

**RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN
- RAE -**



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia
Vigilada Mineducación

RIUCaC

**FACULTAD INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS
BOGOTÁ D.C.**

Atribución	<input type="checkbox"/>	Atribución no comercial	<input checked="" type="checkbox"/>	Atribución no comercial sin derivadas	<input type="checkbox"/>
Atribución no comercial compartir igual	<input type="checkbox"/>	Atribución sin derivadas	<input type="checkbox"/>	Atribución compartir igual	<input type="checkbox"/>

AÑO DE ELABORACIÓN: 2019

TÍTULO: Análisis mecanicista para evaluar el pavimento de la Trocha 12 vía de acceso al pozo Trogon, Municipio de Guamal – Meta, campaña de perforación del año 2020-2021.

AUTOR (ES): Izquierdo Velásquez, Carolina

DIRECTOR(ES)/ASESOR(ES):

Espinosa Hermida, Laura María

MODALIDAD: Investigación.

PÁGINAS: **TABLAS:** **CUADROS:** **FIGURAS:** **ANEXOS:**

CONTENIDO:

RESUMEN

1. INTRODUCCIÓN
2. GENERALIDADES DEL ESTUDIO
3. MARCO TEÓRICO
4. ESTADO DEL ARTE
5. METODOLOGÍA DEL TRABAJO
6. PAVIMENTO VÍA DE ACCESO AL POZO TROGON – TROCHA 12
7. ESTIMACIÓN Y CÁLCULOS DEL TRÁNSITO PARA EL PERIODO DE DISEÑO
8. FACTOR CLIMA
9. EVALUACIÓN GEOTÉCNICA

**RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN
- RAE -**



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia
Vigilada Mineducación

RIUCaC

10. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO
 11. SECTORIZACIÓN DE TRAMOS HOMOGÉNEOS
 12. APLICACIÓN DE LA INTERFAZ DE MATERIALES CR-ME, CONDICIONES INICIALES DEL PAVIMENTO
 13. ANÁLISIS Y RESULTADOS DE LAS CONDICIONES INICIALES DE LA VÍA
 14. PROPUESTA DE REHABILITACIÓN
 15. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA SOBRECARPETA DE 10CM
 16. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS COMPARACIÓN DE CONDICIONES
 17. CONCLUSIONES
 18. RECOMENDACIONES
- BIBLIOGRAFÍA
ANEXOS

DESCRIPCIÓN:

Los diseños de pavimentos flexibles en Colombia, están basados en metodologías empíricas como es el método AASHTO 93, pero con el pasar de los años, el Instituto Nacional de Vías, ha sumado los criterios mecanicistas a sus manuales y guías para pavimentos flexibles, permitiendo realizar la verificación de la vida residual de un pavimento, aplicando procesos de rehabilitación que permitan extender la capacidad estructural o determinar incluso la reconstrucción de un tramo.

El estudio está enfocado en el análisis de la estructura del pavimento existente por medio de metodologías empírico-mecanicistas, para evaluar los esfuerzos y deformaciones en las capas granulares, la capa asfáltica y la subrasante.

Se realizan cálculos y análisis del tránsito basados en el cálculo de ejes equivalentes siguiendo el Manual de diseño de pavimentos flexibles en vías con medios y altos volúmenes de tránsito del Instituto Nacional de Vía, y para el diseño de la rehabilitación se emplea el programa de la Universidad de Costa Rica PITRA-CR-ME VERSIÓN BETA, que permite la evaluación de los materiales, los esfuerzos a la luz de las leyes de fatiga y el ahuellamiento de la totalidad de las capas del pavimento.

Cumpléndose para cada una de las unidades de diseño los daños por fatiga de arriba hacia abajo y de abajo hacia arriba, en las dos carpetas de mezcla asfáltica, y ahuellamiento de todas las capas que integran la estructura del pavimento; estos datos los arroja el programa CR-ME, y permite evaluar, el cumplimiento de estas premisas, en el periodo de diseño para el tránsito esperado, durante la perforación de los dos pozos.



METODOLOGÍA:

El proceso se inició con la recopilación de la información primaria y secundaria, referente a la vía de acceso al Pozo Trogon denominada Trocha 12, del municipio de Guamal, Meta: La documentación se buscó con el dueño del proyecto, que para el caso es Ecopetrol.

Posteriormente se realiza una revisión y organización de la información recolectada: organizando la documentación de geotecnia y ensayos de laboratorio de acuerdo a su trazabilidad y por fechas, ya que hay información del año 2018 y 2019.

A continuación se procedió al cálculo del tránsito y cálculo del número de ejes equivalentes siguiendo el “Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos en vías con Medios y Altos volúmenes de tránsito” del Invías; el tránsito se tomó a partir del resultado de los aforos, se proyectó de acuerdo al período de diseño, teniendo en cuenta el tránsito durante construcción de los pozos, de las ingresos y salidas de las movilizaciones para cada periodo, del tránsito atraído y generado, hasta obtener un tránsito promedio diario y el cálculo de ejes equivalentes; sin embargo, el programa CR-ME hace el cálculo de los ejes equivalentes.

Como siguiente tarea se procedió al cálculo del clima con el cálculo índice de Thorthwaite que es requisito del programa y la realización del análisis de geotecnia y pavimento: se extrajo la información de los ensayos de laboratorio y se organizaron por capas de acuerdo a la estructura de la vía, obteniendo así las unidades homogéneas de diseño.

Cuando se tuvieron los datos de entrada del proyecto se procedió a la aplicación del programa CR-ME Versión Beta para corroborar módulos, ahuellamientos y daño actual de la vía; se comenzó la corrida del programa tal como lo indica el manual, introduciendo los datos del tránsito, clima, materiales, y luego la obtención de los resultados. Las Iteraciones del programa CR-ME se realizaron hasta encontrar el espesor de sobrecarpeta que cumpliera con el daño por fatiga y ahuellamiento para los dos años de periodo de diseño determinado.

Finalmente se realiza un análisis de resultados: se realiza la comparación respectiva de la condición inicial con la final que satisfaga las leyes de fatiga y ahuellamiento.

**RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN
- RAE -**



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia
Vigilada Mineducación

RIUCaC

PALABRAS CLAVE:

INVÍAS, CR-ME VERSIÓN BETA, LEYES DE FATIGA, AHUELLAMIENTO, MECANICISTA, EMPÍRICO, EXTRADIMENSIONADAS, EXTRAPESADAS, EJES EQUIVALENTES, WITCZAK, WITCZAK-LANAMME, MEPDG, AASHTO.

CONCLUSIONES:

- ✓ Mediante la revisión de las condiciones de la estructura del pavimento existente, se pudo determinar que, para las condiciones actuales, la vía no podrá soportar las solicitaciones del tránsito de diseño, en el periodo de diseño, y va a presentar daños por fatiga y ahuellamiento antes del primer año de servicio.
- ✓ Para el caso de estudio el pavimento requiere un sistema de refuerzo para mejorar las condiciones y capacidad estructural; para ello se propuso la instalación de una sobrecarpeta de mezcla asfáltica tipo MDC-19, y se determinó que el espesor requerido para cumplir con el número de ejes equivalentes del tránsito de diseño es de 10 cm, para un periodo de 2 años.
- ✓ Se empleó la aplicación de metodologías mecánicas – empíricas para la evaluación y propuesta de rehabilitación del pavimento. El concepto mecanicista se basó en el comportamiento del pavimento, ante las acciones del clima, el tránsito, las características de los materiales y la condición existente del pavimento. Lo anterior, permite calcular y determinar el comportamiento de la estructura del pavimento para los diferentes niveles de daños por fatiga y ahuellamiento, en el desarrollo del periodo de diseño. Los conceptos empíricos fueron aplicados mediante el uso de formulaciones de la guía metodológica MEPDG basado en el método AASHTO y que emplea el programa CR-ME versión Beta para obtener el diseño del pavimento flexible bajo la condición de rehabilitación.
- ✓ Para el cálculo del tránsito se empleó la metodología del Manual de Diseño para Pavimentos Asfálticos en vías de Medios y Altos volúmenes de tránsito, mediante la cual se calculó el TPD, se determinó el factor de carga (FECE) con la aplicación de la ley de la cuarta potencia y se obtuvo el número de ejes equivalentes de 8,2 toneladas. El tránsito de trabajo corresponde a cargas extradimensionadas y extrapesadas para la perforación de dos pozos; esto hace que las condiciones de los vehículos sean críticos en comparación con otras condiciones de vías similares y que no exigen una rehabilitación temprana.

RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN
- RAE -



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia
Vigilada Mineducación

RIUCaC

- ✓ El número de ejes equivalentes calculado por el manual de medios y altos volumen de tránsito es de $3.48 \cdot 10^6$, y se designa como un tránsito tipo T3 en un rango de $2 - 4 \cdot 10^6$. Se puede identificar que el tránsito de diseño, presenta valores muy altos, considerando que este tránsito deberá transcurrir en un periodo muy corto de 2 años, por lo que hace que sea una condición crítica para el proyecto.
- ✓ La aplicación del programa de cálculo CR-ME versión Beta, calcula el número de ejes equivalentes (ESAL's) y el resultado es de $4,01 \cdot 10^6$ ejes equivalentes. La diferencia numérica es de 530.000 ejes equivalentes; el programa trabaja con los mismos datos que la metodología del manual de medios y altos volúmenes, pero aplica un factor de amplificación, y trabaja con el porcentaje de crecimiento del último año del periodo de diseño, generando un mayor aumento del tránsito de diseño.
- ✓ Para los factores de crecimiento del tránsito, en un corredor consolidado como es el caso de estudio, las variaciones del tráfico anuales están ligadas en gran manera a la economía de la región y del país, con lo cual se limitó a datos y variables de fácil obtención y proyección como lo son las series históricas del comportamiento del Producto Interno Bruto (PIB) nacional.
- ✓ Otro dato de entrada importante de la metodología mecánica es el clima, y para el programa de CR-ME, se emplean datos de la temperatura media mensual y el cálculo del índice de Thornwaite; aunque se emplearon los datos del municipio de Guamal, es claro que el programa está orientado a las condiciones de Costa Rica.
- ✓ Con la evaluación geotécnica de la información del pavimento y los resultados de los ensayos de laboratorio, se determinaron 5 unidades de diseño, o sectorización de tramos homogéneos, las cuales se definieron mediante la evaluación de las condiciones granulométricas de las capas granulares, empleando los rangos y valores establecidos en las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del Invías, y soportados en evaluación de características como humedad, índices de plasticidad, límites, contenidos orgánicos, etc.
- ✓ Se determinó que para la unidad 1, 2, 3 y 5 la subrasante corresponde a arcillas de baja plasticidad, mientras que la unidad 4 a una grava arcillosa de baja plasticidad. Que sobre la subrasante hay una capa de material de mejoramiento tipo crudo de río, con excepción de la unidad 4; y que este material permite mejorar sustancialmente las condiciones de la subrasante, por ello se empleó la



fórmula de Ivanov, para calcular el nuevo CBR de la subrasante mejorada; la capa de mejoramiento tiene un espesor promedio entre 20 y 60 cm.

- ✓ Sobre la subrasante hay instalada una capa de subbase granular; a la cual se le realizaron los ensayos definidos por el Invías, y se determinó que la granulometría corresponde con una subbase tipo SBG-50 y SBG-38, con espesor entre 20 y 30 cm.
- ✓ La carpeta asfáltica instalada trabaja como capa de rodadura, con espesores entre 4 y 5 cm; la cual presenta deficiencias en el porcentaje de vacíos, como es establecido en los rangos entre 3 y 5 %, y para el pavimento existente estos valores están entre 5 y 8,90%, por lo que se puede determinar que la capa va a presentar deterioros acelerados por fisuramientos y agrietamientos longitudinales.
- ✓ El programa de CR-ME, establece ciertos parámetros de entrada para cada una de las capas, como espesores de la capa, relación de Poissons, densidad máxima seca, gravedad específica, humedad óptima, porcentajes granulométricos, etc., y en el caso de las capas granulares calcula el módulo resiliente; mientras que para la capa de asfalto arroja la curva maestra de la mezcla en función del módulo dinámico y frecuencia de carga.
- ✓ El programa de CR-ME trabaja en el caso de los materiales con 3 niveles de información; para el caso de la mezcla asfáltica el nivel 1 requiere el conocimiento de unas constantes como son α , β , γ , δ y c son obtenidas de una optimización no lineal con los datos del ensayo AASHTO T307; el nivel 2 utilizará el modelo de Arrhenius, en este modelo no se toma en cuenta las propiedades específicas del ligante asfáltico utilizado. Mientras que el nivel 3 (básico) es el que menos información requiere, pero sí necesita datos granulométricos entre otros; es por ello que se trabajó para este caso con el nivel 3, ya que esta información se tiene de los apiques, y del resultado de los ensayos de laboratorio realizados en el año 2018 y 2019.
- ✓ Teniendo en cuenta que para las propiedades de la carpeta asfáltica se tienen los modelos de Witczak, modelo de Witczak-Lanamme y modelo de ANN-Lanamme, se define para el caso de estudio, trabajar con el modelo Witczak. Esto se determina porque según la guía del usuario del programa CR-ME Versión Beta, los otros dos modelos están directamente relacionados y documentados para datos de las mezclas asfálticas de Costa Rica; mientras que el modelo de

**RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN
- RAE -**



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia
Vigilada Mineducación

RIUCaC

Witczak corresponde a parámetros no normalizados, es decir para cualquier tipo de mezcla.

- ✓ El programa requiere que se determinen unos módulos de transferencia que están asociados con la guía MEPDG por defecto, pero también da la posibilidad de que se introduzcan datos particulares. Para el caso de estudio se emplearon los datos del MEPDG.
- ✓ El programa requiere que se completen todos los datos solicitados, para ir dando avance al programa, primero datos del tránsito, luego el clima, materiales y finalmente módulos; permite guardar por cada sección la información para después ser empleada, con extensiones de acuerdo a la información.
- ✓ Para el caso de estudio donde se determinaron 5 unidades de diseño, fue necesario grabar la información en los materiales de cada unidad; pero se debe poner especial atención, porque si se decide revisar la información guardada, el programa automáticamente borra un dato en el caso de los granulares el valor del CBR.
- ✓ El programa calcula los módulos resilientes en MPa, así como los módulos dinámicos de la mezcla, en la parte de introducción de datos, mientras que después de completar la información y correr el programa, entrega datos de estos módulos recalculados en función de la temperatura y el tránsito.
- ✓ El programa de CR-ME permite iterar diferentes opciones de colocación de refuerzos de capas granulares, estabilizadas y de mezclas asfálticas, hasta lograr cumplir con todos los parámetros de daños por fatiga y ahuellamiento.
- ✓ La unidad de diseño 4 presentó el mayor porcentaje de deterioro de daño por fatiga de arriba hacia abajo, y que este factor está asociado a las cargas del tránsito, y al hecho de que es el tramo donde no hay mejoramiento de la subrasante.
- ✓ Todas las unidades de diseño presentaron porcentajes de daños por fatiga (de arriba hacia abajo, y de abajo hacia arriba) muy altos y con fallas antes del primer año de servicio; mientras que después de colocar la sobrecarpeta, estas condiciones mejoraron considerablemente, de tal manera que estos porcentajes disminuyeron hasta un 70% del valor inicial.

**RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN
- RAE -**



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia
Vigilada Mineducación

RIUCaC

- ✓ Además, el programa arroja curvas de porcentaje de área agrietada y de agrietamiento longitudinal, las cuales luego de proponer la sobrecarpeta, aseguran que estos daños no se verán reflejados ni afectados antes de los dos años del periodo de diseño.
- ✓ Para la unidad de diseño 1, el programa indicó que es el tramo con más problemas por ahuellamiento, y que fallará antes del primer año de servicio; pero que después de proponer la sobrecarpeta esta condición cambia sustancialmente para esta unidad y las otras 4, de tal manera, que los daños por ahuellamiento en los dos años de servicio no superarán el límite establecido por la guía de MEPDG que corresponde a 12,50 mm.
- ✓ El ahuellamiento más alto lo tendrá la unidad 1; sin embargo, para todas las demás unidades de diseño, la capa que más se ahuella o se deforma es la carpeta de mezcla asfáltica.
- ✓ Los valores de los módulos dinámicos de la mezcla asfáltica de la capa inferior o existente de la unidad 1 y 2, superan los valores de los módulos de la carpeta superior o sobrecarpeta. Esto puede deberse a un proceso de envejecimiento más acelerado de la mezcla debido a condiciones de los porcentajes de vacíos de la mezcla instalada están fuera del rango normativo, y por ende este deterioro puede reflejarse en la sobrecarpeta.
- ✓ Los módulos dinámicos de las mezclas asfálticas son presentados por el programa de CR-ME en función de la temperatura en el primer año de servicio; para este caso los módulos más bajos se presentan en el mes 2 (febrero) y los valores más altos en el mes 7 (julio). Este comportamiento predictivo permite determinar que en el mes de febrero están la temperatura más alta; para su debido comportamiento revisar el contenido de asfalto para garantizar que la capa tenga la suficiente elasticidad y resiliencia para deformarse y recuperarse. Situación similar para el mes de julio o mes 7, donde se presenta la temperatura más baja, así que puede revisarse el contenido de asfalto en el diseño de la mezcla para evitar que se presente rigidez temprana.
- ✓ Desde un principio se planteó que la solución de una sobrecarpeta fuera el procedimiento de rehabilitación más adecuado, toda vez que una de las premisas que estableció Ecopetrol, es el aprovechamiento de los materiales instalados. Sin embargo, el programa CR-ME no permite realizar planteamientos como el uso de geosintéticos, que permitan ganar capacidad portante en las capas granulares y



las mezclas asfálticas con el mejoramiento de los módulos resilientes y dinámicos, respectivamente.

- ✓ Aún se tienen muchas falencias, para trabajar los procedimientos del cálculo del tránsito por medio del FECE y de espectros de carga; para casos como el de la industria petrolera se siguen aplicando en las metodologías, los factores de equivalencia de carga establecidos por el Invías en el año de 1998, o en su defecto se toman la guía para bajos volúmenes de tránsito.
- ✓ Lo mismo sucede con los métodos de diseño para pavimentos flexibles, se siguen únicamente metodologías empíricas como AASHTO, Instituto del Asfalto o el mismo diseño Invías, sin ahondar en métodos mecanicistas que permitan establecer mejores condiciones del tránsito, el clima y los materiales.

FUENTES:

- [1] Invias, Guía Metodológica Para El Diseño De Obras De Rehabilitación De Pavimentos Asfálticos De Carreteras, Bogotá D.C.: Ministerio De Transporte, 2008.
- [2] Ing. Carlos Higuera Sandoval, Principios Básicos de Diseño de Pavimentos, Tunja: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 2008.
- [3] Alfonso Murgueitio Valencia, 10 Simposio Colombiano sobre Ingeniería de Pavimentos.
- [4] Ing. Maylin Corros B., Ing. Ernesto Urbáez P., Ing. Gustavo Corredor, Manual de Evaluación de Pavimentos, Venezuela: Universidad Nacional de Ingeniería, 2009.
- [5] Alfonso Montejó Fonseca, Ingeniería de Pavimentos Tomo I y Tomo II, Bogotá D.C.: Universidad Católica de Colombia, 2008.
- [6] Nicolás Jimenez Ceciliano, Guía y herramienta computacional para el diseño de pavimentos flexibles dirigida al programa de fortalecimiento municipal MOPT-BID Cantonal, San José de Costa Rica: Instituto Tecnológico De Costa Rica Escuela De Ingeniería En Construcción, 2013.
- [7] M. AASHTO'93, Curso De Actualización De Diseño Estructural De Caminos Método AASHTO'93, San Juan: Escuela De Ingeniería De Caminos De Montaña, Facultad De Ingeniería, 1998.
- [8] C. HIGUERA S., Mecánica de Pavimentos Flexibles, Principios básicos, Tunja: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 2008.
- [9] F. LILLI, Aproximaciones sencillas para el diseño racional de pavimentos y refuerzos, Buenos Aires, 1985.
- [10] P. C. A. GARNICA A., Conceptos Mecanicistas en Pavimentos, vol. Publicación Técnica, I. M. d. Transporte, Ed., Sanfandila, 2004.



- [11] Ing. Luis F. Macea, Ing. Luis G. Fuentes, Ing. Alex E. Alvarez, «Evaluación de factores camión de los vehículos comerciales de carga que circulan por la red vial principal colombiana,» *Universidad de Antioquia*, vol. 66, pp. 57-69, Marzo 2013.
- [12] E. F. R. L. O. JEONGHO, Evaluation of Damage Potential for Pavements due to Overweight Truck Traffic, vol. Vol. 133, *Journal of Transportation Engineering*, 2007, pp. 308-317.
- [13] R. M. E. P. F. WANG, Toward Monte Carlo Simulation-Based Mechanistic-Empirical Prediction of Asphalt Pavement Performance, vol. 136, *Monte Carlo: Journal of Transportation Engineering*, 2010, pp. 678-688.
- [14] D. Burmister, *The Theory of Stresses and Displacement in Layered Systems and Applications to the Design of Airport Runways*, vol. No 23, Washintong D.C.: Proceedings of the Highway Research Board, 1943.
- [15] AASHTO, *Standard Method of Test for Determining Dynamic Modulus of Hot-Mix Asphalt Concrete Mixtures*, Washington D.C., 2003.
- [16] INVIAS, «Módulo resiliente de suelos y agregados,» de *Normas de Ensayo de materiales para carreteras*, Bogotá D.C., Ministerio de obras públicas y transporte - MOPT, 2013, pp. E-165-1 a E-156-39.
- [17] C. TREJOS-CASTILLO, PITRA - Programa De Infraestructura Del Transporte "Manual De Usuario Herramienta Cr-Me Versión Beta", San Jose, Costa Rica, 2016.
- [18] C. Trejos C., «Herramienta de cálculo complementaria a la Nueva Metodología de Diseño Mecánico Empírico de Pavimentos flexibles de Costa Rica,» Universidad de Costa Rica, San Juan, Mayo 2015.
- [19] G. R. F. H. S. J. García V. Angel, «Análisis comparativo para diseño de pavimentos flexibles mediante alternativas IMT-PAVE y CR-ME del método mecanicista empírico, con el método AASHTO 93,» Universidad del Salvador, Septiembre 2014.
- [20] C. P. U. T. de, «Aplicación de conceptos empíricos mecanicistas en el diseño de pavimentos flexibles,» Universidad Central de Marta Abreu de la Villas, Santa Clara - Cuba, 2008-2009.
- [21] M. A. C. Whar D. Carlos, «Comparación de diseños de pavimentos flexibles nuevos según el método de diseño AAShtO 93, la norma Chilena vigente y la guía de diseño de pavimentos empírico-mecanística NCHRP 1-37A,» *Infraestructura vial*, vol. 18, Agosto 2007.
- [22] Inviás, «Mezclas Asfálticas en Caliente de Gradación Continua (Concreto Asfáltico),» de *Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras*, Bogotá D.C., Ministerio de Transporte, 2013, pp. 450-1 a 450-47.
- [23] Inviás, «Afirmados, Subbase y Bases Art. 320,» de *Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras*, Bogotá D.C., Ministerio de Transporte, 2013, pp. 320-1 a 320-15.



- [24] M. d. Transporte, Manual de Diseño para Pavimentos Asfálticos en vías de Medios y Altos volúmenes de tránsito, vol. Capítulo 3, Popayán, Cauca: Instituto Nacional de Vías-INVIAS, 1998.
- [25] F. Sanchez S., Guía AASHTO de Diseño Empírico-Mecanicístico de Pavimentos Módulos académicos de estudio, Bogotá D.C..
- [26] T. R. J. R., «Evaluación del Espectro de carga y coeficientes de daño en el corredor de la Avenida Boyacá,» Bogotá D.C., 2011.
- [27] A. E. A. J. Perez-Briceño. Paula, Dos vertientes de clasificación climática para la vertiente Caribe costarricense según el sistema de Thornwaite, vol. 17, Costa Rica: Revista de climatología, 2017, pp. 1-16.
- [28] Z. B. S. Salamanca N. María Angélica, «Diseño de la Estructura de Pavimento Flexible por medio de los Métodos INVIAS, AASHTO 93 E INSTITUTO DEL ASFALTO para la vía Ye - Santa Lucía Barranca Lebrija,» Universidad Católica de Colombia, Bogotá D.C., 2014.
- [29] S. D. Jorge, «Guía para la realización de ensayos y clasificación de asfaltos, emulsiones asfálticas y asfaltos rebajados según el Reglamento Técnico Centroamericano (RTCA 75.01.22:047),» *Métodos y materiales LanammeUCR*, vol. 1, nº 1, Diciembre 2011.
- [30] I. N. d. Vías, «Normas para carreteras y Ensayos,» Bogotá D.C., 2013.

LISTA DE ANEXOS:

ANEXO A CALCULO DEL FACTOR DE EQUIVALENCIA DE CARGA POR EJE FECE.

ANEXO B PROGRAMA CR-ME CONDICIONES INICIALES DEL PAVIMENTO.

ANEXO C ENSAYOS DE LABORATORIO, CAPAS GRANULARES, SUBRASANTE, MEZCLA ASFÁLTICA MDC-19, DISEÑO DE LA MEZCLA.