2032	397.775
2033	401.846
2034	405.917
2035	409.988
TOTAL	7.426.287

Fuente: Elaboración propia

❖ **Características de las capas y subrasante.**

Debido a que los diseños son solo con fines de comprobación se establecieron valores que serán tomados para todos los diseños.

- Para la base y subbase se tomaron los valores mínimos de CBR recomendados por INVIAS. Para base un CBR de 80% y Subbase un CBR de 40%. Para subrasante se han tomado valores medios de CBR de los clasificados por el INVIAS.

5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Para el estudio se contó con una muestra total de 5.744 pesajes de vehículos de carga del cual el 56% transitaba en dirección a Barranquilla y el 44% a Ciénaga. Los datos obtenidos sugieren que los vehículos C2, C3-S2 y C3-S3 son los que presentan mayor frecuencia en la vía. De los vehículos C2-S1 y C4 no se tienen muestras representativas por lo tanto no es apropiado calcular un FC para estos.

La muestra estudiada fue tomada durante el mes de Julio de 2015 por doce horas diarias en promedio, sumando aproximadamente 360 horas de pesajes. Esto puede considerarse una muestra importante para hacer análisis de sobrepeso y calcular los Factores Camión.

5.1 FACTOR CAMION Y NUMERO DE EJES EQUIVALENTES

Los FC se calcularon en ambos sentidos, un resumen de estos valores se presenta en la tabla 5.3. Posteriormente en la tabla 5.4 se muestra el promedio de ambos sentidos se compara con los valores del INVIAS de 2003

Tabla 13. Factores Camión por tipo de vehículo

CATEGORÍA	SENTIDO		FC PROMEDIO
	Barranquilla-Ciénaga	Ciénaga-Barranquilla	
C2	2.98	3.91	3.45
C2-S2	3.61	3.88	3.74
C3	4.44	6.96	5.70
C3-S2	4.14	5.16	4.65
C3-S3	4.92	4.64	4.78

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14. Factores Camión a Nivel Nacional (INVIAS) y Local (Calculados)

TIPO DE CAMION	FC 2003 (INVIAS)	FC (Calculados)
C2	2.15	3.45
C2-S2	3.15	3.74

C3	2.27	5.70
C3-S2	4.21	4.65
C3-S3	5.31	4.78

Fuente: Elaboración propia

Como se puede ver, los valores de FC por tipo de camión exponen una evidente diferencia entre los valores de INVIAS y los valores calculados, siendo estos últimos mayores excepto para el camión C3-S3 el cual es de 5.31 para INVIAS y 4.78 para el valorado local. La desigualdad más notable se encuentra en el camión C3, en el que el valor calculado excede en más del 100% al valor del INVIAS, por otro lado la diferencia más discreta se presentó en el C3-S2 con un aumento de valor aproximado del 10%.

Los altos porcentajes de sobrepeso son notorios en los valores de FC calculados. Podemos ver como el sentido más crítico es Ciénaga Barranquilla, donde evidentemente los ejes C2, C2-S2, C3 y C3-S2 son los que presentan mayores cargas.

Tabla 15. FC y resultados del número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el período de diseño

TIPO DE VEHICULO	C2	C3	C2-S2	C3-S2	C3-S3	TOTAL
PORCENTAJE DEL TRANSITO	35,04%	7,42%	2,87%	8,16%	46,19%	100%
NO. VEHICULOS	2.602.171	551.030	213.134	605.985	3.430.202	7.402.523
F.C CALCULADOS	3,45	5,7	3,74	4,65	4,78	-
F.C INVIAS 2003	2,15	3,15	2,27	4,21	5,31	-
ESAL (CON FC CALCULADOS)	8.977.490	3.140.874	797.123	2.817.830	16.396.365	32.129.682
ESAL INVIAS	5.594.667	1.735.746	483.815	2.551.197	18.214.372	28.579.798

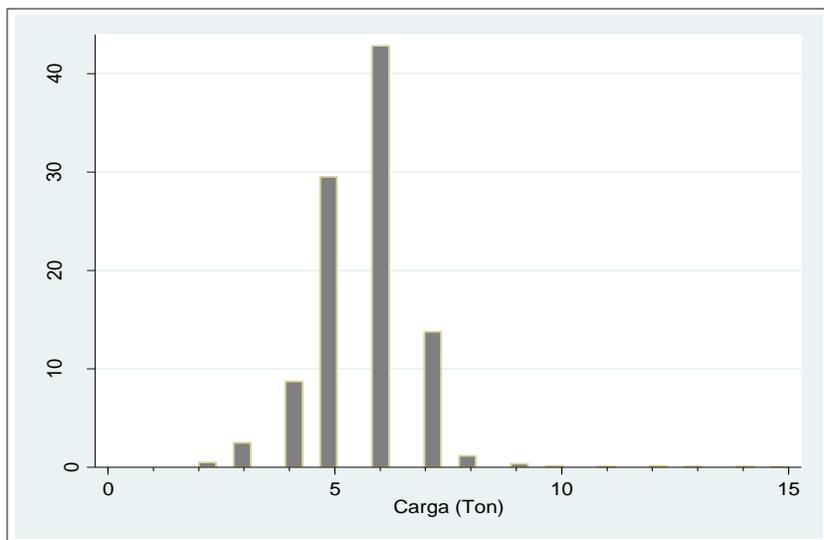
Fuente: Elaboración propia

5.2 ESPECTROS DE CARGA

A partir de la base de datos disponible se obtuvieron espectros de carga teniendo los siguientes tipos de eje:

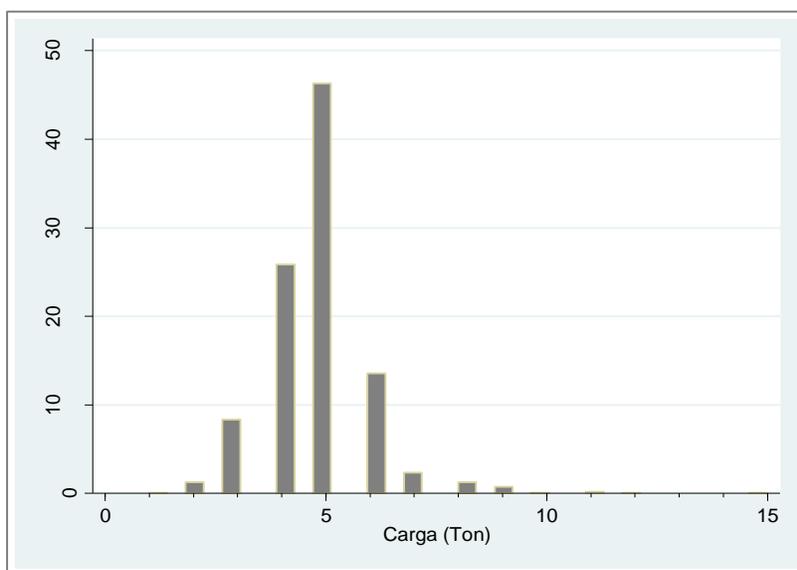
- Eje Sencillo: Llanta sencilla direccional
- Eje Doble: Eje sencillo doble llanta
- Eje Tándem: Eje de ocho llantas
- Eje Tridem: Eje de doce llantas

Figura 7. Espectro de carga eje Direccional. Barranquilla Ciénaga.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 8. Espectros de carga eje Direccional. Ciénaga Barranquilla.

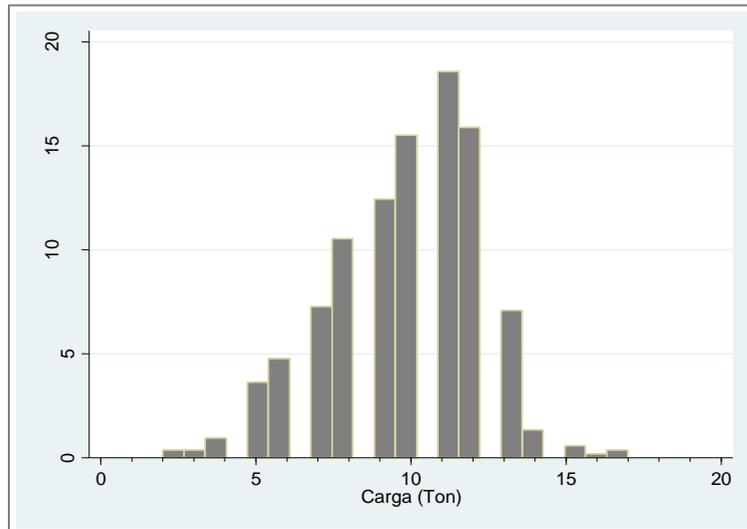


Fuente: Elaboración propia.

Analizando el eje Direccional en los espectros de carga, se nota que la carga con mayor frecuencia en dirección a Ciénaga es de 6 toneladas (42%), mientras que en dirección a Barranquilla la mayor frecuencia se da con carga de 5 toneladas (5.000 kg) (46%). Se aprecia que en ambas direcciones hay frecuencia de sobrepeso (es decir, cargas mayores a 6 toneladas (6.000 kg), teniendo una

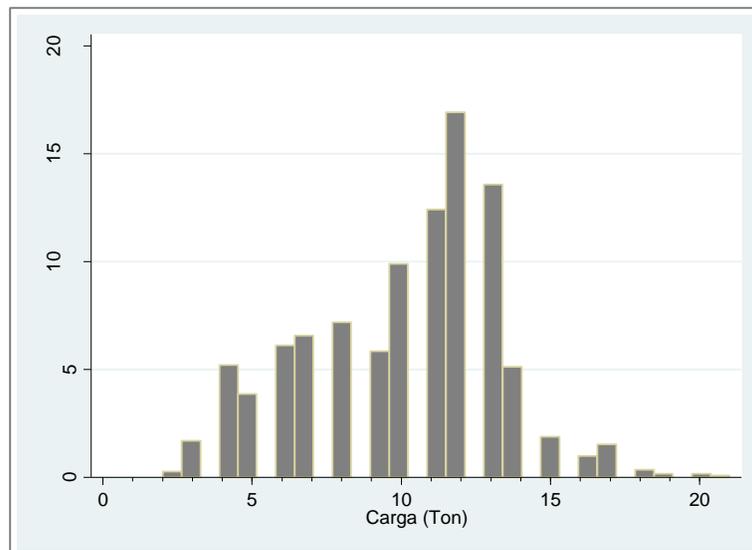
mayor aunque leve acentuación en los que tienen dirección a Barranquilla, estando en un rango entre 2% y 5%.

Figura. Espectros de carga eje Sencillo doble llanta Barranquilla Ciénaga.



Fuente: Elaboración propia.

Figura. Espectros de carga eje Sencillo doble llanta Ciénaga Barranquilla.

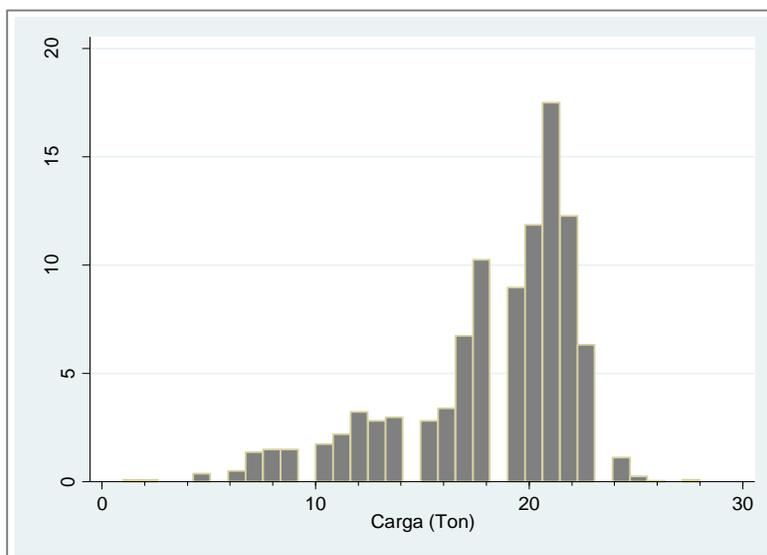


Fuente: Elaboración propia

Para el eje Sencillo de doble llanta el porcentaje más alto con carga mayor a la permitida se encuentra en dirección a Barranquilla en un orden de 40% aproximadamente y de 24%

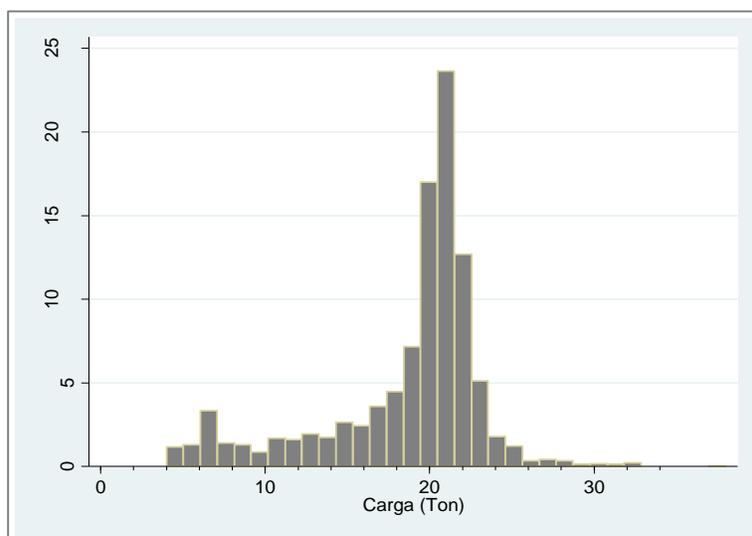
en sentido a Ciénaga. La carga con mayor frecuencia que presenta el eje es de 11 toneladas.

Figura. Espectros de carga eje Tándem Barranquilla Ciénaga.



Fuente: Elaboración propia.

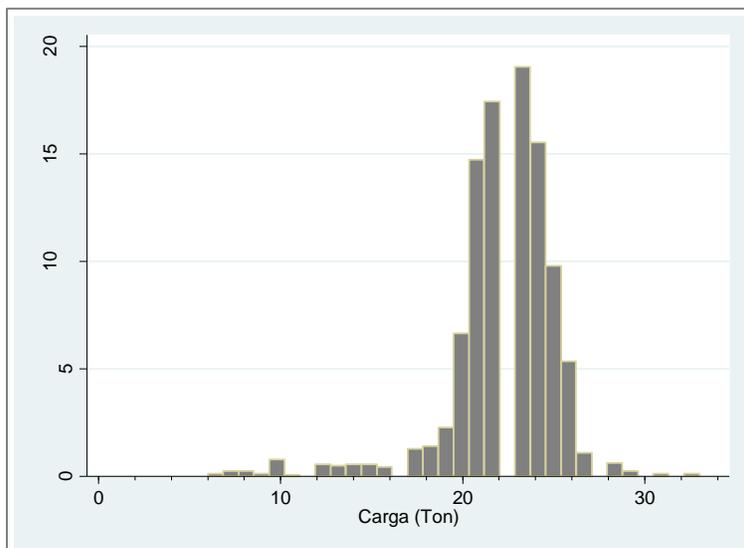
Figura. Espectros de carga eje Tándem Ciénaga Barranquilla.



Fuente: Elaboración propia.

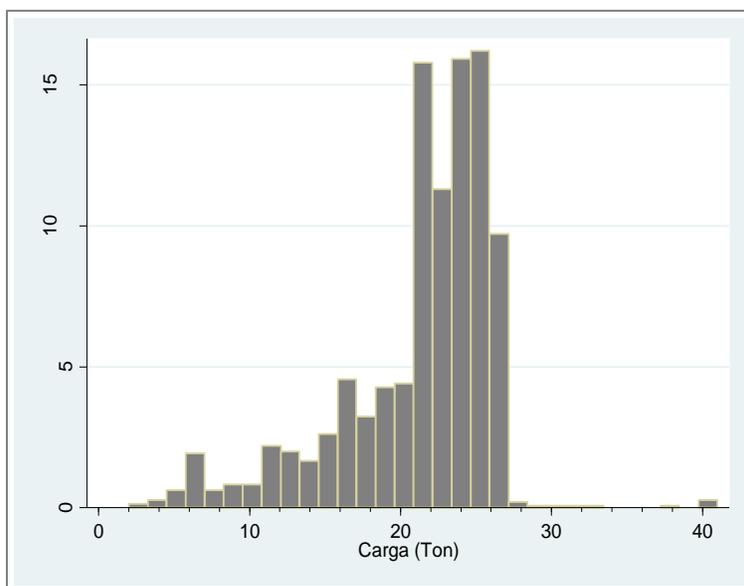
Para el eje Tándem la mayor frecuencia de carga es de 21 toneladas, para ambos sentidos, siendo un poco más alta en los que llevan dirección a Barranquilla siendo esta 24% aproximadamente.

Figura. Espectro de carga eje Tridem Barranquilla Ciénaga.



Fuente: Elaboración propia.

Figura. Espectro de carga eje Tridem Ciénaga Barranquilla.



Fuente: Elaboración propia.

Para el eje Tridem la diferencia es más notoria en cuanto al sentido más cargado reflejado en los dirigidos a Barranquilla, contrario a la carga (24 toneladas) con frecuencia más alta (19%), que se presenta en el otro sentido.

En general los espectros de carga permitieron ver que los vehículos que entran a Barranquilla presentan magnitudes de cargas y una tasa de sobrepeso más altas. Cuando se analizan espectros de carga es importante mencionar que en estas representaciones graficas se ve manifiesto también los vehículos con carga mal distribuida, por lo cual dentro de los datos hay ejes que exceden el peso máximo permitido pero el peso total del camión está dentro de los límites, es decir, dentro de los datos hay un camión C3 que tiene un límite de carga de 28.000 kg o 28 toneladas (esto según la configuración de los ejes), que presenta pesos de 8.800 kg en el eje direccional y 17.790 en el eje tándem, los cuales sumados están dentro del rango legal de 28.000 kg, pero su eje direccional está excediendo el peso límite permitido para ese eje. A continuación se presenta un análisis del sobrepeso y cantidades de los vehículos con carga mal distribuida.

5.3 ANÁLISIS DE SOBREPESO

De los datos disponibles se realizó un análisis de sobrecarga por tipo de eje teniendo como resultado lo mostrado en las **¡Error! No se encuentra el origen de a referencia.** y Este análisis fue realizado según lo establecido por la Resolución 4.100 de 2004.

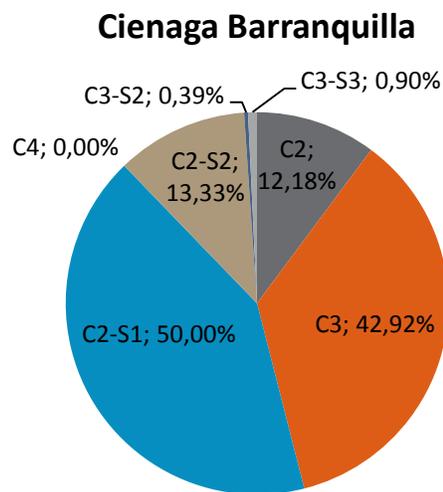
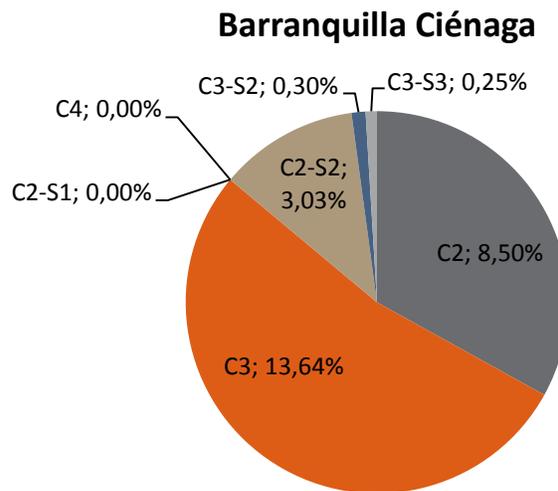
Tabla 16. Tipo de vehículos con sobrepeso

CIENAGA-BARRANQUILLA					
REFERENCIA	CANTIDAD	CON SOBREPESO		MAL CARGADOS	
		CANTIDAD	%	CANTIDAD	%
C2	1100	134	12,18%	521	47,36%
C3	233	100	42,92%	182	78,11%
C2-S2	90	12	13,33%	20	22,22%
C3-S2	256	1	0,39%	135	52,73%
C3-S3	1450	13	0,90%	681	46,97%
TOTAL	3129	260	8,31%	1539	49,19%

BARRANQUILLA-CIENAGA					
C2	459	39	8,50%	192	41,83%
C3	66	9	13,64%	52	78,79%
C2-S2	66	2	3,03%	28	42,42%
C3-S2	331	1	0,30%	166	50,15%
C3-S3	1625	4	0,25%	1091	67,14%
TOTAL	2547	55	2,16%	1529	60,03%

Fuente: Base de datos

Gráfica. Frecuencia de sobrepeso por sentido



Fuente: Elaboración propia

Según la información obtenida los vehículos con mayor frecuencia de sobrepeso son los que tienen sentido hacia Ciénaga, con un porcentaje de 60% para un total de 1529 vehículos sobrecargados. No obstante el sobrepeso en sentido contrario también es alto, llegando casi a la mitad de los vehículos pesados con un 49,19% para un valor de 1539 vehículos excediendo la carga permitida.

Los vehículos tipo C3 son los que mayor sobrecarga presentan en ambos sentidos, con 42,92% y 13,64% en dirección a Barranquilla y Ciénaga respectivamente.

Tabla 17. Ejes con sobrepeso

BARRANQUILLA-CIÉNAGA			
REFERENCIA	CANTIDAD	CON SOBREPESO	
		CANTIDAD	%
Direccional	2551	867	34%
Simple doble	521	183	35%
Tándem	2416	316	13%
Tridem	1625	393	24%
TOTAL	7113	1759	25%
CIÉNAGA-BARRANQUILLA			
Direccional	3139	207	7%
Simple doble	1194	533	45%
Tándem	2301	354	15%
Tridem	1450	505	35%
TOTAL	8084	1599	20%

Fuente: Elaboración propia

Para el análisis por tipo de eje se puede apreciar como los vehículos en sentido a Ciénaga tienen un mayor porcentaje de ejes con sobrepeso, pero hay que tener en cuenta que la muestra es un poco menor. En el eje Direccional se puede ver que los vehículos en dirección a Ciénaga son los que presentan la mayor frecuencia (34%) en las cargas que exceden los 6.000 kg (6 Ton) permitidos en el eje delantero. Para los ejes Simples de doble llanta el mayor porcentaje (45%) de violación al peso permitido de 11.000 kg (11 Ton) contrario a los ejes

Direccionales se presentan en el tránsito con dirección a Barranquilla. Para los ejes Tándem la diferencia en cuanto al sentido no fue muy amplia entre la frecuencia de sobrepeso de los 24.000 kg (24 Ton) permitidos. Finalmente en los ejes Tridem los vehículos con mayor frecuencia de sobrepeso vuelven a ser los dirigidos a Barranquilla.

5.3 DISEÑOS DE PAVIMENTO

Los diseños que se realizaron con fines comparativos, por lo tanto se asumen valores para las características del suelo como se puede apreciar en cada método.

Resolviendo el procedimiento para el diseño de pavimentos asfálticos o flexibles por medio de la metodología AASTHO-93 y tomando los datos obtenidos del tránsito (Ejes equivalentes de 8.2 toneladas) de la vía Ciénaga Barranquilla, se obtuvieron estructuras tipo de pavimentos utilizando el número de ejes equivalentes (ESALS) calculados actuales y por otro lado con los registrados por INVIAS. A su vez se realizaron los diseños para tres valores de CBR de subrasante, en este caso se diseñaron para CBR de 6%, 8% y 15%.

Estructuras de pavimentos obtenidas utilizando los datos calculados del tránsito (ESALS) vía Ciénaga Barranquilla, para los CBR de 6%, 8% y 15% respectivamente:

Datos:

Ejes equivalentes de 8.2 ton: **32.129.682 ejes**

Periodo de diseño (**T**): 20 años

Serviciabilidad inicial: 4.5

Serviciabilidad final: 2.5

Δ PSI: 2

Confiabilidad (**R**): 85% (urbano)

Zr: -1,037

Desviación estándar (**So**): 0.45 (Recomendado Guía AASTHO)

Calidad de drenaje (**m2; m3**): 1

CBR Subrasante: 6%; 8%; 15%

CBR Subbase Granular: 40%

CBR Base Granular: 80%

Modulo elástico de la mezcla asfáltica (**EHMA**): 450.000 PSI (Asumido)

Datos calculados a través de los nomogramas de diseño:

Modulo elástico de la Subbase (**ESB**): 16 000 PSI

Modulo elástico de la Base (**EBG**): 28 000 PSI

Coefficiente estructural (**a1**): 0.45

Coefficiente estructural (**a2**): 0.13

Coefficiente estructural (**a3**): 0.12

Numero estructural de la estructura (**SN** o **SN3**): 5.04

Numero estructural (**SN1**): 3.46

Numero estructural (**SN2**): 4.21

Para CBR de 6%

Carpeta Asfáltica (D1): 8 Pulg (EHMA: 450.000 PSI)

Base Granular (D2): 6 Pulg (CBR: 80%)

Subbase Granular (D3): 5.83 Pulg (CBR 40%)

Para CBR 8%

Carpeta Asfáltica (D1): 8 Pulg (EHMA: 450.000 PSI)

Base Granular (D2): 6 Pulg (CBR: 80%)

Subbase Granular (D3): 5.5 Pulg (CBR 40%)

Para CBR 15%

Carpeta Asfáltica (D1): 8 Pulg (EHMA: 450000 PSI)

Base Granular (D2): 6 Pulg (CBR: 80%)

Subbase Granular (D3): 2.16 Pulg (CBR 40%)

Estructuras de pavimentos obtenidas utilizando los datos del tránsito del Instituto Nacional de Vías INVIAS, vía Ciénaga – Barranquilla, para los CBR de 6%, 8% y 15% respectivamente:

Datos:

Ejes equivalentes de 8.2 ton: **28.579.798 ejes**

Periodo de diseño (**T**): 20 años

Serviciabilidad inicial: 4.5

Serviciabilidad final: 2.5

Δ PSI: 2

Confiabilidad (**R**): 85% (urbano)

Zr: -1,037

Desviación estándar (**So**): 0.45 (Recomendado Guía AASTHO)

Calidad de drenaje (**m2; m3**): 1

CBR Subrasante: 6%; 8%; 15%

CBR Subbase Granular: 40%

CBR Base Granular: 80%

Modulo elástico de la mezcla asfáltica (**EHMA**): 450 000 PSI (Asumido)

Datos calculados a través de los nomogramas de diseño:

Modulo elástico de la Subbase (**ESB**): 16 000 PSI

Modulo elástico de la Base (**EBG**): 28 000 PSI

Coefficiente estructural (**a1**): 0.45

Coefficiente estructural (**a2**): 0.13

Coefficiente estructural (**a3**): 0.12

Numero estructural de la estructura (**SN** o **SN3**): 4.96

Numero estructural (**SN1**): 3.40

Numero estructural (**SN2**): 4.14

Para CBR de 6%

Carpeta Asfáltica (D1): 8 Pulg (EHMA: 450000 PSI)

Base Granular (D2): 6 Pulg (CBR: 80%)

Subbase Granular (D3): 5.16 Pulg (CBR 40%)

Para CBR 8%

Carpeta Asfáltica (D1): 8 Pulg (EHMA: 450000 PSI)

Base Granular (D2): 6 Pulg (CBR: 80%)

Subbase Granular (D3): 4.8 Pulg (CBR 40%)

Para CBR 15%

Carpeta Asfáltica (D1): 8 Pulg (EHMA: 450000 PSI)

Base Granular (D2): 6 Pulg (CBR: 80%)

Subbase Granular (D3): 1.5 Pulg (CBR 40%)

En los diseños se puede observar la variación de las estructuras principalmente en la capa de Subbase la cual se ve claramente afectada por el valor del CBR del suelo natural o Subrasante. En este caso la variación aparentemente no fue muy excesiva, pero si nos muestra la gran importancia que se debe tener al momento de realizar un diseño y que se verá reflejado en los costos al momento de ejecutar el proyecto. Además, se generarán posibles deterioros prematuros como consecuencia de no contar con la información actual del tránsito.

Podemos notar que al incrementar el número de ejes equivalentes la estructura del pavimento aumento de igual forma estando directamente ligada y dependiente de esta variable como lo es el tránsito. Al incrementar o disminuir el CBR de Subrasante se observa que la estructura se comportó diferente en comparación con el incremento de los ejes equivalentes, en este caso al aumentar el CBR la

estructura del pavimento fue menor o en el caso contrario al tener un CBR bajo la estructura podría ser mayor o incrementar.

La incertidumbre que se tiene al momento de diseñar un pavimento es una de las principales razones por la cual se deben manejar controles de pesos de vehículos además de tener una estimación lo más cercana posible a la realidad y actualidad del tránsito que está influyendo sobre una vía en específico o toda la malla vial de un departamento en este caso el Atlántico. Las variaciones de los espesores de los diseños obtenidos reflejan un incremento con los ESALS actuales obtenidos de la vía Ciénaga Barranquilla en comparación con los ESALS de INVIAS, resaltando además una diferencia de 3.549.884 ejes equivalentes de 8.2 toneladas en los registros actuales y que son relevantes al momento realizar un diseño.

En los diseños realizados para los distintos CBR presentaron estructuras similares pero que difieren en las capas de Subbase por variación del número de ejes, que arroja valores de SN mayores al aumentar los ESAL o viceversa, esto ocasiona cambios en las capas de la estructura, pero principalmente en la antes mencionada. En las capas de base hay variaciones, pero se toman espesores de 6 Pulg, siendo este valor el mínimo requerido para bases granulares en pavimentos flexibles. En los diseños con la información del tránsito actual, a causa del incremento de ESALS la estructura sufre un incremento en sus capas por ser esta directamente proporcional a los ejes equivalentes.

En el primer diseño para el CBR de 6% tuvo un incremento de 0.67 pulgadas (1.70 cm) de espesor, lo cual representa un valor considerable al momento de analizar los costos de material granular, además de la capacidad y resistencia para la cual inicialmente se había diseñado esperando un tránsito considerado y bien cargado. En el segundo caso al mejorar un poco la capacidad portante del suelo o CBR, en este caso de 8 %, los resultados fueron similares a los anteriores, pero teniendo en cuenta que al mejorar el CBR la estructura se hacía menor siendo estas inversamente proporcionales, hubo un incremento de la estructura de 0.7 pulgadas (1.778 cm) de espesor.

Como se puede observar la variación del CBR en los tres casos se mantuvo como promedio un incremento de 1.70 cm de espesor, lo que nos demuestra que el principal influyente en la variabilidad de las estructuras fue el tránsito. Actualmente en la vía Ciénaga Barranquilla se estima un numero de ejes equivalentes de 8.2 toneladas de 32.129.682, en comparación con la información presentada por INVIAS que presenta un numero de ejes de 28.579.798 ejes, lo cual representa una diferencia de ejes equivalentes de 8.2 toneladas (ESALS) de 3.549.884, mostrando que para estas solicitaciones de carga la estructura debe estar diseñada con aproximadamente 1.71 cm mayor de espesor.

6. CONCLUSIONES

Resulta de gran importancia para la ciudad de Barranquilla, conocer las características específicas del tránsito de la Vía Ciénaga Barranquilla, ya que manejar información detallada y certera permitirá no solo construir vías más eficientes, rentables y duraderas, sino además reducir posibles sobrecostos por estructuras diseñadas con mayores requerimientos de los necesarios o por rehabilitaciones prematuras en el pavimento a causa de subestimaciones en los diseños.

El estudio permitió definir que los FC de la vía Ciénaga Barranquilla C2, C3, C2-S2 y C3-S2 que proporciona el INVIAS son menores a los FC calculados en la investigación debido a la alta frecuencia de sobrepeso, excepto para el camión C3-S3, lo que implica probablemente que los diseños realizados para esta vía hayan subestimado las cargas que transitan la vía dando esto como resultado espesores menores o menores exigencias sobre las propiedades de los materiales que componen la estructura de la carretera. Por esta razón su vida útil podría presentar signos prematuros de daños como ahuellamiento y diferentes tipos de grietas debido a la frecuencia de sobrepeso que registra la base de datos, reduciendo así su serviciabilidad y atentando a la seguridad de los usuarios. Se infiere por los resultados obtenidos que no es conveniente usar valores nacionales para diseñar.

De acuerdo a los resultados obtenidos se recomienda hacer estudios de carga en la mayor cantidad de vías principales posibles con mediana regularidad para poder contar con información actualizada, valores de FC reales y obtener así diseños más aptos de tal forma que los procesos de rehabilitación y reducción de la vida útil sean lo menos posibles en el tiempo previsto para tales sucesos. De igual forma se sugiere realizar una auditoria vial al tramo estudiado teniendo en cuenta los diseños del mismo para analizar con mayor profundidad los efectos del tránsito.

Es importante que las autoridades encargadas tomen medidas pertinentes para controlar el sobrepeso y estimular la correcta acomodación de la carga dentro de los vehículos dado que una errónea acomodación puede llevar a sobrepasar los límites de carga asignados a cada eje, situación que es visible constantemente en la base de datos.

REFERENCIAS

1. Anguas, P. G. (s.f.). *Espectros de Carga y Daño*.
2. Collop, A. C. (1993). *Effects of Traffic and Temperature on Flexible Pavement Wear*. Ph. D. Thesis. Cambridge University.
3. Hurtado, C. (Marzo de 2009). *Coeficiente Integral de Daño a Pavimentos Causado por Vehículos Pesados*. Querétaro, México.
4. Lay, M. (2008). *A History of Freight Transport Prior to the Modern Truck*. Proceedings of the International Conference of Heavy Vehicles. Mont Waverley.
5. Macea, L., Fuentes, L., & Alvarez, A. (2013). *Evaluación de Factores Camión de los Vehículos Comerciales de Carga que Circulan por la Red Vial Principal Colombiana*. Fac. Ing. Univ. Antioquia, 13.
6. Montejo Fonseca, A. (2006). *Ingeniería de Pavimentos*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
7. Moreno, E. (2004). *El Sobrepeso en el Autotransporte de Carga: Elementos para su Estudio y Control*. Instituto Mexicano del Transporte.
8. Osman, O., Ghazolly, E., & Mousa, R. M. (2009). *Impact of Increasing Legal Axle Loads on Truck Factor in Egypt*. Cairo, Egipto: Taylor & Francis Group, London.
9. Rico, A., & Del Castillo, H. (1989). *La Ingeniería de Suelo en la Vías Terrestres*. Vol 2. Mexico: Limusa.
10. Salama, H. K., Chatti, K., & Lyles, R. W. (2006). *Effect of Heavy Multiple Axle Trucks on Flexible Pavement Damage Using In-Service Pavement Performance Data*. JOURNAL OF TRANSPORTATION ENGINEERING, 8.
11. Salama, H., Chatti, K., & Lyles, R. W. (s.f.). *Effect of Heavy Multiple Axle Trucks on Flexible Pavement*.
12. Sanchez Sabogal, F. (1983). *Pavimentos*. Bogotá, Cundinamarca, Colombia.
13. Strauss, S., & Semmens, J. (January de 2006). *Estimating the Cost of Overweight Vehicle Travel on Arizona Highways*, Transportation Research Board (TRB). Washington, United States: Anual Meeting. Paper # 06-0959.

14. *Sweatman, P. F. (1983). A study of Dynamic Wheel Forces in Axle Group Suspensions of Heavy Vehicles. Australian Road Reserch Board. Special Report 27.*
15. *Troncoso, J. R. (2011). Evaluación del Espectro de Carga y Coeficientes de Daño en el Corredor de la Avenida Boyacá, Bogotá D.C. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Sede Bogotá.*

	NORMAS PARA LA ENTREGA DE TESIS Y TRABAJOS DE GRADO A LA UNIDAD DE INFORMACION	VERSION: 02
		FECHA: Junio 2012
		CODIGO: DOC-VACRE-NETGUDI

**ANEXO 1
CARTA DE ENTREGA Y AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA LA CONSULTA, LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO DE TESIS Y TRABAJOS DE GRADO**

Barranquilla, Fecha

Marque con una X

Tesis Trabajo de Grado

Yo Kevin Andres Hernandez Ortiz, identificado con C.C. No. 1140869326, actuando en nombre propio y como autor de la tesis y/o trabajo de grado titulado Evaluacion factores de equivalencia y sus efectos en la reduccion de la vida civil de los estructuras de pavimentos via Biqulle-Cienaga presentado y aprobado en el año 2016 como requisito para optar al titulo de Ingeniero Civil

hago entrega del ejemplar respectivo y de sus anexos de ser el caso, en formato digital o electrónico (DVD) y autoriza a la UNIVERSIDAD DE LA COSTA, CUC, para que en los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia, utilice y use en todas sus formas, los derechos patrimoniales de reproducción, comunicación pública, transformación y distribución (alquiler, préstamo público e importación) que me corresponden como creador de la obra objeto del presente documento.

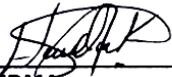
Y autorizo a la Unidad de información, para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad de la Costa, CUC, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en la página Web de la Facultad, de la Unidad de información, en el repositorio institucional y en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la institución y Permita la consulta, la reproducción, a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato DVD o digital desde Internet, Intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer.

EL AUTOR - ESTUDIANTES, manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y la realizó sin violar o usurpar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es de su exclusiva autoría y detenta la titularidad ante la misma. PARÁGRAFO: En caso de presentarse cualquier reclamación o acción por parte de un tercero en cuanto a los derechos de autor sobre la obra en cuestión, EL ESTUDIANTE - AUTOR, asumirá toda la responsabilidad, y saldrá en defensa de los derechos aquí autorizados; para todos los efectos, la Universidad actúa como un tercero de buena fe.

Para constancia se firma el presente documento en dos (02) ejemplares del mismo valor y tenor, en Barranquilla D.E.I.P., a los 25 días del mes de Mayo de Dos Mil dieciséis 2016.

EL AUTOR - ESTUDIANTE. _____


FIRMA

	NORMAS PARA LA ENTREGA DE TESIS Y TRABAJOS DE GRADO A LA UNIDAD DE INFORMACION	VERSION: 02
		FECHA: Junio 2012
		CODIGO: DOC-VACRE-NETGUDI

**ANEXO 1
CARTA DE ENTREGA Y AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA LA CONSULTA, LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO DE TESIS Y TRABAJOS DE GRADO**

Barranquilla, Fecha _____

Marque con una X

Tesis Trabajo de Grado

Yo GERARDO ARIAS BRACHO, identificado con C.C. No. 1121323580, actuando en nombre propio y como autor de la tesis y/o trabajo de grado titulado Evaluación Pictórica de y sus efectos en la reducción de la utilidad de las estructuras de pavimentos via- Alquívil - ciem presentado y aprobado en el año 2016 como requisito para optar al título de Ingeniero Civil;

hago entrega del ejemplar respectivo y de sus anexos de ser el caso, en formato digital o electrónico (DVD) y autorizo a la UNIVERSIDAD DE LA COSTA, CUC, para que en los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia, utilice y use en todas sus formas, los derechos patrimoniales de reproducción, comunicación pública, transformación y distribución (alquiler, préstamo público e importación) que me corresponden como creador de la obra objeto del presente documento.

Y autorizo a la Unidad de información, para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad de la Costa, CUC, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en la página Web de la Facultad, de la Unidad de información, en el repositorio institucional y en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la institución y Permita la consulta, la reproducción, a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato DVD o digital desde Internet, Intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer.

EL AUTOR - ESTUDIANTES, manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y la realizó sin violar o usurpar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es de su exclusiva autoría y detenta la titularidad ante la misma. PARÁGRAFO: En caso de presentarse cualquier reclamación o acción por parte de un tercero en cuanto a los derechos de autor sobre la obra en cuestión, EL ESTUDIANTE - AUTOR, asumirá toda la responsabilidad, y saldrá en defensa de los derechos aquí autorizados; para todos los efectos, la Universidad actúa como un tercero de buena fe.

Para constancia se firma el presente documento en dos (02) ejemplares del mismo valor y tenor, en Barranquilla D.E.I.P., a los 25 días del mes de mayo de Dos Mil dieciséis 2016.

EL AUTOR - ESTUDIANTE, GERARDO ARIAS BRACHO

FIRMA

	NORMAS PARA LA ENTREGA DE TESIS Y TRABAJOS DE GRADO A LA UNIDAD DE INFORMACION	VERSION: 02
		FECHA: Junio 2012
		CODIGO: DOC-VACRE-NETGUDI

**ANEXO 2
FORMULARIO DE LA DESCRIPCIÓN DE LA TESIS O DEL TRABAJO DE GRADO**

TÍTULO COMPLETO DE LA TESIS O TRABAJO DE GRADO:

Evaluación de Factores de Equivalencia y Sus Efectos en la Reducción de la Vida Útil en los Estructuras de los Pavimentos de la Vía Barranquilla - Ciénaga

SUBTÍTULO, SI LO TIENE:

AUTOR AUTORES

Apellidos Completos	Nombres Completos
<i>Hernández Ortiz</i>	<i>Kevin Andrés</i>
<i>Anas Bracho</i>	<i>Gerardo</i>

DIRECTOR (ES)

Apellidos Completos	Nombres Completos
<i>Orozco Pontulvo</i>	<i>Mauricio</i>
<i>Berna Hernández</i>	<i>Laura</i>

JURADO (S)

Apellidos Completos	Nombres Completos
<i>Ramos</i>	<i>Raúl</i>
<i>Cobus</i>	<i>Lorena</i>

ASESOR (ES) O CODIRECTOR

Apellidos Completos	Nombres Completos

TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO DE: *Ingeniero civil*

FACULTAD: *Ingeniería*

PROGRAMA: Pregrado Especialización

NOMBRE DEL PROGRAMA *Ingeniería Civil*

	NORMAS PARA LA ENTREGA DE TESIS Y TRABAJOS DE GRADO A LA UNIDAD DE INFORMACION	VERSION: 02
		FECHA: Junio 2012
		CODIGO: DOC-VACRE-NETGUDI

CIUDAD: Barranquilla AÑO DE PRESENTACIÓN DEL TRABAJO DE GRADO: _____

NÚMERO DE PÁGINAS _____

TIPO DE ILUSTRACIONES:

- | | |
|--|--------------------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> Ilustraciones | <input type="checkbox"/> Planos |
| <input type="checkbox"/> Laminas | <input type="checkbox"/> Mapas |
| <input type="checkbox"/> Retratos | <input type="checkbox"/> Fotografías |
| <input checked="" type="checkbox"/> Tablas, gráficos y diagramas | |

MATERIAL ANEXO (Video, audio, multimedia o producción electrónica):

Duración del audiovisual: _____ minutos.

Número de casetes de video: _____ Formato: VHS ___ Beta Max ___ 3/4 ___ Beta Cam _____

Mini DV DV Cam _____ DVC Pro _____ Video 8 _____ Hi 8 _____

Otro. Cuál? _____

Sistema: Americano NTSC _____ Europeo PAL _____ SECAM _____

Número de casetes de audio: _____

Número de archivos dentro del DVD (En caso de incluirse un DVD diferente al trabajo de grado): _____

PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o tener una mención especial): _____

DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS: Son los términos que definen los temas que identifican el contenido. (En caso de duda para designar estos descriptores, se recomienda consultar con la Unidad de Procesos Técnicos de la Unidad de información en el correo biblioteca@cuc.edu.co, donde se les orientará).

ESPAÑOL

INGLÉS

_____	_____
_____	_____
_____	_____

RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLÉS:(Máximo 250 palabras-1530 caracteres):
