

**ELABORACIÓN DEL INVENTARIO PARA EL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA
DE SUELOS ADICIONADOS CON POLÍMEROS Y SU APLICACIÓN PARA LA
ESTABILIZACIÓN DE VÍAS TERCIARIAS.**

MARIA ALEJANDRA VÉLEZ RUIZ

Trabajo de Grado

Asesor:

Gloria Isabel Carvajal Peláez. PhD

UNIVERSIDAD DE MEDELLÍN

FACULTAD DE INGENIERIAS

INGENIERIA CIVIL

MEDELLÍN

2014

Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN	6
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	6
1.2 JUSTIFICACIÓN	7
1.3 OBJETIVOS	8
2. MARCO DE REFERENCIA	9
2.1 ESTADO DEL ARTE	9
2.1.1 Análisis de Ciclo de Vida (ACV)	12
2.1.2 Análisis de Ciclo de Vida aplicado a Polímeros	14
2.1.3 Estabilización de suelos	15
2.2 MARCO TEÓRICO	17
2.2.1 Desarrollo Sostenible	17
2.2.2 Análisis de Ciclo de Vida (ACV)	18
2.1.2 Vías	25
2.1.3 Suelos	31
2.1.4 Polímeros	35
3. DESARROLLO METODOLÓGICO	37
3.1 DEFINICIÓN DEL OBJETIVO Y ALCANCE PARA EL ACV DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON EMULSIONES POLIMÉRICAS	37
3.2 UNIDAD FUNCIONAL	38
3.3 OBTENCIÓN DE LOS DATOS	39
3.4 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO	45
3.5 ANÁLISIS DEL INVENTARIO	47
4. PROPUESTA DE ACTUACIONES	52
5. CONCLUSIONES	55
6. GLOSARIO	56
7. ANEXOS	59
8. BIBLIOGRAFÍA	64

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1 Número de artículos por década. Fuente: Elaboración propia	11
Ilustración 2 ACV de un sistema. Fuente: (Fullana & Puig, 1997)	20
Ilustración 3 Estado de la red vial primaria Calificada. Fuente: Documento diagnóstico de transporte 2010. Ministerio de transporte	28
Ilustración 4 Diagrama de Flujo del proceso de elaboración de cilindros para la estabilización de suelos con polímeros	46
Ilustración 5 Diagrama de Flujo del proceso de elaboración de cilindros para la estabilización de suelos con polímeros	46

Lista de Tablas

Tabla 1: Ficha Bibliográfica.....	10
Tabla 2: Matriz de Valoración.....	11
Tabla 3 Normativa del ACV según NTC - ISO.....	23
Tabla 4. Velocidades de diseño según tipo de carretera y terreno.....	27
Tabla 5 Propiedades de las emulsiones poliméricas.....	38
Tabla 6 Materia prima, insumos y equipos asociados a la fabricación de los cilindros en estudio.....	45
Tabla 7. Entradas y salidas del proceso de preparación del suelo.....	47
Tabla 8 Entradas y salidas del proceso de preparación del aditivo (Acrylic vinyl acetate copolymer).....	48
Tabla 9 Entradas y salidas del proceso de preparación del aditivo (Polyethylene-vinyl acetate copolymer).....	48
Tabla 10 Entradas y salidas del proceso de preparación del aditivo (Polymeric Proprietary Inorganic Acrylic Copolymer).	48
Tabla 11 Entradas y salidas del proceso de mezclado de la arena limosa con la emulsión polimérica.....	49
Tabla 12 Entradas y salidas del proceso de moldear cilindro.	49
Tabla 13 Entradas y salidas del proceso de compactación.....	50
Tabla 14 Entradas y salidas del proceso de curado.....	50
Tabla 15 Entradas y salidas del proceso de fallado.	51
Tabla 16. Diseño de mezcla como recomendación para vías terciarias en Colombia.	53

Lista de Imágenes

Imagen 1 Vía Terciaria Amaga – Angelopolis. Fuente: Elaboración propia	29
Imagen 2 Vía Terciaria El Cairo – Santa Bárbara. Fuente: Elaboración propia....	29
Imagen 3 Vía Terciaria Entre Ríos – San José de la Montaña. Fuente: Elaboración propia	30
Imagen 4 Vía Terciaria El Bobal – San Pedro de Urabá. Fuente: Elaboración propia	30

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, Colombia cuenta con vías terciarias en muy mal estado, lo cual genera problemas de tipo social y económico, ya que el deterioro afecta considerablemente la movilidad de las personas, la seguridad en las vías, el progreso económico de los habitantes y del país en general. Por lo cual resulta indispensable implementar procesos tales como el uso aditivos y otros materiales que permitan mejorar las condiciones del terreno y la estabilización de suelos en las vías terciarias del país. Dichos requieren ser procesos duraderos, capaces de adaptarse a las diferentes condiciones climáticas del país y amigables con el medio ambiente.

Por lo anterior, este proyecto de grado se desarrolló aplicando una práctica ambiental de producción más limpia denominada Análisis de Ciclo de Vida (ACV), de la cual únicamente se elaboró el Análisis de Inventario, cuantificando todos los elementos de entrada y de salida que corresponden al balance de materia y energía del sistema para los procesos de estabilización de suelos con polímeros.

Mediante el Inventario se determinaron todas las emisiones y residuos que el proceso de elaboración de cilindros de prueba para la estabilización de suelos con polímeros pueda generar; y finalmente, se expone una propuesta que conlleva a mejores prácticas para la estabilización de suelos con polímeros en las vías terciarias del país.

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Colombia cuenta con un importante número de centros urbanos en la parte central del territorio, y posee el privilegio de tener un doble acceso marítimo; sin embargo, es uno de los países con menor número de kilómetros de carreteras por cada mil habitantes, cerca de 3.5 Km, por debajo de países como Brasil (10 Km), Costa Rica (9 Km), Argentina (5,5 Km), Chile (5,2 Km) y Venezuela (4,1 Km), entre otros. Si se hace el cálculo teniendo en cuenta únicamente las vías pavimentadas, Colombia no alcanza ni siquiera 1 kilómetro por cada mil habitantes (0,4 Km). También, el país presenta uno de los menores indicadores en términos del número de kilómetros de vías pavimentadas por trabajador (menos de 1 km), superado levemente por países como Perú y Guatemala (1,1 km), por Chile y Brasil (con cerca de 2,5 km), por Venezuela (con 3,6 km) y superado también por Malasia y Argentina (con 5.2 km y 5.9 km, respectivamente). De modo que dentro de la infraestructura productiva, la del transporte (en términos del número de kilómetros de vías pavimentadas) es la más rezagada (Pérez, 2005). En ese sentido se afecta la productividad de las

regiones al dificultarse el transporte de productos entre los municipios y los grandes centros urbanos. También se afectan la calidad de vida de las personas al aumentarse los tiempos de viaje y el aislamiento.

La falta de movilidad puede traer consecuencias serias sobre el desarrollo y crecimiento económico de las ciudades y por ende del país, pues al no haber posibilidad de movilización, la productividad se ve limitada. Es necesario que los Gobiernos Locales y el Gobierno Nacional actúen con decisión en forma coordinada y efectiva para enfrentar los problemas de movilidad que sufre actualmente Colombia. Vale la pena anotar que a pesar del pobre manejo que se le ha dado al problema, en Colombia si existe una forma de planeación urbana. El desarrollo territorial ha sido determinado por los Planes de Ordenamiento Territorial (POT), estos planes son de carácter local, de manera que cada ciudad tiene la libertad de diseñar y planear la utilización del territorio.

En Colombia, el desarrollo sostenible es una meta política más que una realidad tangible. Sin embargo, constituye hoy la fuerza de los procesos fundamentales de reorientación de desarrollo del país. Colombia cuenta con una importante base natural y de recursos, en este sentido tiene una mayor posibilidad de orientar su actual modelo de desarrollo hacia la sostenibilidad (Marquez, Hurtado, & Velásquez, 2003).

Como consecuencia de lo anterior, se ve la necesidad de fortalecer el desarrollo socio-económico y ambiental del país desde la Ingeniería Civil; en este sentido se aportará a esta necesidad implementando métodos alternativos que contribuyan a la sostenibilidad como lo es el Inventario para el Análisis de Ciclo de Vida de suelos adicionados con polímeros, cuantificando las entradas y salidas de todos los componentes y su posterior implementación en las vías terciarias.

¿El Inventario para el Análisis de Ciclo de Vida aporta a la sostenibilidad de las vías terciarias del país?

1.2 JUSTIFICACIÓN

Los problemas políticos, sociales, económicos y ambientales a los que Colombia ha estado sometido, se ven reflejados en las vías de desarrollo del mismo ya que Colombia es uno de los países más atrasados de latinoamérica en materia de infraestructura de transporte. Según el informe presentado por Fedesarrollo en el marco de la novena versión del Congreso Nacional de Infraestructura, junto con el expresidente de la Sociedad Colombiana de Ingenieros (SCI), Daniel Flórez Pérez, afirman que el país presenta un rezago de 30 años en materia de infraestructura y

advierte que para superarlo es necesario invertir por lo menos el 2% del Producto Interno Bruto (PIB) nacional en su modernización (Beleño, 2010).

Para las vías terciarias en el país, aún no se han implementado prácticas de sostenibilidad, las cuales buscan que los procesos o proyectos que se desarrollen sean económicamente viables, socialmente justos y ambientalmente correctos. Es por esto que se busca implementar el análisis de Inventario del ACV en estabilización de suelos con polímeros para vías terciarias, y así generar aportes al conocimiento sobre los datos que hoy en día se hayan cuantificado para dichos procesos, ya que actualmente el sector de la construcción no cuenta con estos datos. Se espera que estos posteriormente puedan ser usados como herramientas para llevar a cabo un ACV completo y cuantificar la carga ambiental que estos mismos generen.

Con los resultados obtenidos de los Inventarios, se formularon estrategias que sirvan para mejorar las prácticas de estabilización de suelos con polímeros en Colombia mediante el uso de nuevas tecnologías que garanticen la disminución de los impactos negativos de los diferentes procesos, además se puede generar optimización de recursos, ahorro económico y una mejora en la malla vial del país

1.3 OBJETIVOS

Objetivo General

Elaborar el Inventario para el Análisis de Ciclo de Vida de suelos estabilizados con polímeros.

Objetivos Específicos

- Determinar los elementos de entrada para el Análisis de Inventario de suelos estabilizados con polímeros.
- Determinar los elementos de salida para el Análisis de Inventario de suelos estabilizados con polímeros.
- Presentar la propuesta de Inventario para el suelo estudiado.
- Realizar una propuesta sobre mejores prácticas para la estabilización de suelos en las vías terciarias de Colombia.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1 ESTADO DEL ARTE

A pesar de la complejidad e importancia que tiene la estabilización de suelos para las vías terciarias, cabe preguntar en qué medida la cuantificación de los impactos generados para el medio ambiente han sido investigados.

Con el fin de revisar la situación actual de la investigación en este campo, se ha realizado una búsqueda en bases de datos como Science Direct, ISI y Scopus, utilizando como palabras claves: análisis de ciclo de vida, polímeros, vías, estabilización de suelos y análisis de inventario.

Dada la gran magnitud de registros y el carácter general de las palabras, estas se agruparon para definir mejor la búsqueda y la información recopilada se sintetiza a continuación:

Se obtuvieron 60 documentos entre artículos, tesis y manuales, pero luego de un filtro fueron seleccionados los más representativos según adecuación e importancia para la elaboración del estado del arte.

El primer problema encontrado fue como clasificar la información y seleccionar la realmente importante. Para esto se tomó como referencia la ficha elaborada por Carvajal (2008) en la cual se presentan datos bibliográficos y una breve descripción del texto analizado (Tabla 1).

La ficha contiene la siguiente información:

- Número de ficha, el cual es un registro que indica el orden de consecución de los documentos.
- Título
- Autor
- Referencia según APA; donde se indica fuente, editorial, ISSN, volumen, páginas y año.
- Tipo de documento: libro, tesis, artículo, otros
- Palabras claves
- Valoración (según Tabla 2)
- Tipo de soporte
- Observaciones.

Tabla 1: Ficha Bibliográfica.

FICHA BIBLIOGRÁFICA									
REFERENCIA BIBLIOGRAFICA EN APA									
TÍTULO:									No. Ficha
AUTORES:									
TIPO DE DOCUMENTO									
<input type="checkbox"/>	Libro	<input type="checkbox"/>	Tesis	<input type="checkbox"/>	Artículo				
<input type="checkbox"/>	Encuest	<input type="checkbox"/>	Otro (especifica						
PALABRAS CLAVE									
VALORACIÓN									
Adecuación	x								Valoración definitiva
Importancia	x								
TIPO DE COPIA O SOPORTE									
<input type="checkbox"/>	Fotocop	<input type="checkbox"/>	Pdf	<input type="checkbox"/>	Impreso				
DIRECCION DE UBICACIÓN									
DESCRIPCION DEL TEXTO									

Fuente: Carvajal, 2008

Tabla 2: Matriz de Valoración.

Adecuación Importancia	1	2	3
1	General	Básico	Importante
2	Básico	Importante	Muy Importante
3	Importante	Muy Importante	Indispensable

Fuente: Carvajal, 2008

Teniendo en cuenta la clasificación de los artículos y su aplicación al tema investigado, se seleccionaron 22 documentos; los cuales tratan sobre los aspectos más relevantes asociados con el análisis de ciclo de vida y sus diferentes aplicaciones, especialmente en la construcción de vías, estabilización de suelos y polímeros.

Las revistas más destacadas fueron Engineering Geology, Construction and Building Materials and Resources Conservation and Recycling con el mayor número de publicaciones relacionadas con el tema. Como se puede observar en la Ilustración 1, la década con mayor número de documentos encontrados sobre las palabras claves fue del 2001 al 2011.

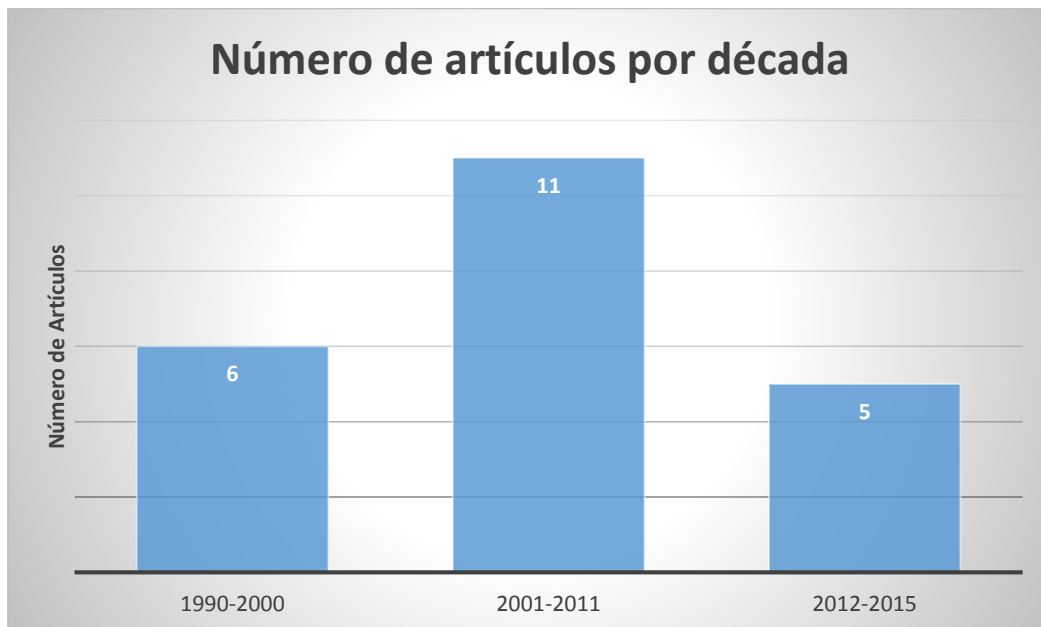


Ilustración 1 Número de artículos por década. Fuente: Elaboración propia

A continuación se presentan las publicaciones más relevantes asociadas a los siguientes ejes temáticos:

- Análisis de Ciclo de Vida
- Análisis de Ciclo de Vida aplicado a polímeros
- Estabilización de suelos

2.1.1 Análisis de Ciclo de Vida (ACV)

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es un tema que ha venido evolucionando dentro del marco de la sostenibilidad y la producción más limpia. En el informe *Los límites del crecimiento (Limits to growth)*, publicado en 1972 por Meadows, Dennis L. Meadows, Randers y Behrens III, y auspiciado por el Club de Roma (Hunt & Franklin, 1996), se habló sobre el crecimiento rápido de la población mundial y las incidencias negativas que ésta tenía sobre las materias primas y recursos energéticos finitos, y que despertó una mayor conciencia e interés por la protección del medio ambiente después de la crisis del petróleo. En este mismo año, surgió la conferencia de las Naciones Unidas sobre Ambiente Humano, el cual fue uno de los primeros escenarios internacionales para la discusión sobre protección ambiental, crecimiento y desarrollo económico, que sentó parte de las bases que plantearon posteriormente de manera formal en el Informe Brundtland de 1987, "Nuestro Futuro Común", en el cual se definió el concepto de Desarrollo Sostenible como política ambiental global para enfrentar los problemas ambientales mundiales, regionales y locales que afrontaba y sigue afrontando el planeta, y que luego se presentó y discutió ampliamente en la cumbre de Río de 1992 (Chacón Vargas, 2008).

El Análisis de ciclo de vida (ACV) es un marco metodológico para la estimación y evaluación de los impactos ambientales atribuibles al ciclo de vida de un producto, tales como el cambio climático, el agotamiento del ozono estratosférico, la creación de ozono troposférico (smog), la eutrofización, la acidificación, el estrés toxicológico en humanos la salud y los ecosistemas, el agotamiento de los recursos, el uso del agua, uso de la tierra, y el ruido ya otros (Rebitzer, y otros, 2004).

La ISO define el Análisis de Ciclo de Vida como una herramienta para evaluar los impactos potenciales sobre el medio ambiente y los recursos utilizados en todo el ciclo de vida de un producto, es decir, desde la adquisición de materias primas, a través de las fases de producción y el uso, hasta la gestión de residuos. La fase de gestión de residuos incluye la disposición, así como el reciclaje. El término "producto" incluye tanto los bienes como los servicios. El ACV se denomina como una evaluación integral y considera todos los atributos o aspectos del medio ambiente natural, la salud humana y otros recursos (ISO 14044, 2006).

Las contribuciones más importantes hechas sobre ACV se publicaron en el *Journal Energy Policy* entre los años 1974 – 1975, y posteriormente se compilaron en un libro de J.A.G. Thomas en 1977, titulado *Análisis de energía (Energy analysis)*. En

1975, William Franklin fundó junto con Marge Franklin una de las empresas líderes en ACV de Estados Unidos, la firma Franklin Associates; la cual llevó a cabo algo más de 60 estudios, principalmente para compañías del sector privado (Ayres, 1995).

Hacia 1971, la Universidad de Illinois y la Universidad de Stanford, de manera independiente, empezaron a estudiar el ACV. En ambas universidades la atención se centró en estudiar aspectos de consumo de energía de botellas para bebidas (Chacón Vargas, 2008). Por otro lado P. Papanek publicó el libro *Design for real world: human ecology and social change*, en el que se incorpora el pensamiento de ciclo de vida en el diseño de productos, teniendo en cuenta aspectos adicionales al diseño como su función, su utilidad, reparabilidad, asequibilidad e impactos sociales y ambientales (Lewis, Gertzakis, Grant, Morelli, & Sweatman , 2001).

En Europa en 1972, Boustead calculó la energía total usada en varios tipos de envases de bebidas, incluyendo vidrio, plástico, metal y aluminio; procedimiento denominado “Ecobalance” (Islam, Jollands, & Setunge, 2015).

En 1993 la Sociedad de Toxicología Ambiental y Química (Society of Environmental Toxicology and Chemistry, Setac), formuló el primer código internacional: Código de prácticas para el ACV (Code of Practice for Life Cycle Assessment), con el fin de homogeneizar los diversos estudios realizados. Posteriormente, la Organización Internacional para la Estandarización (ISO) apoyó este desarrollo para establecer la estructura de trabajo, uniformizar los métodos, los procedimientos y la terminología (Romero, 2003).

Para el mismo año (1993), la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los EEUU publicó el “Life Cycle Design Guidance Manual”, el cual fue el primer documento donde se consideran las fases de diseño del Análisis de Ciclo de Vida y todas las repercusiones medioambientales que esta nueva propuesta trae a lo largo de sus fases de desarrollo. Este manual es una recopilación de los resultados de una investigación bibliográfica y entrevistas con profesionales sobre metodologías de diseño de productos (Astrup Jensen, Hoffman, T. Moller, & Schimidt, 1997).

Fue en el año de 1997 cuando finalmente se publicó la primera norma internacional de la serie ISO 14040 sobre ACV, titulada “Environmental Management –Life Cycle Assessment-Principles and Framework”, del Comité Técnico de la ISO (TC-207) fue quien dio origen a esta norma (Chacón Vargas, 2008).

Para el caso particular de Colombia, la aplicación de las metodologías de ACV, se iniciaron en la Universidad de los Andes en Bogotá y la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB) en Medellín. Los primeros trabajos y talleres sobre ACV surgieron a partir de 1997 cuando se crearon en el Instituto Colombiano de Normas Técnicas

y Certificación (ICONTEC) los Comités Técnicos de Normalización Espejos del ISO/TC-207 para discutir y homologar a normas nacionales la serie de estándares internacionales de la familia ISO 14000, entre ellas la serie ISO 14040 sobre ACV. Hacia finales de los años noventa algunas universidades e institutos realizaron varios proyectos y seminarios internacionales para introducir a los participantes en el conocimiento básico de aplicación mediante el uso del software SimaPro. Se destacaron las instituciones de la Universidad de los Andes, la Universidad del Valle, la Universidad Pontificia Bolivariana, el Centro Nacional de Producción más Limpia y Tecnologías Ambientales, y la Universidad Industrial de Santander. Actualmente se han realizado estudios en diversos sectores industriales: azucarero, cafetero y floricultor, fabricación de empaques, producción de agroquímicos y detergentes, producción de grifería y jeringas, fabricación de autopartes y maquinaria, proyectos de ingeniería civil, producción de guantes de látex y empresas de servicios públicos (Chacón Vargas, 2008).

2.1.2 Análisis de Ciclo de Vida aplicado a Polímeros

Entre los estudios de ciclo de vida que se han desarrollado durante los últimos años se han encontrado investigaciones con aplicación en los polímeros, como el realizado por el “Programme of National Science Foundation of Research on National Needs, Rann” en los años 60s, donde se aplicó el concepto de Ciclo de Vida para determinar los residuos generados por los procesos de producción de botellas de vidrio, polietileno (PE) y policloruro de vinilo (PVC). Para este estudio se utilizó un procedimiento denominado producto-material-proceso el cual hoy se conoce como la fase del Inventario del ACV reglamentado por la norma ISO 14040 (Ayres, 1995).

Para el año 1995, Robert G. Hunt, estudió el calentamiento global en libras equivalente de CO₂ y el lixiviado en libras de DBO tomando 1000 libras de papel y 1000 libras de plástico, comparando tres tipos de disposición de residuos sólidos como lo son: la incineración, la disposición en rellenos sanitarios y compostados, estudiando todos los elementos de entrada y de salida de estos y haciendo un estudio donde se analizaron los productos desde la cuna a la tumba. Como resultados se obtiene, que el plástico afecta más al calentamiento global que el papel en el proceso de incineración y que además genera más lixiviados en cuanto a su disposición en rellenos sanitarios y cuando son compostados (Hunt, 1995).

En el año 2013 Hottle, Bilec y Landis, elaboraron un ACV para demostrar las ventajas de los biopolímeros en comparación con los plásticos derivados del petróleo en cuanto a la generación de impactos ambientales. Para esto se estudiaron tres (3) biopolímeros (ácido poliláctico, polihidroxialcanoato y almidón

termoplástico) y cuatro (4) plásticos comunes derivados del petróleo (Polietileno de alta densidad, polietileno de baja densidad, PET y polipropileno). Luego de hacer el estudio se obtuvo que los biopolímeros generan menos impactos ambientales, por ejemplo: el almidón termoplástico genera 2 Kg CO₂ eq/ Kg, mientras que el poliéster genera 3.5 Kg CO₂ eq/ Kg (Hottel, Bilec, & Landis, 2013).

2.1.3 Estabilización de suelos

La estabilización de suelos consiste en agregar un producto físico para modificar las características de los suelos, y en la corrección de una deficiencia del suelo para darle mayor resistencia al terreno o para disminuir su plasticidad, existen tres tipos de estabilización: física (mezcla de suelos), química (usando cal, cemento, productos asfálticos, entre otros.) y mecánica (compactación) (Ancade, Anter, & Ieca, 2008).

Debido a que los procesos convencionales de estabilización de suelos generan altos impactos al medio ambiente, hoy en día se busca aplicar nuevos materiales como los polímeros para la estabilización de los mismos. Lo anterior, permite llevar la construcción de carreteras hacia un perfil sostenible y parte de la “Década de Educación para el Desarrollo Sostenible (2005-2014)” (Asamblea General de las Naciones Unidas, 2002).

Como ejemplo de estabilización química se tiene que uno de los primeros materiales para la estabilización de suelos fue la Cal, este estudio fue desarrollado en la Universidad de Missouri en 1925, pero solo hasta 1945 se demostró que las propiedades de la Cal mejoraban eficientemente las propiedades de los suelos. A partir de allí se comenzó a generalizar su uso prácticamente todo el mundo, con las limitaciones propias de los tipos de suelos (Sampedro Rodríguez & Gallego Medina, 2004).

El cemento también es un material usado para los procesos de estabilización química de los suelos, el cual viene desde principios del siglo XX, sin embargo, la aplicación de este en las carreteras tuvo que esperar algunos años más, básicamente porque no habían estudios que demostraran la eficiencia de este material a gran escala, ya que no es lo mismo una aplicación local, que una mezcla homogénea y confiable a gran escala. Fue la Segunda Guerra Mundial la que impulsó el uso del Cemento como estabilizante de suelos. (Jofré & Kraemer, 2004)

Para el año 1998, Bishop, Mcalpin y Jones, construyeron una carretera con un suelo de arena roja al cual se le adicionó un copolímero de estireno-acrílico en la bahía de Sodwana, KwaZuli-Natal. El área estudiada fue de 100m x 10m, el copolímero

se adicionó a 150 mm de profundidad; la emulsión de estireno-acrílico con contenido de sólidos de 50% se diluyó 1:1 con agua y se aplicó por medio de un camión con cisterna de manera uniforme sobre la zona de ensayo a una velocidad de 2.4 L/m² y posteriormente se pasó un rodillo neumático, el análisis de mejoramiento de suelo se hizo en tres profundidades, de 0 a 150 mm, de 151 a 300 mm y de 301 a 450 mm, luego de cuatro meses de estudio de la pista de prueba se obtuvo que a una profundidad de 151 a 300 mm, por ejemplo, el CBR del suelo en estado inicial paso 14 a 115 y la compresión simple paso de 152 a 977 a la misma profundidad (Bishop, Mcalpin, & Jones, 1998).

Para el año 2008, Sivakumar y Sandeep, generaron un aporte sobre la aplicación del plástico proveniente de botellas para la estabilización de suelos de carreteras. El estudio se hizo con el fin de ver el comportamiento de los residuos plásticos como material de refuerzo en el suelo. Para este estudio se usaron dos tipos de suelos, un suelo rojo y una arena, el plástico proveniente de las botellas fue recortado en pequeñas láminas rectangulares y posteriormente mezclado con los suelos para formar probetas, las cuales fueron sometidas a ensayos de resistencia a la compresión no confinada, resistencia a la cizalladura y resistencia a la erosión. Basado en los resultados de pruebas experimentales se observó que la fuerza del suelo se mejora y la compresibilidad se reduce significativamente con la adición de un pequeño porcentaje de residuos de plástico para el suelo (Sivakumar Babu & Vasudevan, 2008).

En el año 2011, Lui y otros, diseñaron un aditivo polimérico nombrado STW, el cual sirvió como tratamiento para la estabilización de suelos presentes en taludes. Con el fin de entender este polímero en la estabilización de un suelo arcilloso se hicieron pruebas de laboratorio como: resistencia a la compresión no confinada, resistencia a la cizalladura y resistencia a la erosión de las muestras tratadas y no tratadas. Para el estudio se diseñaron probetas de ensayo de 39.1 mm de diámetro y 80 mm de altura con aplicación del STW en cuatro concentraciones de 5%, 10%, 20% y 30%. Luego de hacer los respectivos ensayos se obtuvo que la resistencia a la compresión no confinada aumenta después de 24 horas de aplicado el STW y los demás ensayos presentan mejoras luego de 48 horas de curado. Finalmente se dice que es un método eficaz para la estabilización de taludes con suelos arcillosos con pendiente pues todos los ensayos presentan importantes mejoras en las propiedades del suelo (Liu, y otros, 2011).

Para el año 2013, Zhang y otros., publicaron un artículo basado en las tecnologías de estabilización de suelos. En muchas estabilizaciones de los suelos blandos y débiles se usa el cemento portland y cal, pero los procesos de producción de estabilizadores tradicionales son de alto consumo de energía y emiten una gran

cantidad de CO₂. Por esta razón se procede al uso de un geopolímero, con alta resistencia, bajo costo, bajo consumo de energía y bajas emisiones de CO₂ durante el proceso de aplicación, el cual ofrece una alternativa prometedora mejor que el cemento portland y la cal. Para el análisis de resultados de la aplicación del geopolímero se usaron dos periodos de curado (7 y 28 días) de los cuales se obtienen diversos resultados en los diferentes ensayos que se realizaron, por ejemplo para la resistencia a compresión no confinada al día 7 es de 20.27 MPa y el día 28 de 31.22 MPa. Los resultados de la prueba indicaron que con concentraciones de geopolímero hay mayores resistencia a la compresión, menores deformación a rotura y mejora el módulo de Young de las muestras de suelo estabilizado. Los análisis microestructurales confirmaron la formación de geles de geopolímero en el interior del suelo estabilizado y además, que el suelo tiende a formar microestructuras más homogéneas y compactas después de la estabilización. (Zhang, Guo, El-Korchi, Zhang, & Tao, 2013).

2.2 MARCO TEÓRICO

En este apartado, se presentan de manera clara y concisa aquellas materias y disciplinas que de una u otra forma tuve que considerar para alcanzar los objetivos propuestos en el presente trabajo de grado.

El marco teórico me permitió dar a la investigación un sistema ordenado y coherente de conceptos y proposiciones para tener una visión completa del sistema teórico que se tiene acerca del tema.

En los siguientes epígrafes se irán precisando las teorías y disciplinas que han de orientar y sustentar las situaciones que se vayan planteando en el desarrollo del presente trabajo de grado.

2.2.1 Desarrollo Sostenible

El término Desarrollo Sostenible fue aceptado universalmente en el año 1987, cuando la Comisión Brundtland publicó el informe: *Nuestro Futuro Común* y lo define como: “aquel que satisface las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” (Capuz Riso & Gómez Navarro, 2002).

Los indicadores ambientales son considerados como herramientas útiles en cuanto a gestión ambiental, desarrollo sostenible y formulación de políticas en la mayoría

de los países, pero tienen un problema y es el tiempo que demanda la obtención de todos los datos y la validación de estos. (Quiroga Martínez, 2007)

Es a partir de estos indicadores donde se puede introducir todo lo relacionado a Análisis de Ciclo de Vida (ACV) definido como la metodología que se utiliza actualmente para evaluar la carga medioambiental de un producto, proceso o actividad en todo su ciclo de vida. Pretende evaluar los potenciales impactos ambientales causados durante todas las etapas, desde la extracción de las materias primas hasta su disposición final (de la cuna a la tumba).

2.2.2 Análisis de Ciclo de Vida (ACV)

La primera definición conocida del ACV y más utilizada hasta la fecha se debe a la Sociedad de Química y Toxicología Ambiental – SETAC- (Society of Environmental Toxicology And Chemistry) (Consoli, 1993). Así, se considera que “el ACV es un proceso objetivo para evaluar las cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad identificando y cuantificando el uso de materia y energía y los vertidos al entorno; para determinar el impacto que ese uso de recursos y esos vertidos producen en el medio ambiente, y para evaluar y llevar a la práctica estrategias de mejora ambiental. El estudio incluye el ciclo completo del producto, proceso o actividad, teniendo en cuenta las etapas de: extracción y procesado de materias primas; producción, transporte y distribución; uso, reutilización y mantenimiento, reciclado y disposición del residuo” (Fullana & Puig, 1997).

El ACV permite evaluar el impacto ambiental de un producto que inicia con la extracción de las materias primas y termina cuando la vida útil del producto finaliza, convirtiéndose en un residuo que ha de ser gestionado adecuadamente.

A continuación se presenta las normas que rigen el ACV.

“La importancia del concepto de ciclo de vida surge de un concepto básico: establecer prioridades ambientales como base para la planificación del mejoramiento del desempeño ambiental, el ACV analiza todos los impactos durante todo el ciclo de vida de un producto, identificando las prioridades con base en las cuales se definen las estrategias preventivas de mejoramiento del desempeño ambiental” (Hoof Bart, Monroy N, & Saer A, 2008).

El ACV es la recopilación y evaluación de las entradas, las salidas y los impactos ambientales potenciales de un sistema del producto a través de su ciclo de vida, se basa en la norma técnica colombiana NTC-ISO 14040-2007. (Capuz Rizo, y otros, 2004).

El Análisis de Ciclo de Vida puede ser aplicado para:

- Mejorar medioambientalmente algunos productos en varios puntos de su ciclo de vida.
- Tomar mejores decisiones relacionadas con la planificación de estrategias, establecimiento de prioridades, diseño o rediseño de productos o procesos, etc. en la industria, instituciones gubernamentales y organizaciones no gubernamentales.
- La selección de indicadores de comportamiento medioambiental relevantes.
- El marketing de los indicadores.
- Elaboración de políticas medioambientales. Elección de proveedores y de materia prima.
- Ver el ACV como una herramienta para la legislación ambiental.
- Desarrollo de nuevos productos.
- Desarrollo de procesos.
- Minimización de los residuos.
- Sistemas de gestión medioambiental.

Actualmente, las empresas privadas son las que hacen mayor uso del ACV, ya que usan esta herramienta como proceso de auditoría y ecodiseño.

2.2.2.1 Metodología del ACV

Al momento de elaborar un Análisis de Ciclo de Vida es indispensable elaborar un informe en donde se presenten los estudios realizados y resultados obtenidos a partir de este, el cual debe contener (Fullana & Puig, 1997):

- Aspectos Generales
- Definición de objetivos y alcance
- Inventario del ciclo de vida: obtención de datos y procesos de cálculo
- Evaluación de impactos: metodología utilizada y resultados
- Interpretación
- Revisión crítica

A. Aspectos generales

Se entiende por aspectos generales la información relativa a, por ejemplo; quién ha encargado el estudio, quién lo ha realizado, la fecha del informe y el estándar metodológico utilizado.

B. Definición de objetivos y alcance

Definición de objetivos: dentro de este apartado deben incluirse las razones que han llevado a la realización del estudio; la información que se espera obtener de él, cómo va a usarse y si va a hacerse pública o no.

Alcance: debido a la naturaleza global, un estudio de ACV podría ser inacabable por su extensión; por lo tanto, deben ponerse los límites a su alcance. Para definir ese alcance deben describirse los siguientes conceptos.

- **Función del sistema:** describen las características de operación del mismo. Un sistema puede tener varias funciones. Esta noción es importante ya que, si se quiere comparar ambientalmente dos sistemas, estos deben desarrollar la misma función.
- **La unidad funcional:** es aquella a la que irán referidas todas las entradas y salidas del sistema. Se puede escoger una unidad funcional de tipo físico o de tipo funcional.
- **Sistema:** es aquel conjunto de procesos unitarios o subsistemas que, actuando a un tiempo realizan una función definida, es decir, permiten la presencia del producto en estudio en el mercado.

El sistema se representa mediante un diagrama de procesos que incluye, como entradas, todos los procesos de fabricación y transporte de los componentes del producto y sus materias primas y, como salidas, todas las fases del ciclo de vida del producto fabricado.

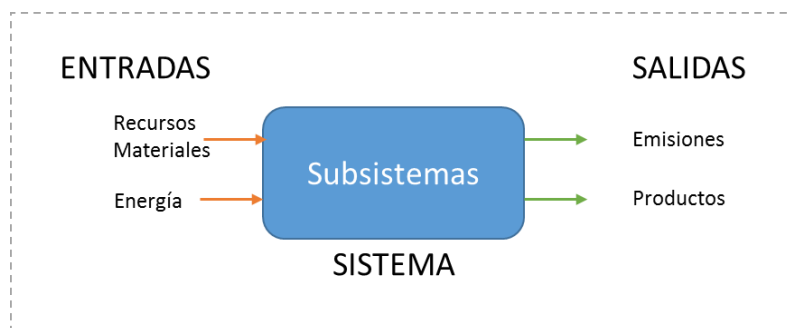


Ilustración 2 ACV de un sistema.
Fuente: **(Fullana & Puig, 1997)**

- **Límites del sistema:** en este apartado, se deciden los procesos y etapas del sistema que van a considerarse en el estudio. Deben dejarse bien claros los criterios seguidos en las reglas de corte, que deben ser compatible con los objetivos del estudio.

- Reglas de asignación de cargas ambientales: existen sistemas que desarrollan más de una función o que fabrican más de un producto. El impacto ambiental de estos sistemas debe distribuirse entre los productos que fabrica. Está comúnmente aceptado que el mejor de los métodos de asignación es la causalidad, es decir, asignar las cargas al producto que las causa. Cuando el principio de causalidad no sea aplicable, debe recurrirse a otros métodos, como son el precio, la cantidad o una combinación de ambos.
- Metodología de evaluación de impacto y categorías de impacto consideradas: no existe un único método para realizar la fase de evaluación del impacto. Asimismo, existen multitud de categorías de impacto y debe decidirse cuáles de ellas se van a estudiar, esto dependerá de la idiosincrasia de la región donde se realiza el ACV, la aplicación prevista del estudio y los recursos disponibles, entre otros factores.
- Requisitos de calidad de los datos: la mayor dificultad en la realización de un ACV es encontrar los datos adecuados. La calidad de los datos está en función de la procedencia geográfica, temporalidad, tecnología utilizada en el proceso, precisión y representatividad, fuente, consistencia, variabilidad e incertidumbre de la información. Sin embargo, es posible que las dificultades encontradas durante la recolección de datos hagan necesario un replanteamiento de la calidad exigida o del estudio en sí. Cuando un ACV se hace por primera vez, es aconsejable no despreciar ningún dato por su calidad.
- Hipótesis planteadas y limitaciones: se detallan todas aquellas hipótesis de trabajo y limitaciones en la realización del estudio que no han sido previamente expuestas.
- Tipo de revisión crítica: la revisión crítica es una técnica para asegurar la calidad del estudio. Debe argumentarse la necesidad o no de llevar a cabo una revisión crítica. En caso afirmativo, debe especificarse el tipo de revisión y el equipo que lo va a llevar a cabo.
- Formato del informe final: debe detallarse la estructura e información que contendrá el informe final y el soporte físico sobre el que se redactará.

C. Análisis de inventario

El Análisis de Inventario es fundamentalmente un balance de materia y energía del sistema, aunque también puede incluir otros parámetros como: utilización del suelo, radiaciones, ruido, vibraciones, biodiversidad afectada, etc. Comprende la recopilación de los datos y la realización de los cálculos adecuados para cuantificar las entradas y salidas del sistema estudiado.

En Análisis de Inventario es un proceso iterativo. A medida que se va desarrollando, se conoce mejor el sistema. Los pasos a seguir son: construcción del diagrama de flujo, establecimiento de la calidad de los datos, definición de límites del sistema y recolección de datos.

Dentro del diagrama de flujo, el sistema se divide en subsistemas y estos en procesos unitarios. El nivel máximo de detalle es el de proceso unitario, pero es posible que los datos se encuentren agregados en un sistema o en un conjunto de subsistemas.

D. Evaluación de impactos del ciclo de vida

La finalidad de la fase de evaluación de impactos del ciclo de vida (EICV) es la de interpretar el inventario, analizando y evaluando los impactos producidos por las cargas ambientales identificadas en éste. La evaluación de impacto (cualitativa o cuantitativa) debe formar parte de todo ACV estimativo para identificar las partes del sistema que influyen más en el resultado final y que, por tanto, deben ser estudiadas más profundamente. De esta manera se optimizan recursos humanos y económicos.

E. Interpretación de resultados

En esta fase de todo ACV se combina la información obtenida en la fase de inventario con la evaluación de impactos (si la hay) para llegar a conclusiones y/o recomendaciones de acuerdo con los objetivos y el alcance del estudio, entre las que puede encontrarse el camino a seguir para perfeccionar el estudio.

F. Revisión crítica

La revisión crítica sirve para verificar si un ACV se ajusta a la metodología, obtención de datos e informe estándares. Su finalidad no es verificar si los objetivos y la aplicación de los resultados son correctos, sino comprobar si el informe es transparente, si los datos obtenidos están en concordancia con los objetivos planteados y si las interpretaciones reflejan las limitaciones del estudio.

2.2.2.2 Marco Normativo

A continuación en la Tabla 3, se presenta una tabla resumen de toda la normativa aplicable en Colombia para el Análisis de Ciclo de Vida según la NTC - ISO.

Tabla 3 Normativa del ACV según NTC - ISO

EQUIVALE	CÓDIGO	TÍTULO
UNE-EN ISO 14040	ISO 14040	Gestión medioambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y estructura.
UNE-EN ISO 14041	ISO 14041	Gestión medioambiental. Análisis de ciclo de vida. Definición del objetivo y alcance y el análisis de inventario.
UNE-EN ISO 14042	ISO 14042	Gestión medioambiental. Análisis de ciclo de vida. Evaluación de impactos.
UNE-EN ISO 14043	ISO 14043	Gestión medioambiental. Análisis de ciclo de vida. Introducción.
ISO/WD TR 14047	ISO 14047	Gestión medioambiental. Análisis de ciclo de vida. Ejemplos de aplicación de la ISO 14042 (technical report).
ISO/TR 14048	ISO 14048	Gestión medioambiental. Análisis de ciclo de vida. Formato para la documentación de datos de análisis de ciclo de vida.
ISO/DTR 14049	ISO 14049	Gestión medioambiental. Análisis de ciclo de vida. Ejemplos de aplicación de la ISO 14041 para el objetivo y alcance y el análisis de inventario.
UNE 150060 IN	Guía ISO 64	Guía para la inclusión de aspectos medioambientales en las normas de producto.
UNE -CR 12340	CR 12340	Envases. Recomendaciones para realizar el análisis de inventario de ciclo de vida de sistemas de envasado.
UNE 150041 EX	UNE 150041	Análisis de ciclo de vida simplificado.

Fuente: (Capuz Rizo, y otros, 2004)

2.2.2.3 NTC-ISO 14044

El marco de referencia metodológico para el Análisis de Ciclo de Vida, de acuerdo con la NTC-ISO 14040 se presenta a continuación:

1. **Definición del objetivo y alcance:** el objetivo y el alcance de un ACV deben estar claramente definidos y deben ser coherentes con la aplicación prevista. Debido a la naturaleza iterativa del ACV, el alcance puede tener que ajustarse durante el estudio.
2. **Objetivo del estudio: al definir el objetivo de un ACV:** se deben especificar sin ambigüedad; la aplicación prevista, las razones para realizar el estudio, el público previsto, es decir, las personas a quienes se prevé comunicar los resultados del estudio, y si se pretende utilizar los resultados en aseveraciones comparativas previstas para su divulgación al público.
3. **Alcance del estudio:** se deben considerar u describir claramente los siguientes puntos: el sistema del producto a estudiar, las funciones del sistema del producto o de los sistemas si es en caso comparativo, la unidad funcional, los límites del sistema, los procedimientos de asignación, la

metodología de la evaluación de impactos del ciclo de vida (EICV) y los tipos de impactos, la interpretación a utilizar, los requisitos relativos a los datos, las suposiciones, los juicios de valor y los elementos opcionales, las limitaciones, los requisitos de calidad de datos, el tipo de revisión crítica y el tipo y formato del informe requerido para el estudio.

- a) Función y unidad funcional: el alcance de un ACV debe especificar claramente las funciones del sistema bajo estudio. La unidad funcional debe ser coherente con el objetivo y alcance del estudio, además debe ser claramente definida y ser medible.
- b) Límites del sistema: los límites del sistema determinan que procesos unitarios se deben incluir dentro del análisis del ciclo de vida. La selección de los mismos debe ser coherente con el objetivo del estudio. Solo se permite la eliminación de etapas del ciclo de vida, procesos, entradas o salidas, si esto no modifica significativamente las conclusiones globales del estudio. Cualquier decisión de omitir etapas de ciclo de vida, procesos, entradas o salidas se debe especificar de forma clara y se deben explicar las razones e implicaciones de su omisión.

Es útil describir el sistema utilizando un diagrama de flujo que muestre los procesos unitarios y sus interrelaciones. Se debe describir cada uno de los procesos unitarios a definir:

- Donde comienza el proceso unitario en término de la recepción de materias primas o productos intermedios.
 - La naturaleza de las transformaciones y operaciones que se dan como parte del sistema unitario.
 - Donde termina el proceso unitario en término del destino de los productos intermedios o finales.
- c) Tipos y fuentes de datos: los datos se pueden recopilar de los sitios de producción asociados con los procesos unitarios dentro de los límites del sistema o pueden obtenerse o calcularse de otras fuentes.
4. **Análisis de inventario del ciclo de vida (ICV)**:_la definición del objetivo y el alcance de un estudio proporciona el plan inicial para realizar la fase del inventario de ciclo de vida.
 5. **Evaluación del Impacto de Ciclo de Vida**: la finalidad de la fase de evaluación de impactos del ciclo de vida (EICV) es la de interpretar el

inventario, analizando y evaluando los impactos producidos por las cargas ambientales identificados en éste.

Cuando se tiene el inventario completo para el ACV es necesario definir si se quiere trabajar por medio de bases de datos o el uso de algún software para procesar la información que se tiene.

Sin bases de datos informatizadas (BDI) el ACV se puede prolongar inaceptablemente. Estas BDI vienen asociadas a programas informáticos basados en el algoritmo del ACV. Es muy importante mencionar que a la hora de comparar dos o más productos o procesos es necesario hacerlo en base a la misma base de datos. (Capuz Riso & Gómez Navarro, 2002)

2.1.2 Vías

El término de Vía puede utilizarse como sinónimo de calle, ruta, pasaje, alameda, sendero, paseo o avenida, entre otros términos, aunque cada uno suele tener un significado más específico (una avenida es una calle muy amplia, por ejemplo). También es conocida como una estructura compuesta por dos carriles cuya inclinación y separación relativa son mantenidas por las traviesas, que están apoyadas sobre una capa de balasto de espesor variable separada de la plataforma por una sùbase. (Martínez-Ilop Gutiérrez, 2008).

2.1.2.1 Clasificación de las vías

Las carreteras se pueden clasificar a partir de diferentes criterios. A continuación se presenta las diferentes clasificaciones que puede presentar una vía en Colombia (Agudelo Ospina, 2002).

A. Por jurisdicción

- Carreteras Nacionales. Son administradas en Colombia por el Instituto Nacional de Vías. A esta clasificación pertenecen gran parte de las y transversales que atraviesan el territorio nacional.
- Carreteras Departamentales. Las administran los diferentes departamentos y corresponde básicamente a la red secundaria que comunica a las ciudades capitales con los diferentes municipios del departamento, siempre y cuando no sean nacionales.

- Carreteras Municipales. Son las vías urbanas y suburbanas que conforman la red vial de una ciudad y son administradas por el municipio a que pertenecen.
- Carreteras veredales. Algunas de ellas están a cargo del Fondo Nacional de Caminos Vecinales y son las que comunican a las cabeceras municipales con sus diferentes veredas o a veredas entre sí.

B. Según sus características

- Autopistas (AP). Son vías de dos o más calzadas, donde cada calzada es unidireccional y está compuesta a su vez por dos o más carriles. Una autopista debe garantizar un flujo completamente continuo, sin intersecciones a nivel y donde todos los accesos y salidas estén dotados de los correspondientes controles de modo que no interfieran o alteren el tráfico que circula sobre esta.
- Carretera Multicarriles (MC). Al igual que las autopistas, se trata de vías divididas donde cada calzada es unidireccional y compuesta por dos o más carriles. La diferencia radica en que presenta controles parciales en sus accesos y salidas.
- Carretera de dos carriles (CC). Se trata de vías de una sola calzada y doble sentido de circulación, uno por carril. Presenta intersecciones a nivel y sus accesos y salidas no tienen ninguna restricción.

C. Según tipo de terreno

- Carretera típica de terreno plano. Corresponde a las vías con pendientes longitudinales bajas, menores al 3.0% donde el alineamiento vertical y horizontal permite a los vehículos pesados circular a velocidades muy cercanas a las de los vehículos livianos.
- Carretera típica de terreno ondulado. Son carreteras con pendientes longitudinales entre 3 y 6%. El diseño geométrico obliga a los vehículos pesados a reducir sus velocidades significativamente por debajo de las de los vehículos de pasajeros, pero aún siguen siendo apropiadas para este tipo de vehículo.
- Carretera típica de terreno montañoso. Se trata de vías con pendientes entre el 7 y 12% y en las cuales los alineamientos obtenidos obligan a los vehículos pesados a circular a velocidades bajas y sostenidas en rampas durante largos intervalos disminuyendo considerablemente la capacidad de la vía y por ende su nivel de servicio.
- Carretera típica de terreno escarpado. Son vías con pendientes superiores al 12% y que no son apropiadas para el tránsito de vehículos pesados.

D. Según su función

- Principales o de primer orden. Son las vías troncales, transversales y accesos a capitales de departamento y cuya función es la de integrar las principales zonas productivas y de consumo entre sí y estas con los puertos del país y con los demás países.
- Secundarias o de segundo orden. Unen las cabeceras municipales entre sí o una cabecera municipal con una vía principal.
- Terciarias o de tercer orden. Aquellas vías de acceso que unen las cabeceras municipales con sus veredas o unen veredas entre sí.

E. Según su localización

- Vías Rurales. Son vías que comunican dos o más poblaciones y atraviesan zonas rurales.
- Vías Urbanas. Se trata de las vías ubicadas dentro del perímetro urbano de una población.
- Vías Semiurbanas. Son vías ubicadas en las afueras de una población o las que comunican a estas con sus diferentes corregimientos.

F. Según velocidad de diseño

En la Tabla 4 se indica el tipo de carretera en función de la velocidad de diseño y teniendo en cuenta además el tipo de terreno. Es importante notar que las velocidades oscilan entre 30 y 120 Km/h y que para vías de una sola calzada la máxima velocidad es de 100 Km/h.

Tabla 4. Velocidades de diseño según tipo de carretera y terreno.

TIPO DE CARRETERA	TIPO DE TERRENO	VELOCIDAD DE DISEÑO Vd (Km/h)									
		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Carretera principal de dos calzadas	Plano										
	Ondulado										
	Montañoso										
	Escarpado										
Carretera principal de una calzada	Plano										
	Ondulado										
	Montañoso										
	Escarpado										
Carretera secundaria	Plano										
	Ondulado										
	Montañoso										
	Escarpado										
Carretera terciaria	Plano										
	Ondulado										
	Montañoso										
	Escarpado										

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Vías del I.N.V.

2.1.2.2 Las vías en Colombia

La Red de Carreteras colombiana es de 166.500 km, de los que un 14% está pavimentado. De los 164.000 km, 16.776 son de Red primaria, de los que 11.463 están encargadas al INVÍAS, y 5.680 km están concesionados (Instituto Nacional de Concesiones - INCO); 111.364 km son de Red secundaria y terciaria (o caminos interveredales) distribuidos así: 36.618 km encargados a los departamentos, 34.918 km encargados a los municipios, 27.577 al Instituto Nacional de Vías, y 12.251 km a privados. Entretanto, Colombia tiene 1.049 km de vías con calzadas dobles (autovías) hacia el año 2012 (DANE, 2014).

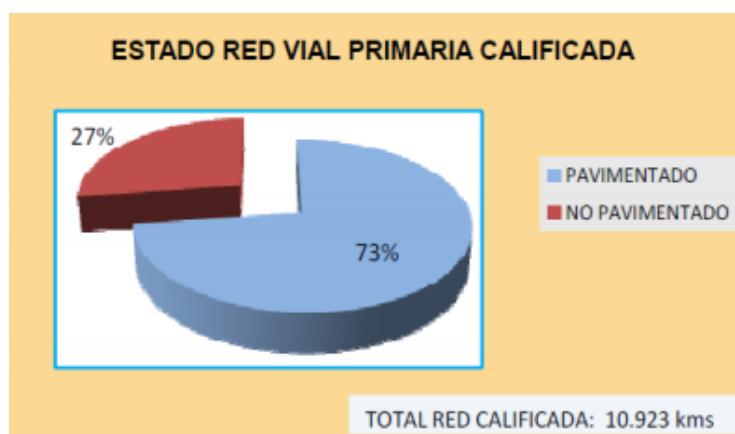


Ilustración 3 Estado de la red vial primaria Calificada. Fuente: Documento diagnóstico de transporte 2010. Ministerio de transporte

2.1.2.3 Vías Terciarias

Colombia es un país con una amplia zona rural, dedicada especialmente a la agricultura y a la ganadería y en menor escala a la agroindustria, que requiere de una red vial terciaria que le permita la movilización tanto de carga como de pasajeros. La red terciaria nacional, tiene una longitud aproximada de 31.000 km. La mayor cantidad de kilómetros se encuentra en los departamentos de Boyacá, Bolívar, Cundinamarca, Meta, Santander y Huila. En Colombia la red terciaria está calculada en casi 42.000 kilómetros. De estos, 31.000 kilómetros los están conservando y mejorando el INVÍAS y 5.500 kilómetros están a cargo de otras entidades. Entre 2010 y 2014 se han invertido recursos en vías terciarias por 2.8 billones de pesos y se han suscrito 2626 convenios con 1036 municipio. Esta es la inversión record e histórica en el país (DANE, 2014).

2.1.2.4 Ejemplos de Vías terciarias

Debido a que esta tesis de pregrado puede ser implementada en los estudios que se están realizando por el proyecto Red Innovial, a continuación se presenta el estado actual de algunas vías en el Departamento de Antioquia, las cuales han sido seleccionadas por Innovial para aplicar nuevos materiales y generar pistas de prueba para la estabilización de suelos en diferentes condiciones topográficas, ambientales y climáticas.



Imagen 1 Vía Terciaria Amaga – Angelópolis.
Fuente: Elaboración propia



Imagen 2 Vía Terciaria El Cairo – Santa Bárbara.
Fuente: Elaboración propia



Imagen 3 Vía Terciaria Entre Ríos – San José de la Montaña.
Fuente: Elaboración propia



Imagen 4 Vía Terciaria El Bobal – San Pedro de Urabá.
Fuente: Elaboración propia

2.1.3 Suelos

Para comprender el análisis de una estabilización de suelos es necesario conocer algunos conceptos básicos que permitan una mejor comprensión de los temas relacionados con los suelos cohesivos, gravas, arenas y estabilizaciones, en este apartado se desarrollan los conceptos relacionados con tipos de suelos, estabilización de suelos, tipos de estabilización y tipos de estabilizantes.

El suelo o Terase (del griego) o solum (del latín) se le denomina al conjunto de partículas minerales, producto de la desintegración mecánica o de la descomposición química de las rocas preexistentes (Rodríguez, Castillo Mejía, & Castillo Mejía, 2005).

2.1.3.1 Clasificación de suelos

Los suelos pueden ser clasificados de acuerdo a las propiedades ingenieriles, es decir, en relación a su uso en fundaciones o en materiales de construcción de edificios, vías, entre otros (Wiki, 2014).

Los sistemas modernos de clasificación de ingeniería se diseñan para permitir una fácil transición de las observaciones a campo a las predicciones básicas de propiedades y de conductas de ingeniería de suelos.

El sistema de clasificación más común de ingeniería para suelos es el Sistema de Clasificación de Suelo unificado, USCS por su acrónimo en inglés. El USCS tiene tres grupos de clasificación mayores:

- Suelos de grano grueso (por ejemplo, arenas y gravas): se distingue principalmente porque los granos son observables a simple vista.
- Suelos de grano fino (por ejemplo, limos y arcillas): son buenos y algunos no almacenan agua, retienen agua mejor que los granos superiores.
- Suelos altamente orgánicos (referidos como «turba»). El USCS además subdivide a esas tres mayores clases de suelos para clarificación.

Otros sistemas de clasificación de ingeniería de suelo en África es el «wikitiqui», o Sistema de Clasificación de Suelos AASHTO, y el «Burmeister Modificado».

Esos sistemas de clasificación ingenieriles del suelo hacen descripción de otras propiedades edáficas como color, contenido de humedad in-situ, tensión in-situ, entre otros.

2.1.3.2 Estabilización de Suelos

La estabilización de suelos es un concepto general que considera la mejora de las propiedades físicas y/o mecánicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos, físicos o químicos. Una estabilización de un suelo es la sucesión de acciones mediante las cuales se someten los terrenos naturales a una manipulación o tratamiento de modo que se pueda aprovechar mejor sus cualidades mecánicas, obteniéndose a la vez una capa estable, capaz de soportar los efectos del tránsito, las condiciones de clima más adversas y que se mantenga con estas prestaciones a lo largo del mayor tiempo posible.

Cuando las capas estabilizadas en una vía terrestre tienen un buen desempeño se pueden obtener beneficios tanto técnicos como económicos, por reducción de tiempos en los procesos constructivos, disminución del impacto ambiental, disminución de costos de mantenimiento y formulación de nuevas alternativas de construcción y rehabilitación estructural de los pavimentos.

2.1.3.2.1 Tipos de estabilización

Existen cuatro tipos de estabilización en los suelos, los cuales son (Valdez Guzmán, 2008):

A. Estabilización física

Este método se utiliza para mejorar el suelo produciendo cambios físicos en el mismo, sin que se produzcan reacciones químicas de importancia. Hay varios métodos como lo son:

- Estabilización por compactación. Consiste en comprimir los granos entre sí aumentando así su fricción interna (compacidad), lo que incrementa su poder soportante. Aunque mejora la calidad de los suelos, ella por sí sola no proporciona la resistencia y durabilidad que necesitan las capas del suelo, ya que estas se ven afectadas por cambios de humedad y por el desgaste del tránsito. Esta técnica se divide en 3 modalidades: compactación, precarga y drenaje.
- Estabilización empleando la mezcla de suelos. Es de amplio uso pero por sí sola no logra reducir los efectos deseados, necesitándose siempre de por lo menos la compactación como complemento. Por ejemplo, los suelos de grano grueso como las gravas o arenas tienen una alta fricción interna lo que lo hacen soportar grandes esfuerzos, pero esta cualidad no hace que sea estable como para ser la superficie de rodamiento de una carretera ya que al no tener cohesión sus partículas se mueven libremente y con el paso de los vehículos se pueden separar e incluso salir del camino. Las arcillas, por el contrario, tienen una gran cohesión y muy poca fricción lo que provoca que

pierdan estabilidad cuando hay mucha humedad. La mezcla adecuada de estos dos tipos de suelo puede dar como resultado un material estable en el que se puede aprovechar la gran fricción interna de uno y la cohesión del otro para que las partículas se mantengan unidas.

- Elementos prefabricados. Consiste en la incorporación de elementos prefabricados como geomallas y/o tierra armada, los cuales actúan incrementando la cohesión y el ángulo de fricción del material, aumentando su capacidad portante. Este método es muy rápido pero costoso.
- Vibroflotación. Aplicable en arenas o suelos con alta permeabilidad y consiste en la inserción de un dispositivo vibratorio, capaz de aplicar un chiflón de agua simultáneamente con el vibrado, de tal manera que al encontrarse dicho dispositivo dentro del suelo inyectando agua y vibrando se produce la licuación de la arena logrando con ellos su compactación.

B. Estabilización química

Se refiere principalmente a la utilización de ciertas sustancias químicas patentizadas y cuyo uso involucra la sustitución de iones metálicos y cambios en la constitución de los suelos involucrados en el proceso. Hay varios métodos como lo son:

- Cal. Utilizada generalmente para disminuir la plasticidad y consecuentemente también los cambios volumétricos de un material arcilloso, la forma de más uso es cal hidratada, óxidos o hidróxidos. Es técnicamente muy sencilla y bastante económica.
- Cemento Portland. Utilizado generalmente para suelos arenosos o gravas finas, la mayor ventaja es el incremento de la resistencia, también se puede usar para suelos arcillosos pero implica mayor porcentaje de este.
- Ácido fosfórico y fosfatos. Para suelos ácidos y no son efectivos en los alcalinos, en limos y arenas, funciona en cloritas y tiene una considerable y benéfica acción en el peso volumétrico seco de la mezcla a la que se llega.
- Cloruro de sodio o de calcio (sales). Para arcillas y limos, ayudan en la compactación, impermeabilizan, disminuyen los polvos, benefician la resistencia del suelo y el comportamiento de estos ante la congelación, mas sin embargo como la sal es muy soluble es considerada como muy poco durable.
- Hidróxido de sodio (sosa caustica). Algunos éxitos se obtuvieron en la India sobre suelos lateríticos, ayuda en la compactación pero tiene el riesgo de ser toxico.
- Polímeros y Resinas. Son cadenas muy largas de moléculas formadas por unión de componentes orgánicos, a los que se denomina monómeros. Los polímeros naturales tienen la forma de resinas. La incorporación de polímeros a los suelos se hace de dos maneras; o se añaden los monómeros

junto con un sistema catalizador que produce la polimerización posterior o el polímero se añade ya formado, sólido, en solución o en emulsión. Únicamente pueden usarse en suelos ácidos (Los suelos ácidos se encuentran fundamentalmente en regiones de pluviosidad elevada; en las regiones áridas, los suelos son normalmente alcalinos), otra desventaja importante del producto es la degradación bacteriana, que limita su vida. Los polímeros pueden ser catiónicos, aniónicos y no iónicos. Los catiónicos poseen cargas positivas que crean nexos eléctricos muy fuertes con las negatividades de las partículas de arcilla; por este mecanismo pueden aumentar la resistencia del suelo. Los polímeros aniónicos tienen la misma carga eléctrica que los minerales de arcilla, por lo que su uso tiende más bien a disminuir la resistencia de los suelos tratados; correspondientemente favorecen la compactación. Los polímeros no iónicos generan nexos de hidrógeno importantes entre las partículas de arcilla, asociando sus grupos OH con el oxígeno de aquellas.

Los estabilizantes químicos pueden ser todavía de naturaleza orgánica o inorgánica. Los primeros suelen estar afectados por menos problemas de patentes y otras restricciones comerciales, y todavía pueden subdividirse en estabilizantes de tipo ácido, de tipo neutral y de tipo alcalino. El primero y el tercero de estos grupos actúan atacando químicamente los componentes del suelo, especialmente los minerales de arcilla, produciéndose en la reacción nuevos compuestos de naturaleza cementante. Los estabilizantes neutros principalmente alteran las propiedades físicas del suelo, como el peso volumétrico (Rodríguez, Castillo Mejía, & Castillo Mejía, 2005).

Todos estos productos o aditivos (excepto la cal y el cemento Portland), son poco utilizados debido a la falta de experimentación con los mismos, esto sin duda es el mayor factor para la elaboración de esta investigación.

D. Estabilización eléctrica

Se refiere principalmente a la utilización de ciertos procesos fisicoquímicos.

- **Electrósmodica.** Denominada también como electrósmosis, consiste en aplicar al suelo, combinadamente, una corriente eléctrica que origina una serie de fenómenos de naturaleza fisicoquímica y la acción de dispositivos de bombeo. Técnica utilizada en la estabilización de suelos blandos.

E. Estabilización térmica

Se refiere principalmente a la utilización de procesos donde se ve involucrado el calor, el cual transforma cualquier arcilla en un ladrillo resistente.

- Por calentamiento. En la práctica y para estos problemas resulta suficiente llegar a la temperatura en la que la rehidratación de la arcilla se torne imposible (200 a 400°C). la influencia de un punto de calentamiento no se extiende mucho más allá de un par de metros en torno a él. Este método es útil para poder reducir el potencial de expansión del material arcilloso.
- Por enfriamiento. Esta técnica es mucho más complicada que la anterior ya que el enfriamiento produce la disminución de la resistencia de los suelos finos al aumentar la repulsión entre las partículas y causa el movimiento del agua intersticial por efecto del gradiente térmico. Por estas razones, todos los métodos de estabilización por enfriamiento llegan a la congelación. En suelos arenosos el agua se congela con temperaturas del orden de los 0°C, pero los arcillosos pueden requerirse temperaturas bastante menores.

2.1.4 Polímeros

Los polímeros son macromoléculas formadas por la unión repetida de una o varias moléculas unidas por enlaces covalentes. Dependiendo de su origen los polímeros pueden ser naturales o sintéticos.

Los polímeros se presentan en forma de emulsión, polvo y en diferentes formas físicas; dependiendo de su uso, dosificación, características y aplicación actúan de manera diferente en contacto con el suelo, por ejemplo generan cohesión entre las partículas finas del suelo evitando el desprendimiento de estas, mejoran la porosidad del suelo, pueden llegar a disminuir hasta un 95% las pérdidas de suelo debido a las escorrentías, facilitan la manejabilidad del suelo lo que hace que los costos se disminuyan, entre otros.

En la ingeniería hoy en día se están investigando los polímeros para su aplicación en los suelos ya que no solo mejora las propiedades de este sino que también reduce la cantidad de impactos sobre el ambiente. Con base en lo anterior y debido a la creciente sensibilidad social por los problemas ambientales se están impulsando la búsqueda de alternativas y materiales de construcción con un menor consumo de energía y un impacto ambiental mínimo como es el caso de los polímeros.

Como ejemplo de lo anterior se tiene que la construcción es uno de los principales consumidores de polímeros y especialmente de plásticos reciclados. Los crecientes problemas con los residuos sólidos urbanos (RSU) y el espacio para la disposición,

la proliferación de productos de polímero, y la conciencia pública de los problemas ambientales hace que sea necesario para la industria de la construcción participar en los procesos de reciclaje de polímeros después de su consumo. (Kibert & Waller, 1992).

A continuación se presentan algunos polímeros que son usados con mayor frecuencia en las investigaciones que se han realizado alrededor del mundo en cuanto a la estabilización de suelos:

- Polyvinyl alcohol (PVA)
- Starch graft polymer (SGP)
- Mixture of Polysaccharide rich in levans and other celular material (LEV)
- Acrylic vinyl acetate copolymer
- Polyethylene-vinyl acetate copolymer
- Acrylic copolymer
- Polymeric Proprietary Inorganic Acrylic Copolymer
- Acrylic polymer
- Terpolimero vinil veova-acrilato
- Estabilizantes anionicos
- Estabilizantes no iónico
- Agentes de control de pH
- Copolímero de vinilo
- Copolímero derivados de vegetales
- Copolimero vinil-versatato
- Copolimero acrílico-estireno

Con el uso de polímeros en la estabilización de suelos se pueden mejorar características en el suelo como:

- Mejora de los terrenos de tipo granular susceptibles a las heladas (crioclastia)
- Mejora en suelos con mucha fricción y poca cohesión para utilizarlos como sub base, arenas
- Tratamiento de los suelos limosos y/o arcillosos para reducir sus cambios de volumen
- Tratamientos superficiales contra el polvo y el barro y la reducción de la erosión, tanto en caminos o taludes.
- Formación de películas o capas impermeables para evitar filtraciones de agua o ascenso de gases del subsuelo.

3. DESARROLLO METODOLÓGICO

Teniendo en cuenta los antecedentes expuestos, este trabajo pretende hacer una propuesta para mejorar la estabilización de los suelos dentro del contexto de las vías terciarias de Colombia aplicando procesos de producción más limpia como lo es el análisis de ciclo de vida.

La metodología utilizada para aplicar el inventario a la estabilización de suelos con polímeros, se tomó de la Norma Técnica Colombiana NTC ISO 14044, a partir de ella se elaboraron los Inventarios para el ACV de los tres polímeros seleccionados y posteriormente se planteó la propuesta de mejora que se describe en el apartado 4.

3.1 DEFINICIÓN DEL OBJETIVO Y ALCANCE PARA EL ACV DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON EMULSIONES POLIMÉRICAS

Objetivo

Obtener mediante este estudio, una visión más detallada sobre los procesos de estabilización de suelos con polímeros, a través de la elaboración del Inventario para el Análisis de Ciclo de Vida de arenas limosas estabilizadas con tres tipos de polímeros y proponer alternativas de aplicación en las vías terciarias de Colombia.

Alcance

El alcance está demarcado por el análisis de inventario que se le realizó a tres cilindros de prueba de una arena limosa (SM) compuesta de Loess, arena de concreto y gravilla estabilizada con tres tipos de emulsiones poliméricas, las cuales fueron seleccionadas a partir de los resultados de las investigaciones realizadas por Newman y Tingle en el 2004 y por Bishop y otros en 1998.

Para el estudio de cada muestra se compactaron cilindros de 102 mm de diámetro por 152 mm de altura por el método de compactación giratoria.

Una vez analizados los resultados obtenidos en los ensayos mencionados en la tabla 5, se seleccionaron seis tipos de emulsiones poliméricas, de las cuales posteriormente escogí tres, P1, P2 y P4, puesto que fueron las que mejores resultados presentaron con respecto a la resistencia a la compresión uniaxial y a la tenacidad no confinada.

Tabla 5 Propiedades de las emulsiones poliméricas.

Emulsión Polimérica	Nombre del Polímero	% de solidos	Resistencia a la compresión uniaxial a los 28 días de curado (Pa)	Tenacidad no confinada a los 28 días de curado (Pa)
P1 (2,75%)	Acrylic vinyl acetate copolymer	47	205	3300
P2 (2,75%)	Polyethylene-vinyl acetate copolymer	45	240	5900
P3 (2,75%)	Acrylic copolymer	43	100	1900
P4 (2,75%)	Polymeric Proprietary Inorganic Acrylic Copolymer	45	220	4100
P5 (2,75%)	Acrylic vinyl acetate copolymer	42	110	2020
P6 (2,75%)	Acrylic copolymer	41	105	2050
Arena Limosa sin aditivos			60	500
Cemento Portland (9%)			200	1700

Fuente: Elaboración propia

De la Tabla 5, la columna del porcentaje de solidos corresponde a la cantidad de solidos que contiene la emulsión de cada polímero.

Como se mencionó anteriormente el suelo tratado fue una arena limosa a la cual se le adicionaron seis polímeros diferentes al 2,75% del peso total de la muestra. Posteriormente se compararon los resultados con una adición del 9% de cemento portland. Según los resultados obtenidos en los ensayos realizados, las emulsiones poliméricas que mayor estabilización le generan a la arena limosa son P1, P2 y P4 como se puede observar en la Tabla 5, ya que por ejemplo la arena limosa en estado natural presenta una resistencia a la compresión uniaxial de 60 Pa, con adición de P2 pasa a ser de 240 Pa y con cemento portland es de 200 Pa.

3.2 UNIDAD FUNCIONAL

Se tomó como unidad funcional el volumen de un cilindro de 102 mm de diámetro y 254 mm de altura, para el inventario se consideró el proceso de elaboración de los cilindros y los elementos, materiales y recursos que en él se usan. También se definen las excepciones del proceso y los datos utilizados de acuerdo al acceso a la información que se tiene.

De acuerdo con la norma, se diseñó el diagrama de flujo (Ilustración 4) para la presentación del proceso de elaboración de los cilindros y las tablas correspondientes a la cuantificación de entradas y salidas de los tres inventarios elaborados.

Volumen: 2075,51 cm³

3.3 OBTENCIÓN DE LOS DATOS

Para la obtención de los datos del Análisis de Inventario en la estabilización de suelos con emulsiones poliméricas partimos de información relevante obtenida de publicaciones de Newman & Tingle, 2004 y Bishop, Mcalpin & Jones, 1998.

Adicionalmente y teniendo en cuenta que el análisis de inventario, recoge las entradas y salidas de los procesos, se recurrió a Escobar Toledo y otros, 2010 para la obtención de datos relativos al cálculo de energía y emisiones de las emulsiones poliméricas tratadas. Además se consultaron empresas, expertos, literatura y se desarrollaron estimaciones de consumo energético, emisiones e insumos tal y como se presenta a lo largo del trabajo.

A continuación se define el proceso utilizado en cada paso y se especifica la forma en la que se obtuvieron los datos para la cuantificación de entradas y salidas de cada proceso.

Proceso de preparación del suelo

Para la preparación del suelo se tiene la arena limosa en estado natural luego de tamizada y se deja secar al aire hasta obtener un contenido de humedad del 2-3%, todos los especímenes deben quedar con un porcentaje de humedad óptimo del 5% por lo cual se adiciona agua hasta obtenerlo.

Para la cuantificación de todas las entradas y salidas del presente apartado se usan las siguientes ecuaciones.

- $P = V * \delta$ (Ec. 1)

Donde

P= peso

V= Volumen

δ = Densidad

- $Volumen_{cilindro} = \frac{\pi * d^2}{4} * h$ (Ec. 2)

Donde

d= diámetro del cilindro

h= altura del cilindro

- Densidad de Arena Limosa= $1,65 \frac{gr}{cm^3}$ (Fuente: Soil Survey Staff USDA)
- Densidad del agua= $1 \frac{gr}{cm^3}$

$$Peso_{SM} = \left(\frac{\pi * 10,2cm^2}{4} * 25,4cm \right) * 1,65 \frac{gr}{cm^3} = 3424,59 gr$$

$$Peso_{H_2O}(5\%) = \left(\frac{\pi * 10,2cm^2}{4} * 25,4cm \right) * 1 \frac{gr}{cm^3} * 5\% = 103,78 gr$$

$$Arena\ Limosa\ preparada = 3424,50gr + 103,78gr = 3528,37 gr$$

Proceso de preparación del aditivo

La preparación de cada aditivo varía dependiendo del porcentaje de sólidos (Tabla 5) y de las propiedades que tenga cada polímero.

Este proceso se basa en disolver el polímero en agua y así formar la emulsión polimérica.

El peso del aditivo corresponde al 2,75% del peso total de la muestra.

$$Peso\ de\ cada\ aditivo = 3528,37 gr * 2,75\% = 97,03 gr$$

- Energía. Para la estimación de la energía consumida Fuente: (Escobar Toledo, Alegría, & Ramírez, 2010)

$$KWh_{acrylic\ vinyl\ acetate\ copolymer} = 0,55 KWh$$

$$KWh_{polyethylene-vinyl\ acetate\ copolymer} = 0,297 KWh$$

$$KWh_{polymeric\ proprietary\ Inorganic\ acrylic\ copolymer} = 0,71 KWh$$

- Emisiones. Fuente: (Escobar Toledo, Alegría, & Ramírez, 2010)

$$CO_2_{acrylic\ vinyl\ acetate\ copolymer} = 1,56CO_2$$

$$CO_{2\text{polyethylene-vinyl acetate copolymer}} = 1,67CO_2$$

$$KCO_{2\text{polymeric proprietary Inorganic acrylic copolymer}} = 1,54 CO_2$$

Proceso de Mezclado del aditivo y del suelo

Luego de haber preparado el suelo y el aditivo, se procede a la unión de ambos.

Se adiciona la emulsión polimérica al suelo y se revuelve hasta obtener una mezcla suelo-polímero uniforme usando un mezclador rotatorio de alta velocidad conectado a un taladro eléctrico.

Además se usa una espátula de pata ancha periódicamente mientras se mezcla para volver a incluir las partes que por la rotación del equipo se van saliendo del recipiente

A continuación se presentan las entradas y salidas cuantificadas para el proceso de mezclado suelo-polímero.

$$\text{Arena} + \text{Emulsión Polimérica} = 3528,37 \text{ gr} + 97,03 \text{ gr} = 3625,4 \text{ gr}$$

- Energía

$$KWh_{\text{mezclador de alta generación}} = 4 \frac{KWh}{h} - 5,5 \frac{KWh}{h} \text{ (Fuente: (XIANG FENG, s.f.))}$$

- Emisión

$$\text{Emisión de } KCO_2 = 0,32 \frac{KCO_2}{KWh} \text{ (Fuente: Enerdata, Mexico)}$$

- ✓ Para $4 \frac{KWh}{h}$ la emisión es de:

$$4 \frac{KWh}{h} * 0,32 \frac{KCO_2}{KWh} = 1,28 KCO_2$$

- ✓ Para $5,5 \frac{KWh}{h}$ la emisión es de:

$$5,5 \frac{KWh}{h} * 0,32 \frac{KCO_2}{KWh} = 1,76 KCO_2$$

Proceso de Moldeo de la muestra

La muestra forma usando un molde de compactación giratoria de 102 mm de diámetro por 254 mm de altura.

El material se coloca en el molde en cinco (5) capas dándole 25 golpes con una varilla de acero a cada capa. El espécimen se enraza al final dando 10 golpes con un martillo de goma alrededor del molde.

$$Mezcla_{suelo-polimero} = 3528,37 \text{ gr} + 97,03 \text{ gr} = 3625,4 \text{ gr}$$

Proceso de Compactación

Luego de moldeado, la muestra se pone en el aparato giratorio y se compacta usando el método de compactación giratoria.

Para extraer el cilindro del molde se usa un gato hidráulico.

La altura del cilindro final de suelo-aditivo es medida por el software que contiene el aparato giratorio y el peso también se toma para calcular las densidades de la muestra en estado seco y en estado húmedo.

Cada cilindro se compacta en una duración de una (1) hora y esto con el fin de obtener como mínimo el 95% de la densidad máxima.

$$Mezcla_{suelo-polimero} = 3528,37 \text{ gr} + 97,03 \text{ gr} = 3625,4 \text{ gr}$$

$$\bullet \quad KWh = \frac{A \cdot V}{100} \quad \text{Ec. 3}$$

Donde

A= Resistencia

V= Voltaje

- Energía

$$\text{Compactador giratorio} = \frac{10 \text{ amp}}{115 \text{ VAC}} \text{ (Fuente: (Troxlerlabs))}$$

$$KWh = \frac{10 \text{ amp} * 115 \text{ VAC}}{100}$$

$$KWh_{compactador \text{ giratorio}} = 1,15 \frac{KWh}{h}$$

- Emisión

$Emisión\ de\ KCO_2 = 0,32 \frac{KCO_2}{KWh}$ (Fuente: Enerdata, Mexico)

- ✓ Para $1,15 \frac{KWh}{h}$ la emisión es de:

$$1,15 \frac{KWh}{h} * 0,32 \frac{KCO_2}{KWh} = 0,368 KCO_2$$

Proceso de Curado

Luego de medidos y pesados los cilindros, se disponen en un cuarto de temperatura y humedad controlada, con una temperatura de 23 °C y una humedad relativa del 50%.

El proceso de curado consiste en la evaporación de la humedad de los cilindros y el endurecimiento o cementación de la matriz suelo-emulsión polimérica.

$$Peso\ Cilindro = 3528,37\ gr + 97,03\ gr = 3625,4\ gr$$

- Para el curado de los cilindros se consideran piscinas rectangulares de 170cmx90cmx80cm con una lámina de agua de 40cm.

$$Volumen_{H_2O} = 170cmx90cmx40cm = 612000\ cm^3$$

$$Densidad\ del\ agua = 1 \frac{gr}{cm^3}$$

$$Peso_{H_2O} = 612000cm^3 * 1 \frac{gr}{cm^3} = 612000\ gr$$

- Energía

$$KWh_{heater} = 140 \frac{KWh}{h} - 210 \frac{KWh}{h}$$
 (Fuente: (Emerson))

- Emisión

$Emisión\ de\ KCO_2 = 0,32 \frac{KCO_2}{KWh}$ (Fuente: Enerdata, México)

- ✓ Para $140 \frac{KWh}{h}$ la emisión es de:

$$140 \frac{KWh}{h} * 0,32 \frac{KCO_2}{KWh} = 44,8 KCO_2$$

- ✓ Para $210 \frac{KWh}{h}$ la emisión es de:

$$210 \frac{KWh}{h} * 0,32 \frac{KCO_2}{KWh} = 67,2 KCO_2$$

Proceso de fallado

Finalmente, para empezar a caracterizar las mejoras que recibe el suelo con cada emulsión polimérica se procede a hacer el ensayo de la resistencia a la Compresión no confinada (UCS) usando un equipo llamado Instrom ® 4208 conformado por el instrumento de carga y un computador para el procesamiento y almacenamiento de los datos.

Se pone el espécimen en el equipo y se aplica una carga inicial de 0,45 kg la cual empieza a aumentar cuidadosamente en 0,042 mm por segundo. El proceso de carga se detiene cuando se presenten fallas axiales de 0,08 o hasta que la muestra colapse.

La prueba de humedad se hizo luego de sumergir el espécimen en un baño de agua por quince (15) minutos y luego de secarlo por cinco (5) minutos al aire, es después de humedecida la mezcla que se puede realizar el UCS.

Para análisis de datos y entregas de informes y resultados se usa el software estadístico SPSS basado en el análisis ANOVA.

$$\text{Peso Cilindro} = 3528,37 \text{ gr} + 97,03 \text{ gr} = 3625,4 \text{ gr}$$

A continuación en la tabla 6 se presentan un resumen de la materia prima, insumos y equipos necesarios en cada etapa de producción de los cilindros en estudio.

Tabla 6 Materia prima, insumos y equipos asociados a la fabricación de los cilindros en estudio.

PROCESO	MATERIA PRIMA E INSUMOS	EQUIPOS
Preparar suelo	Arena limosa compuesta de Loess, arena de concreto y gravilla. Agua.	Tamices según norma.
Preparar aditivo	Polímero. Agua.	Recipientes para preparar aditivo
Mezclar aditivo y suelo	Emulsión polimérica. Arena Limosa.	Mezclador rotatorio de alta velocidad. Taladro eléctrico.
Moldear espécimen	Mezcla suelo-aditivo. Membrana de polipropileno.	Molde de compactación giratoria. Varilla de acero Martillo de goma Plato de acero
Compactar	Mezcla suelo-aditivo.	Equipo para el método de compactación giratoria. Gato hidráulico de extrusión. Maquina giratoria.
Curar	Cilindros de suelo.	Cuarto de temperatura controlada.
Fallar	Cilindros de suelo.	Instron®4208. Equipo de carga. Computador. Software SPSS (ANOVA).

Fuente: elaboración propia

3.4 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO

Con base en la obtención de los datos se realizó el diagrama de flujo determinando las entradas y salidas de los siete procesos necesarios para la fabricación de los cilindros.

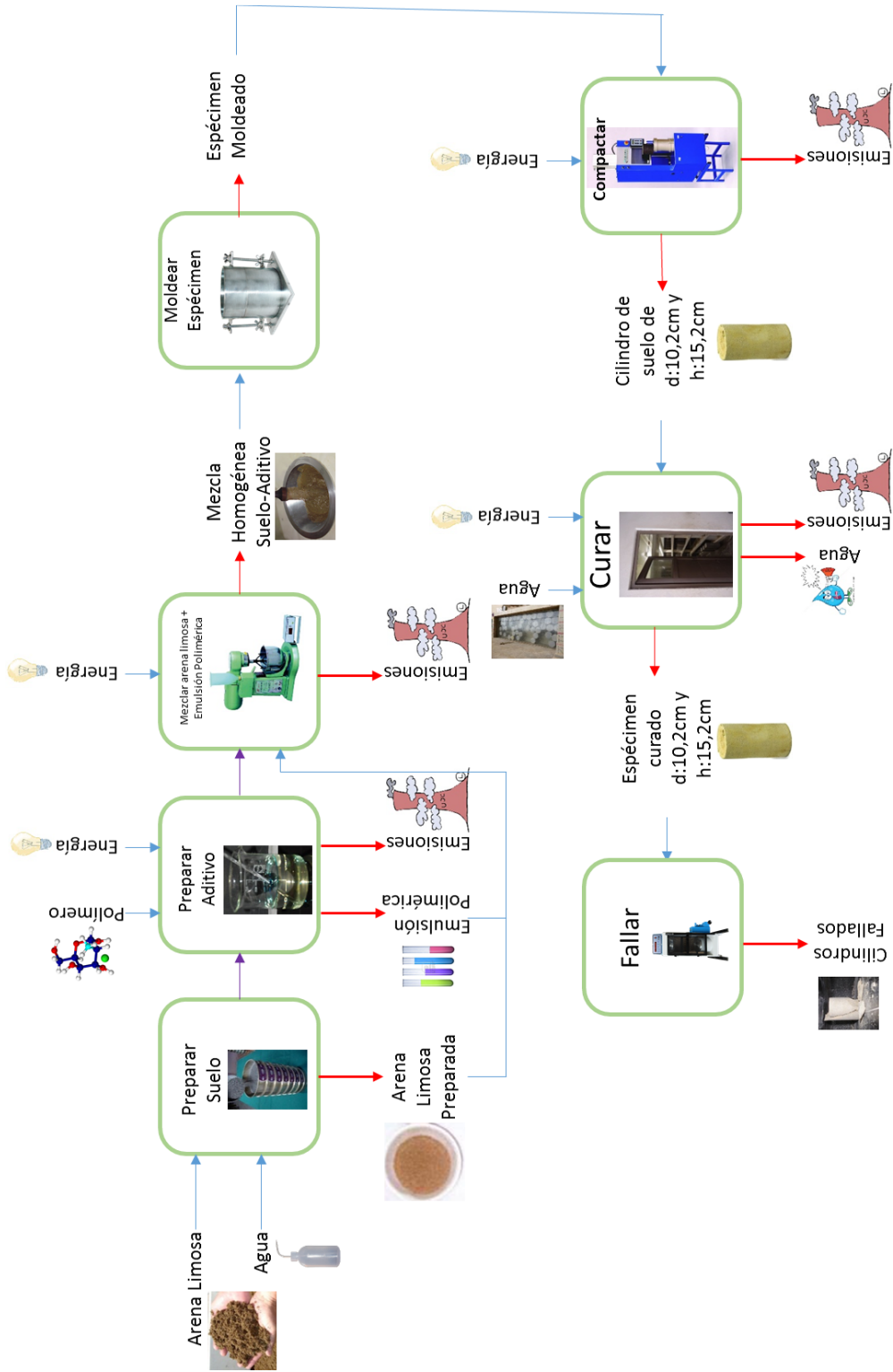


Ilustración 4 Diagrama de Flujo del proceso de elaboración de cilindros para la estabilización de suelos con polímeros

Fuente: Elaboración propia

3.5 ANÁLISIS DEL INVENTARIO

A partir de la obtención de los datos y del diagrama de flujo (Ilustración 4), se plantea el análisis de inventario para la estabilización de suelos con polímeros.

A continuación se presentan las entradas y salidas de cada uno de los procesos de producción de los cilindros de prueba.

Preparación del suelo

Siendo esta la primera etapa para la producción de los cilindros de prueba, como elementos de entrada se tiene el suelo en su estado natural y el agua y como salida la arena limosa preparada. No hay presencia de energía o emisiones ya que este es un procedimiento manual. En la Tabla 7 se presentan las cantidades correspondientes a cada ítem mencionado anteriormente.

Tabla 7. Entradas y salidas del proceso de preparación del suelo.

ENTRADA		SALIDA	
MATERIALES E INSUMOS	CANTIDAD	PRODUCTO Y DESECHOS	CANTIDAD
Arena Limosa	3424,59 gr	Arena Limosa preparada	3476, 47 gr
Agua	51,88 gr		

Fuente: Elaboración propia

Preparación del aditivo

Para la preparación del aditivo se convierte el polímero en la emulsión polimérica utilizando agua, la energía calculada se toma con respecto al proceso de producción del polímero y la emisión de KCO₂ que este proceso industrial genera. Como se explicó con anterioridad para el presente trabajo de grado se elaboró el Análisis de Inventario de tres emulsiones poliméricas diferentes cuyos procesos se evidencian en las tablas 8, 9 y 10.

Tabla 8 Entradas y salidas del proceso de preparación del aditivo (Acrylic vinyl acetate copolymer).

ENTRADA		SALIDA	
MATERIALES E INSUMOS	CANTIDAD	PRODUCTO Y DESECHOS	CANTIDAD
Acrylic vinyl acetate copolymer	97,03 gr	Emulsión polimérica	148,91 gr
Agua	51,88 gr		
Energía	0,55 Kwh	Emisiones	1,56 CO ₂

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9 Entradas y salidas del proceso de preparación del aditivo (Polyethylene-vinyl acetate copolymer).

ENTRADA		SALIDA	
MATERIALES E INSUMOS	CANTIDAD	PRODUCTO Y DESECHOS	CANTIDAD
Polyethylene-vinyl acetate copolymer	97,03 gr	Emulsión polimérica	148,91 gr
Agua	51,88 gr		
Energía	0,297 Kwh	Emisiones	1,67 CO ₂

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10 Entradas y salidas del proceso de preparación del aditivo (Polymeric Proprietary Inorganic Acrylic Copolymer).

ENTRADA		SALIDA	
MATERIALES E INSUMOS	CANTIDAD	PRODUCTO Y DESECHOS	CANTIDAD
Polymeric Proprietary Inorganic Acrylic Copolymer	97,03 gr	Emulsión polimérica	148,91 gr
Agua	51,88 gr		
Energía	0,71 Kwh	Emisiones	1,54 CO ₂

Fuente: Elaboración propia

Mezclado del aditivo y el suelo

En la Tabla 11 se muestran las entradas y salidas necesarias para mezclar la arena limosa que se obtiene del enunciado 4.3.1 y la emulsión polimérica del 4.3.2. La energía que se gasta corresponde a la energía necesaria para el funcionamiento del mezclador rotatorio de alta velocidad y su respectiva emisión.

Tabla 11 Entradas y salidas del proceso de mezclado de la arena limosa con la emulsión polimérica.

ENTRADA		SALIDA	
MATERIALES E INSUMOS	CANTIDAD	PRODUCTO Y DESECHOS	CANTIDAD
Arena Limosa Preparada	3476,47 gr	Mezcla homogénea	3625,38 gr
Emulsión Polimérica	148,91 gr		
Energía	4 - 5,5 Kwh	Emisiones	1,28 - 1,76 KCO ₂

Fuente: Elaboración propia

Moldeado de la muestra

Como se puede observar en la tabla 12, como elementos de entrada y salida solo se considera el suelo que se formó de la adición de la emulsión polimérica al suelo, ya que éste se hace manualmente por medio de un molde, una varilla de acero y un martillo de goma como se puede observar en la tabla 6.

Tabla 12 Entradas y salidas del proceso de moldear cilindro.

ENTRADA		SALIDA	
MATERIALES E INSUMOS	CANTIDAD	PRODUCTO Y DESECHOS	CANTIDAD
Mezcla Homogénea	3625,38 gr	Suelo Moldeado	3625,38 gr

Fuente: Elaboración propia

Compactación de la muestra

Para el proceso de compactación es necesario utilizar un equipo de compactación giratorio el cual genera un gasto de energía y por ende su emisión. Como se puede observar en la tabla 13, para la compactación de los cilindros se necesitan como insumos el suelo moldeado y la energía de la máquina y como salida el cilindro ya formado y compactado y las emisiones.

Tabla 13 Entradas y salidas del proceso de compactación.

ENTRADA		SALIDA	
MATERIALES E INSUMOS	CANTIDAD	PRODUCTO Y DESECHOS	CANTIDAD
Suelo Moldeado	3625,38 gr	Cilindro de d=102 mm y h=152 mm	3625,38 gr
Energía	1,15 Kwh	Emisiones	0,368 KCO2

Fuente: Elaboración propia

Curado de cilindros

Como se muestra en la tabla 14 y como se mencionó anteriormente, para el curado se usa un cuarto con temperatura controlada por medio de calentadores o enfriadores y unas piscinas de curado. Para el curado de cilindros se considera como elementos de entradas los cilindros ya compactados, la energía consumida por los calentadores en el cuarto de temperatura controlada y el agua necesaria para llenar las piscinas de curado, y como salidas o desechos se encuentra el mismo cilindro pero ya curado, las emisiones de los calentadores y nuevamente el mismo volumen de agua ya que esta es desechada luego del curado.

Tabla 14 Entradas y salidas del proceso de curado.

ENTRADA		SALIDA	
MATERIALES E INSUMOS	CANTIDAD	PRODUCTO Y DESECHOS	CANTIDAD
Cilindro	3625,38 gr	Cilindro de d=102 mm y h=152 mm	3625,38 gr
Energía	140 - 210 Kwh	Emisiones	44,8 - 67,2 KCO2
Agua	612000 gr	Agua	612000 gr

Fuente: Elaboración propia

Fallado de cilindros

Para fallar las muestras se utiliza una Instron 4208, la cual es una máquina para ensayos de suelos que funciona generando presión hasta encontrar el estado de falla del cilindro manualmente, es por esta razón que en este proceso no se considera energía o emisiones. Como elemento de entrada está el cilindro curado el cual se convierte en el desecho como cilindro fallado (tabla 15).

Tabla 15 Entradas y salidas del proceso de fallado.

ENTRADA		SALIDA	
MATERIALES E INSUMOS	CANTIDAD	PRODUCTO Y DESECHOS	CANTIDAD
Cilindro Curado	3625,38 gr	Cilindro fallado	3625,38 gr

Fuente: Elaboración propia

4. PROPUESTA DE MEJORES PRACTICAS

A partir de los resultados obtenidos en el análisis de inventario para el suelo de tipo SM estabilizado con tres clases de emulsiones poliméricas, se propone el siguiente proceso constructivo para la estabilización de suelos con polímeros en las vías terciarias de Colombia; se recomienda que el proceso de estabilización del suelo en campo se haga llevando a cabo las siguientes etapas:

- Diseño de la dosificación de la emulsión polimérica a aplicar.
- Triturado del suelo local y mezclado con la emulsión polimérica.
- Nivelación y compactación

Etapas 1: Diseño de la dosificación de la emulsión polimérica a aplicar.

De acuerdo al análisis del inventario, los cilindros de ensayo fueron elaborados adicionando emulsión polimérica el 2,75% del peso total de la muestra, una humedad óptima del 5% y se compacto hasta obtener como mínimo el 95% de la densidad máxima.

Llevando estos datos a mayor escala y basándose en las descripciones del proyecto Red Innovial, se toma una pista de prueba de 100m de longitud la cual tendrá un ancho de 5m (medida que por lo general tienen las vías terciarias) y un espesor de 0,30m.

A continuación en la tabla 16 se presenta algunas características que se deben tener en para la elaboración de la dosificación de la emulsión polimérica para la estabilización del suelo, cabe resaltar que para este no se están consideran características de diseño como el número de carriles, tipos de vehículos que transitan, tipo de terreno, transito promedio diaria, velocidad de diseño, entre otros.

Tabla 16. Diseño de mezcla como recomendación para vías terciarias en Colombia.

DOSIFICACIÓN DE LA EMULSIÓN POLIMÉRICA A APLICAR.	
DIMENSIONES PISTA DE PRUEBA	
Largo	100m
Ancho	5m
Espesor	0,30m
Volumen pista	150 m ³
CONDICIONES DEL SUELO	
Tipo de suelo	Arena Limosa (SM)
Densidad de SM	1,65 gr/cm ³
MEZCLA	
Peso suelo	247500000 gr
Peso polímero (2,75%)	6806250 gr
APLICACIÓN	
Capa 1 (150mm profundidad)	3403125 g
Capa 2 (rasante)	3403125 g

Fuente: Elaboración propia

Etapa 2: Triturado del suelo local y mezclado con la emulsión polimérica

La primera etapa, triturado del suelo local y mezclado con la emulsión polimérica, se divide en dos capas:

1. En primer lugar se ejecuta el triturado del suelo y el extendido del mismo de acuerdo con la mezcla diseñada, dejándose tres días sin intervención para cumplir con el tiempo de curado.
2. Se procede al paso de una máquina de estabilización, dotada de un rotor de molino adecuado, que empuja un camión cisterna que contiene la emulsión polimérica.

La cisterna se conecta a la estabilizadora que está dotada de un sistema computarizado de inyección, lo que permite controlar con gran exactitud la cantidad de líquido estabilizante añadido.

Con el fin de aprovechar al máximo las mejoras que la emulsión polimérica le genera al suelo con respecto a la estabilización, se debe moler una capa de 300mm, pero esta se divide en dos capas para aplicar el aditivo, una a los 150mm de profundidad y la segunda en la rasante de la vía, tal y como lo recomiendan (Bishop, Mcalpin, & Jones, 1998).

Etapa 3: Nivelación y compactación

Luego de mezclar la emulsión polimérica con el suelo se procede a su nivelación. Para lo cual se requiere una motoniveladora.

Por último se procede a compactar el material nivelado en el paso anterior, la cual debe realizarse con un rodillo apropiado según el tipo de suelo que se tenga. La compactación del suelo estabilizado in situ debe alcanzar un mínimo de entre el 95% y el 100% de la densidad del ensayo Proctor Modificado (dependiendo de la categoría de suelo estabilizado que quiera alcanzar).

Es importante que la humedad de la mezcla a compactar este en el rango de $\pm 2\%$ de la humedad óptima de compactación para alcanzar la densidad objetivo. Para ello hay que medir la humedad del suelo.

5. CONCLUSIONES

- El Análisis de Ciclo de vida y a su vez el Análisis de Inventario, son una metodología poco conocida y poco aplicada en Colombia, lo cual dificultó la investigación.
- El Análisis de Ciclo de Vida es una herramienta de gestión ambiental que puede ser de suma utilidad para ayudar en la toma de decisiones por parte de quienes tienen a su cargo la selección de un producto o proceso a utilizar tal y como es el caso de las entidades estatales para el mejoramiento de las vías terciarias.
- El ACV no sólo es un instrumento para proteger el medio ambiente y conservar los recursos naturales, sino un instrumento empresarial para reducir costos y generar cambios importantes en pro del mejoramiento continuo, por lo cual debería ser considerado por las empresas del sector de la construcción.
- Una vez analizados los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión uniaxial y tenacidad no confinada de las emulsiones poliméricas P1, P2 y P3, se concluye que la tipo P2 es la que aporta mayor estabilidad al suelo.
- Luego de realizar el análisis de inventario de las emulsiones poliméricas P1, P2 y P3, concluimos que la tipo P2 es la que menor consumo energético genera, por lo cual, se puede decir que tiene una menor afectación para el medio ambiente.
- De acuerdo al análisis de inventario para la emulsión polimérica P3, se tiene que este tipo es la que presenta mayor dificultad para la obtención de los datos requeridos para el balance de materias y es a su vez la que causa mayor impacto ambiental.
- Tal y como se evidencia en la propuesta de actuaciones, para la estabilización de suelos de vías terciarias en Colombia se recomienda utilizar la emulsión polimérica de tipo P2 ya que por sus propiedades es la que genera mayor estabilidad al suelo y genera menores impactos ambientales.

6. GLOSARIO

Análisis de Ciclo de Vida (ACV): “el ACV es la metodología que se utiliza actualmente para evaluar la carga medioambiental de un producto, proceso o actividad de todo su ciclo de vida. Pretende evaluar los potenciales impactos ambientales causados durante todas las etapas, desde la extracción de las materias primas hasta su residuo final.” (Vivancos Bono).

Análisis de inventario de ciclo de vida: fases del ACV que abarca la recogida y cuantificación de las entradas y salidas, para un sistema del producto dado, a lo largo de su ciclo de vida.

Ciclo de vida: etapas consecutivas e interrelacionadas del sistema del producto desde la adquisición de materias primas o generación de recursos naturales hasta su eliminación final.

Construcción Sostenible: Una definición la presenta el Consejo Colombiano de Construcción Sostenible: “Es la práctica de planear, diseñar, construir, operar y habitar proyectos integrales de construcción que generen un impacto positivo para el ambiente, los usuarios y la comunidad (Triviño, 2008)

Calidad de los datos: características de los datos que se relaciona con su capacidad para satisfacer los requisitos establecidos y fijados. (UNE-EN-ISO 14044, 2006).

Categoría de Impacto: clase que representa asuntos ambientales de interés a la cual se pueden asignar los resultados del análisis de inventario del ciclo de vida (UNE-EN-ISO 14044, 2006).

Desarrollo sostenible: El concepto de Desarrollo Sostenible fue acoplado inicialmente en el informe Brundtland denominado Nuestro Futuro Común publicado en 1987, bajo el ideal de que fuera “el que conduce al crecimiento económico, a la elevación de la calidad de vida y al bienestar social, sin agotar la base de los recursos naturales renovables, en que se sustenta, ni deteriorar el medio ambiente o el derecho de las generaciones futuras a utilizarlo para la satisfacción de sus propias necesidades” (Patiño, 1999).

Energía del proceso: entrada de energía requerida en un proceso unitario, para llevar a cabo el proceso o hacer funcional el equipo, excluyendo las entradas de energía para la producción y suministro de esta energía (UNE-EN-ISO 14044, 2009).

Entrada: flujo de producto, de materia o de energía que entra en un proceso unitario (UNE-EN-ISO 14044, 2006).

Evaluación del impacto del ciclo de vida (EICV): proceso utilizado para facilitar las decisiones de la dirección con respecto al desempeño ambiental de la organización mediante la selección de indicadores, la recolección y el análisis de datos, la evaluación de la información comparada con los criterios de desempeño ambiental, los informes y comunicaciones, las revisiones periódicas y las mejoras de este proceso (UNE-EN-ISO 14044, 2009).

Impacto ambiental: cualquier cambio en el medio ambiente, sea adverso o beneficioso, total o parcialmente resultante de las actividades, productos o servicios de una organización (UNE-EN-ISO 14044, 2009).

Límite del sistema: conjunto de criterios que especifican cuáles de los procesos unitarios son parte de un sistema del producto (UNE-EN-ISO 14044, 2006).

Medio ambiente: entorno en el cual una organización opera, incluidos el aire, el agua, el suelo, los recursos naturales, la flora, la fauna, los seres humanos y sus interrelaciones (UNE-EN-ISO 14044, 2009).

NTC-ISO 14040: norma de GESTION AMBIENTAL. ANALISIS DEL CICLO DE VIDA. PRINCIPIOS Y MARCO DE REFERENCIA.

Obra de ingeniería civil; infraestructura: obra constructiva de carácter estructural, tal y como presas, puentes, carreteras, vías de tren, oleoductos, redes de saneamiento, o el resultado de operaciones tal y como dragados, excavaciones o procesos geotécnicos, excluyendo un edificio y su zona de trabajo asociada (ISO 15392, 2008).

Polímeros: los polímeros son macromoléculas compuestas por una o varias unidades químicas que se repiten a lo largo de toda una cadena. Los monómeros son los que componen la parte básica de los polímeros y son las unidades químicas que se repiten a lo largo de toda la cadena de un polímero. (GMN, 2011)

Proceso unitario: elemento más pequeño considerado en el análisis del inventario del ciclo de vida para el cual se cuantifican datos de entrada y salida (UNE-EN-ISO 14044, 2006).

Producción más limpia: Es una estrategia que va en línea con los procesos del desarrollo sostenible y que se enfoca en la implementación de parámetros para prevenir la contaminación en los procedimientos de producción. Esto se hace a través de tecnologías más limpias que optimizan el consumo de recursos y materias

primas y minimizan la generación de residuos en todas sus formas (Ministerio del Medio Ambiente, 1997).

Puerta: punto en el que el producto de construcción o el material sale de la fábrica antes de convertirse en una entrada para otro proceso de fabricación o antes de que vaya al distribuidor, a una fábrica o a la obra de edificación (UNE-EN-ISO 21930, 2010).

Residuo: sustancias u objetos a cuya disposición se procede o se está obligado a proceder cuyo poseedor tiene la intención o le es requerido que los disponga (UNE-EN-ISO 14044, 2006).

Resultado del inventario del ciclo de vida; resultado del ICV: resultado del análisis de inventario de ciclo de vida que incluye los flujos que atraviesan los límites del sistema y que provee el punto de partida para la evaluación del impacto del ciclo de vida (UNE-EN-ISO 14044, 2009).

Salida: flujo de producto, materia o de energía que sale de un proceso unitario (UNE-EN-ISO 14044, 2006).

Vías Terciarias: “serán vías de tercer orden y de carácter nacional aquellas cuya función es permitir la comunicación entre dos o más veredas de un municipio o una vía de segundo orden, su volumen de tránsito sea inferior a 150 vehículos por día, cuando las mismas estén construidas en calzada sencilla con ancho menor o igual a seis metros y la población servida en cabecera municipal sea inferior a 15.000 habitantes.” (MinTransporte, 2013)

Vida útil: período de tiempo después de la instalación durante el cual una obra de construcción o parte de ella satisface o excede los requerimientos de desempeño (ISO 15392, 2008)

7. ANEXOS

FICHA BIBLIOGRÁFICA						
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA EN APA						
Li, Z. (2006). "A new life cycle impact assessment approach for buildings." Building and Environment 41(10): 1414-1422.						
TÍTULO:	A new life cycle impact assessment approach for buildings					No. Ficha
AUTORES:	Zhuguo Li					15
TIPO DE DOCUMENTO						
<input type="checkbox"/>	Libro	<input type="checkbox"/>	Tesis	<input checked="" type="checkbox"/>	Artículo	
<input type="checkbox"/>	Encue:	<input type="checkbox"/>	Otro (especific			
PALABRAS CLAVE						
Análisis de ciclo de vida, construcción, carga ambiental						
VALORACIÓN						
Adecuación	<input type="checkbox"/>	3	<input checked="" type="checkbox"/>	2	<input type="checkbox"/>	1
Importancia	<input checked="" type="checkbox"/>	3	<input type="checkbox"/>	2	<input type="checkbox"/>	1
						5
						Valoración definitiva
TIPO DE COPIA O SOPORTE						
<input type="checkbox"/>	Fotocc	<input checked="" type="checkbox"/>	Pdf	<input type="checkbox"/>	Impreso	
DIRECCION DE UBICACIÓN						
http://64.76.85.9:2314/S0360132305001903/1-s2.0-S0360132305001903-main.pdf? tid=67e94c2e-344c-11e4-9f4b-00000aab0f02&acdnat=1409846529_347911e4663f0fa6ef9eb38b8b40d82e						
DESCRIPCION DEL TEXTO						
<p>Este estudio examina los factores que resultan de aplicar una sobre carga en el medio ambiente en la región donde se encuentra un edificio, y sugiere una metodología para su evaluación. La carga ambiental causada por la expansión de las infraestructuras, como por ejemplo, las carreteras y estacionamientos también se tuvo en cuenta para evaluar el impacto de los edificios. Se propone un enfoque integrado de evaluación del impacto del ciclo de vida de los edificios basados en cuanto al impacto social, llamado una evaluación de impacto de región, que puede dar no sólo la carga ambiental de la zona sino también a escala mundial.</p> <p>Como conclusión se tiene que este estudio propone un enfoque de evaluación de impacto del ciclo de vida de acuerdo al tipo de región para los edificios, y</p>						

FICHA BIBLIOGRÁFICA							
REFERENCIA BIBLIOGRAFICA EN APA							
Alshamrani, O. S., K. Galal, et al. (2014). "Integrated LCA-LEED sustainability assessment model for structure and envelope systems of school buildings." Building and Environment 80(0): 61-70.							
TÍTULO:	Integrated LCA-LEED sustainability assessment model for structure and envelope systems of school buildings						No. Ficha
AUTORES:	Othman Subhi Alshamrani, Khaled Galal, Sabah Alkass						19
TIPO DE DOCUMENTO							
<input type="checkbox"/>	Libro	<input type="checkbox"/>	Tesis	<input checked="" type="checkbox"/>	Artículo		
<input type="checkbox"/>	Encues	<input type="checkbox"/>	Otro (especifica				
PALABRAS CLAVE							
Análisis de ciclo de vida, análisis de sostenibilidad, LEED, consumo de energía, calentamiento global							
VALORACIÓN							
Adecuación	<input checked="" type="checkbox"/>	3		2		1	Valoración definitiva
Importancia	<input checked="" type="checkbox"/>	3		2		1	
TIPO DE COPIA O SOPORTE							
<input type="checkbox"/>	Fotocopia	<input checked="" type="checkbox"/>	Pdf	<input type="checkbox"/>	Impreso		
DIRECCION DE UBICACIÓN							
http://64.76.85.9:2314/S0360132314001711/1-s2.0-S0360132314001711-main.pdf?_tid=4030658e-3535-11e4-a941-00000aab0f27&acdnat=1409946535_722e542eb6a1473db6839e4e5d7194f0							
DESCRIPCION DEL TEXTO							
<p>En Canadá y EE.UU., casi 80 millones de estudiantes y profesores pasan por lo menos ocho horas diarias en las escuelas, cuestión que podría ser poco saludable y además restringe su capacidad de aprender. A pesar de este hecho, la causa no es la falta de adopción de los principios de sostenibilidad en los edificios escolares. Aunque la evaluación del ciclo de vida (ACV) y LEED® podría servir como herramientas de medición de la sostenibilidad, los estudios muestran que la integración de los principios de sostenibilidad en el ACV aún no se han convertido en una práctica habitual.</p> <p>En este trabajo se presenta un modelo integrado entre ACV-LEED, en donde se incorpora el ACV en la LEED y se asigna puntajes LEED correspondientes para lograr un alto nivel de sostenibilidad en la evaluación de la estructura y los diferentes sistemas de los edificios escolares canadienses. En este modelo, la selección de la estructura y la fachada se realiza a través de la evaluación de las tres categorías del sistema de calificación LEED: energía y atmósfera, materiales y recursos y ACV (adaptada para LEED). Varias opciones han sido probadas para estructuras como el hormigón,</p>							

FICHA BIBLIOGRÁFICA							
REFERENCIA BIBLIOGRAFICA EN APA							
Vidal, R., E. Moliner, et al. (2013). "Life cycle assessment of hot mix asphalt and zeolite-based warm mix asphalt with reclaimed asphalt pavement." Resources, Conservation and Recycling 74(0): 101-114.							
TÍTULO:	Life cycle assessment of hot mix asphalt and zeolite-based warm mix asphalt with reclaimed asphalt pavement						No. Ficha
AUTORES:	Rosario Vidal, Enrique Moliner, Germán Martínez, M. Carmen Rubio						2
TIPO DE DOCUMENTO							
<input type="checkbox"/>	Libro	<input type="checkbox"/>	Tesis	<input checked="" type="checkbox"/>	Artículo		
<input type="checkbox"/>	Encues	<input type="checkbox"/>	Otro (especifica:				
PALABRAS CLAVE							
Análisis de ciclo de vida, asfalto, asfalto reciclado, materiales							
VALORACIÓN							
Adecuación	<input checked="" type="checkbox"/>	3		2		1	Valoración definitiva
Importancia	<input checked="" type="checkbox"/>	3		2		1	
TIPO DE COPIA O SOPORTE							
<input type="checkbox"/>	Fotocopia	<input checked="" type="checkbox"/>	Pdf	<input type="checkbox"/>	Impreso		
DIRECCION DE UBICACIÓN							
http://64.76.85.9:2314/S0921344913000554/1-s2.0-S0921344913000554-main.pdf?_tid=d73c9bfa-39c7-11e4-b5e6-0000aacb360&acdnat=1410449300_01a00d59e51e89179a8816116b3738b0							
DESCRIPCION DEL TEXTO							
<p>En esta investigación se realizó una evaluación del ciclo de vida completa de los pavimentos de asfalto incluyendo asfalto de mezcla caliente (HMA), mezcla de asfalto cálido de (WMA) con la adición de zeolitas sintéticas, y mezcla de asfalto con pavimento asfáltico recuperado (RAP). Se evaluaron los impactos ambientales asociados al consumo de energía y las emisiones al aire, así como otros impactos ambientales resultantes de la extracción y procesamiento de minerales, aglutinantes y aditivos químicos; producción de asfalto; transporte de materiales; pavimentación; el tráfico por carretera en el pavimento; uso de la tierra; el desmantelamiento de la vía al final de su vida útil y su eliminación en vertederos o reciclaje.</p> <p>Se llevaron a cabo simulaciones de Monte Carlo para tener en cuenta la variabilidad de los parámetros de entrada. Teniendo en cuenta todo el ciclo de vida, los impactos con la adición de zeolitas, eran casi iguales a los impactos de los pavimentos de HMA con el mismo contenido de RAP. La reducción en los impactos de WMA resultó de la disminución de la temperatura de</p>							

FICHA BIBLIOGRÁFICA							
REFERENCIA BIBLIOGRAFICA EN APA							
Dermatas, D., & Meng, X. (2003). Utilization of fly ash for stabilization solidification of heavy metal contaminated soils. Engineering Geology, 377-394.							
TÍTULO:	Utilization of fly ash for stabilization/solidification of heavy metal contaminated soils						No. Ficha
AUTORES:	Dimitris Dermatas, Xiaoguang Meng						5
TIPO DE DOCUMENTO							
<input type="checkbox"/> Libro		<input type="checkbox"/> Tesis		<input checked="" type="checkbox"/> Artículo			
<input type="checkbox"/> Encues		<input type="checkbox"/> Otro (especifica:					
PALABRAS CLAVE							
Cenizas volantes, estabilización/solidificación, suelo							
VALORACIÓN							
Adecuación	<input checked="" type="checkbox"/>	3		2		1	Valoración definitiva
Importancia	<input checked="" type="checkbox"/>	3		2		1	
TIPO DE COPIA O SOPORTE							
<input type="checkbox"/> Fotocopia		<input checked="" type="checkbox"/> Pdf		<input type="checkbox"/> Impreso			
DIRECCION DE UBICACIÓN							
http://64.76.85.9:2073/science/article/pii/S0013795203001054							
DESCRIPCION DEL TEXTO							
<p>En esta investigación se realizó para estudiar las cenizas volantes junto con cal viva (CaO) para inmovilizar el plomo, cromo hexavalente y trivalente presente en suelos arcillosos de arena contaminadas artificialmente. Se evaluó el grado de inmovilización de metales pesados usando el Procedimiento de Lixiviación Característico de Toxicidad (TCLP), así como experimentos de extracción controlada. Los resultados de la prueba de lixiviación, junto con difracción de rayos X (XRD), microscopía electrónica de barrido y de energía dispersiva de rayos X (SEM-EDX) se estudiaron para reconocer los mecanismos que sirven para la inmovilización de los metales pesados en estudio. Por último, la reutilización de las formas de residuos en aplicaciones de construcción también fue investigado por ensayos de resistencia a la compresión no confinada. Los resultados experimentales sugieren que el mecanismo de control para el plomo y la inmovilización de cromo hexavalente es la adsorción superficial, mientras que para el cromo trivalente es la precipitación de hidróxido. La adición de cal y cenizas volantes a los suelos</p>							62

FICHA BIBLIOGRÁFICA							
REFERENCIA BIBLIOGRAFICA EN APA							
Cai, Y., Shi, Y., Ng, C., & Tang, C. (2006). Effect of polypropylene fibre and lime admixture on engineering properties of clayey soil. Engineering Geology, 230-240.							
TÍTULO:	Effect of polypropylene fibre and lime admixture on engineering properties of clayey soil						No. Ficha
AUTORES:	Yi Cai, Bin Shi, Charles W.W. Ng, Chao-sheng Tang						12
TIPO DE DOCUMENTO							
<input type="checkbox"/>	Libro	<input type="checkbox"/>	Tesis	<input checked="" type="checkbox"/>	Artículo		
<input type="checkbox"/>	Encues	<input type="checkbox"/>	Otro (especifica:				
PALABRAS CLAVE							
Suelos, fibras de polipropileno, limos, análisis SEM, mejoramiento del suelo.							
VALORACIÓN							
Adecuación	<input checked="" type="checkbox"/>	3		2		1	Valoración definitiva
Importancia	<input checked="" type="checkbox"/>	3		2		1	
TIPO DE COPIA O SOPORTE							
<input type="checkbox"/>	Fotocopia	<input checked="" type="checkbox"/>	Pdf	<input type="checkbox"/>	Impreso		
DIRECCION DE UBICACIÓN							
http://64.76.85.9:2073/science/article/pii/S0013795206002092							
DESCRIPCION DEL TEXTO							
<p>En esta investigación se realizó con el fin de reducir la fragilidad del suelo estabilizado por la cal solamente, por medio de un estudio de una nueva propuesta de mezcla de fibra de polipropileno y cal para la mejora del suelo. Para investigar y comprender la influencia de la mezcla de fibra de polipropileno y la cal sobre las propiedades de ingeniería de un suelo arcilloso, nueve grupos de muestras de suelo tratado se prepararon y ensayaron en tres porcentajes diferentes de contenido de fibra (es decir, 0,05%, 0,15%, 0,25% en peso de la matriz del suelo) y tres porcentajes diferentes de cal (es decir, 2%, 5%, 8% en peso de la matriz del suelo). Estos especímenes tratados fueron sometidos a la compresión no confinada, de corte directo, la hinchazón y las pruebas de contracción. Se encontró que el contenido de fibras, contenido de cal y el curado tiene influencia significativa en las propiedades de ingeniería de la tierra tratada con fibra de cal. Basándose en el análisis SEM, se encontró que la presencia de fibra contribuyó a la interacción física entre la fibra y el suelo, mientras que el uso de la cal produce reacción química entre la cal y</p>							

8. BIBLIOGRAFÍA

- Agudelo Ospina, J. (2002). *Diseño geométrico de vías*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Ancade, Anter, & Ieca. (2008). *Manual de estabilización de suelos con cemento o cal*. Madrid.
- Asamblea General de las Naciones Unidas. (2002). *Proclamación de la Década de las Naciones Unidas de la Educación para el Desarrollo Sostenible*. Resolución 57/254.
- Astrup Jensen, A., Hoffman, L., T. Moller, B., & Schmidt, A. (1997). Life Cycle Assessment. *Environmental Issues Series*, 13-16.
- Ayres, R. (1995). Life Cycle Analysis: a critique. *Resources, conservation and recycling*, 199-223.
- Barry, P., Stott, D., & Turco, R. (1991). Organic polymers' effect on soil shear strength and detachment by single raindrops. *Soil Science Society of America Journal*, 799-804.
- Beleño, I. (11 de Diciembre de 2010). *un Periódico*. Obtenido de <http://www.unperiodico.unal.edu.co/dper/article/vias-frenan-competitividad-en-colombia.html>
- Bell, F. (1995). Cement stabilization and clay soils, with examples. *Environmental and Engineering Geoscience*, 139-151.
- Bishop, R., Mcalpin, B., & Jones, D. (1998). *STABILIZATION OF EARTH ROADS WITH WATER-BASED POLYMER EMULSIONS*. Africa.
- Cai, Y., Shi, Y., Ng, C., & Tang, C. (2006). Effect of polypropylene fibre and lime admixture on engineering properties of clayey soil. *Engineering Geology*, 230-240.
- Capuz Riso, S., & Gómez Navarro, T. (2002). *ECODISEÑO: Ingeniería del ciclo de vida para el desarrollo de productos sostenibles*. Valencia: Editorial UPV.
- Chacón Vargas, R. (2008). Historia ampliada y comentada del análisis de ciclo de vida (ACV). *Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería*, 37-70.
- Chen, L., & Lin, D. (2009). Stabilization treatment of soft subgrade soil by sewage sludge ash and cement. *Journal of Hazardous Materials*, 321-327.

- Consoli, F. (1993). Guidelines for life cycle assessment: a code of practice. *SETAC-Europa*.
- DANE. (2014). *Infraestructura Vial*. Obtenido de http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/construccion/AFOC/1_Infraestructura_vial.pdf
- Dermatas, D., & Meng, X. (2003). Utilization of fly ash for stabilization solidification of heavy metal contaminated soils. *Engineering Geology*, 377-394.
- Emerson. (s.f.). *Emerson Network Power*. Obtenido de <http://www.emersonnetworkpower.com/es-CALA/Products/PrecisionCooling/IndustrialCooling/Pages/Default.aspx>
- Escobar Toledo, C., Alegría, L.-c., & Ramírez, B. (2010). *aiméxico*. Obtenido de V CONGRESO NACIONAL DE LA ACADEMIA DE INGENIERÍA: http://academiadeingenieriademexico.mx/archivos/v_congreso/ahorro/carlos_escobar_toledo-uso_eficiente_de_energia.pdf
- Fullana, P., & Puig, R. (1997). *El análisis del ciclo de Vida*. Madrid.
- GMN. (2011). *LosAdhesivos.com*. Obtenido de <http://www.losadhesivos.com/definicion-de-polimero.html>
- Hoof Bart, Monroy N, & Saer A. (2008). *Producción más Limpia, Paradigma de gestión ambiental*.
- Hottel, T., Bilec, M., & Landis, A. (2013). Sustainability assessments of bio-based polymers. *Polymer Degradation and Stability*, 1989-1907.
- Hunt, R. (1995). LCA considerations of solid waste management alternatives for paper and plastics. *Resources, conservation and recycling*, 225-231.
- Hunt, R., & Franklin, W. (1996). Personal Reflection on the Origen and the Development of LCA in the USA. *LCA History*.
- Infraestructura, C. C. (2014). *Cámara Colombiana de Infraestructura*. Obtenido de http://issuu.com/camaracci/docs/bit__cora_de_la_infraestructura_jul/0
- INVIAS. (2012). Obtenido de <https://www.mintransporte.gov.co/>
- Islam, H., Jollands, M., & Setunge, S. (2015). Life cycle assessment and life cycle cost implication of residential buildings—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 129-140.

- ISO 14044. (2006). *International Standard in: Environmental Management - Life Cycle Assessment - Requirements and Guidelines*.
- ISO 15392. (2008).
- ISO 15392. (2008).
- Jofré, C., & Kraemer, C. (2004). *Manual de estabilización de suelos con cemento o cal*. Madrid: Instituto Español de cemento y sus aplicaciones (IECA).
- Kibert, C., & Waller, D. (1992). Recycling post-consumer polymers into construction materials. *Construction and Building Materials*, 67-75.
- Lewis, H., Gertzakis, J., Grant, T., Morelli, N., & Sweatman, A. (2001). Design + Environment. A Global Guide To Designing Greener Goods. *Greenleaf Publishing*.
- Liu, J., Shi, B., Huang, H., & Jiang, H. (2009). Improvement of water-stability of clay aggregates admixed with aqueous polymer soil stabilizers. *Catena*, 175-179.
- Liu, J., Shi, B., Jiang, H., Huang, H., Wang, G., & Kamai, T. (2011). Research on the stabilization treatment of clay slope topsoil by organic polymer soil stabilizer. *Engineering Geology*, 114-120.
- Marquez, G., Hurtado, J., & Velásquez, L. (2003). EL DESARROLLO SOSTENIBLE EN COLOMBIA. *Biocidades*.
- Martínez-llop Gutiérrez, R. (2008). *Investigación sobre el comportamiento de los distintos tipos de balasto ante la aplicación de los criterios de las diferentes normativas*. Madrid: UNIVERISDAD POLITÉCNICA DE MADRID.
- Mckindley, J., Thomas, H., Williams, K., & Reid, J. (2001). Chemical analysis of contaminated soil strengthened by the addition of lime. *Engineering Geology*, 181-192.
- Minsterio del Medio Ambiente. (1997). *Política Nacional de Producción más limpia*.
- MinTransporte. (25 de Abril de 2013). *Google*. Obtenido de <https://www.mintransporte.gov.co/descargar.php?idFile=10249>
- Newman, K., & Tingle, J. (2004). EMULSION POLYMERS FOR SOIL STABILIZATION. *Newman and Tingle*.
- Nwankow, K. (2001). *Polyacrylamide as a Soil Stabilizer for Erosion Control*. Wisconsin: Department of Transportation, Madison.

- Ouhadi, V., & Goodarzi, A. (2006). Assessment of the stability of a dispersive soil treated by alum. *Engineering Geology*, 91-101.
- Patiño, M. (1999). *Derecho Ambiental Colombiano*.
- Pérez, J. (2005). *La infraestructura del transporte vial y la movilización de carga en Colombia*.
- Peter, T., & Little, D. (2002). Review of stabilization of clays and expansive soils in pavements and lightly loaded structures—history, practice, and future. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 447-460.
- Quality of roads. (2013). *Foro Económico Mundial*. Obtenido de (http://www3.weforum.org/docs/TTCR/2013/TTCR_DataTables7_2013.pdf)
- Rebitzer, G., Ekcalle, T., Frishknecht, R., Hunkeler, D., Norris, G., & Rydberg, T. (2004). Life Cycle Assessment Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. *Environment International*, 701-720.
- Rodríguez, R., Castillo Mejía, A., & Castillo Mejía, H. (2005). *La ingeniería de los Suelos en las vías terrestres: carreteras, ferrocarriles y aeropistas*. México: Limusa.
- Romero, B. (2003). El análisis del ciclo de vida y la gestión ambiental. *Tendencias tecnológicas*, 91-97.
- Ruano López, D. (2002). *ESTABILIZACIÓN DE SUELOS COHESIVOS POR MEDIO DE ARENAS VOLVÁNICAS Y CAL VIVA*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Sampedro Rodríguez, Á., & Gallego Medina, J. (2004). De cal y carreteras. *Carreteras*.
- Sivakumar Babu, G., & Vasudevan, A. (2008). Use of coir fibers for improving the engineering properties of expansive soils. *J. Nat. Fibers*, 61-75.
- Triviño, C. (2008). *Seminario de Construcción Sostenible*. Medellín.
- Troxlerlabs. (s.f.). *Troxlerlabs*. Obtenido de (http://www.troxlerlabs.com/downloads/pdfs/4140/4140_brochure_spanish.pdf)
- UNE-EN-ISO 14044. (2006).
- UNE-EN-ISO 14044. (2009).

UNE-EN-ISO 21930. (2010).

Valdez Guzmán, C. (2008). *Estudio comparativo de estabilización de un suelo arcilloso altamente expansivo, utilizando un co-polimero multienzimático*. México: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Vivancos Bono, J. L. (s.f.). Análisis del ciclo de vida de productos y procesos industriales. En S. Capuz Rizo, T. Gómez Navarro, J. L. Vivancos Bono, R. Viñoles Cebolla, P. Ferrer Gisbert, R. López García, & M. J. Bastante Ceca, *ECODISEÑO Ingeniería del ciclo de vida para el desarrollo de productos sostenibles* (págs. 111-141). Valencia: UPV.

Wiki. (27 de Octubre de 2014). *Wikipedia*. Obtenido de http://es.wikipedia.org/wiki/Clasificaci%C3%B3n_de_suelos

XIANG FENG. (s.f.). *Dryingmachineschina*. Obtenido de <http://www.dryingmachineschina.es/2-4-mixing-granulator.html>

Zhang, M., Guo, H., El-Korchi, T., Zhang, G., & Tao, M. (2013). Experimental feasibility study of geopolymer as the next-generation soil stabilizer. *Construction and Building Materials*, 1468-1478.

Zhou, Y., & Watts, D. (1999). Current development of Slope Eco engineering principle and application in Europe and America. *Journal of Soil Water Conservation*, 79-83.

Zhu, Z., & Liu, S. (2008). Utilization of a new soil stabilizer for silt subgrade. *Engineering Geology*, 192-198.