

| | | | |
|---|------|----------------|---------------------------|
| Fecha de elaboración: 29.04.2021 | | | |
| Tipo de documento | TID: | Obra creación: | Proyecto investigación: X |
| Título: Análisis de la variación de los costos económicos y las ventajas ambientales, que tiene la implementación de pavimentos asfálticos reciclados en la construcción de la Vía Distribuidora del Sur en Envigado (Antioquia) | | | |
| Autor(es): Juana del Pilar Álvarez. 10206082 Natalia Acevedo Hoyos. 10206081 Sebastian Hinestroza Arango. 10206080 | | | |
| Tutor(es): Juan Felipe Gutiérrez | | | |
| Fecha de finalización: 18.04.2021 | | | |
| Temática: Pavimento reciclado, construcción de vías | | | |
| Tipo de investigación: Cualitativo, cuantitativo, inductivos y deductivo | | | |
| Resumen: El presente trabajo surge con la finalidad de fomentar la implementación de agregados reciclados en los proyectos constructivos que se están desarrollando en el departamento de Antioquia, siendo el uso de estos eficientes en cuanto a calidad y amigables con el medio ambiente. El objetivo del trabajo es mostrar el proceso constructivo implementando el reciclaje del pavimento caliente in situ, y evaluar las ventajas económicas y ambientales que tendría ejecutar el proyecto de construcción de la Vía Distribuidora del Sur en el municipio de Envigado (Antioquia). Las ventajas ambientales (cero gastos en disposición de residuos, disminución de la explotación de los recursos naturales) y económicos (bajos costos comparado con la construcción convencional), dado lo mencionado, los resultados obtenidos del análisis de la información son favorables al utilizar pavimento por método de reciclado. | | | |
| Palabras clave: Reciclaje de pavimento, impacto ambiental, reciclado in situ, construcción | | | |
| Planteamiento del problema: A la hora de adelantar una construcción se debe tener en cuenta la dimensión del problema de los residuos, y como es la relación de materias primas con respecto a las cantidades a ser construidas, así mismo como el tipo de infraestructura de vía que se requiere, la fabricación de materiales de construcción comporta el agotamiento de recursos no renovables a causa de la extracción ilimitada de materias primas y del consumo de recursos fósiles y el entorno natural se ve afectado por la emisión de contaminantes, así como por la deposición de residuos de todo tipo. Cuando se utiliza menos material, se paga menos por la disposición, se reduce la contaminación y el transporte, se ahorra energía y agua y se mantiene el material fuera de los vertederos, lo cual es muy ventajoso ya que en la mayoría de los países esa es la principal acción para deshacerse de los residuos y reducirlos, se alarga el tiempo de vida útil de los mismos. De esta manera, la reducción de los residuos puede ser considerada como la idea principal para un plan de manejo de residuos. Esa idea, debe comenzar con el proyecto mismo y es necesario que todos los que participan en el proyecto de construcción busquen soluciones ingeniosas para reducir la cantidad de materiales a utilizar y por consecuencia los residuos generados. | | | |

Todo lo anterior lleva a pensar que es muy importante librar una batalla frontal contra los desperdicios en la construcción. La gestión ambiental es pues una necesidad y una estrategia para la sostenibilidad de la economía de un país.

Para concluir este apartado señalamos la importancia de implementar medidas de mitigación de impacto referidas a la utilización de pavimentos asfálticos reciclados, muy útiles si se tiene en consideración que el reciclado de pavimentos asfálticos se realiza sobre materiales deteriorados que han perdido en gran medida sus propiedades iniciales, aunque en casos muy especiales puede actuarse también sobre materiales en condiciones de servicio para mejorar sus características.

Pregunta: ¿Cuáles son las ventajas económicas y ambientales comparativas entre el empleo de pavimento convencional y la utilización de pavimentos asfálticos reciclados obtenidos a partir de los residuos de construcción y demolición (RCD), en la construcción de la Vía Distribuidora del Sur?

Objetivos: Realizar un estudio que permita establecer los costos económicos y los impactos ambientales que representa la utilización de pavimento convencional, comparados con los producidos por la implementación de pavimentos asfálticos reciclados obtenidos a partir de los residuos de construcción y demolición (RCD), en la construcción de la Vía Distribuidora del Sur, ubicada en el municipio de Envigado (Antioquia).

Objetivos específicos:

- Estudiar el proceso ingenieril necesario para el uso de pavimentos asfálticos reciclados, respecto a los otros métodos tradicionales, en función de beneficios ambientales, económicos y técnicos.
- Comparar y analizar las diferencias en los costos de producción de pavimento convencional, con los producidos por la implementación de pavimentos asfálticos reciclados obtenidos a partir de los residuos de construcción y demolición (RCD).
- Contrastar los resultados del estudio de costos de producción de pavimento reciclado al proyecto: “Conexión vial Distribuidora Sur” entre Envigado y Sabaneta, en el departamento de Antioquia.
- Determinar y evaluar las ventajas ambientales que trae consigo el uso de pavimentos asfálticos reciclados.

Marco teórico:

El medio ambiente hoy por hoy es uno de los mayores afectados por las actividades de crecimiento económico que se desarrollan en el mundo, siendo estas afectaciones de carácter negativo para los recursos naturales y para garantizar que en el futuro se pueda tener un acceso a estos, siendo el camino el de usar los recursos naturales de manera más inteligente.

El desafío del desarrollo económico se basa en la implementación de medidas en especial para el área de la construcción, buscando una eficiencia energética en la ejecución de las actividades, una reducción en los residuos y un aumento en el uso del reciclaje, para así sinérgicamente reducir el uso de los recursos naturales de los cuales se habla, manteniendo el desarrollo socioeconómico y minimizando los impactos nocivos al ambiente.

El sistema productivo convencional de aglomerado puede ocasionar varios problemas sobre el ambiente. (pago 20, ver fig. 1). La extracción de los materiales conlleva a situaciones de deterioro de los recursos naturales, por lo que se motiva a que las

compañías direccionen sus esfuerzos a estudiar sus procesos, actividades, equipos, materias primas y materiales

La cantidad de asfalto que se va a utilizar es vital para estimar los costos y garantizar una excelente resistencia a los efectos del movimiento de vehículos y la acción del clima. (pág. 24) El tipo y espesor de una carpeta asfáltica se elige de acuerdo con el tránsito que va a transitar por ese camino. (ver fig. 2).

La implementación de carpetas asfálticas demanda grandes consumos de materias primas, energía y agua, los cuales generan un deterioro ambiental con el uso excesivo de los recursos naturales. La idea del pavimento reciclado es que se disminuya el consumo de las materias primas, evitando que los residuos vayan a los vertederos y todo el proceso de extracción que se requiere para obtenerlos.(pág. 25 y 26).

Método:

Para reducir el margen y error se buscan datos y estudios en revistas indexadas, reconocidas. Incorporando información reconocida durante este proceso para estimar que la información sea verídica. Se establece además una metodología de mejores prácticas en la recolección de información y la planificación de las actividades.(pág. 29).

Esta búsqueda de bibliografía es una guía para el proceso, siendo esta una forma de evaluar mejor el diagnóstico de viabilidad económica y ambiental y su posible aplicación en proyectos a nivel nacional.

Las decisiones sobre que metodología implementar se orientan según el caso de estudio y el problema de investigación, para así responder las preguntas planteadas en el desarrollo de la actividad.

La investigación debe lograrse de manera jerárquica, siendo los estudios experimentales la guía para aportar información precisa, seguida de estudios analíticos y finalmente observacionales.(pág. 30).

Se comparará con ayuda de la información recopilada, los parámetros de la técnica común de la imprimación con pavimento asfáltico de mezcla en caliente y la técnica de implementar pavimento reciclado que ha sido removido.(pág. 31)

Se evaluarán los insumos desde cada proceso a comparar, así como el presupuesto y las variables ambientales afectadas. Lo primero evaluado a partir de del análisis de los precios unitarios para cada proceso y las especificaciones técnicas, y lo segundo con la matriz de impactos ambientales por la metodología CONESA simplificada, generada para cada aspecto ambiental. (pág. 31-32).

Resultados, hallazgos u obra realizada:

La metodología empelada para la identificación de aspectos y valoración de impactos ambientales, utilizada para el proyecto es la de identificación (Acción / Factor), y se aplica a cada uno de los procesos constructivos (convencional y mediante reciclaje de pavimentos). Se observan las actividades de la matriz de impacto (ver pág. 41-42) que conciernen en este estudio, tales como la demolición de pavimento y el vaciado de la carpeta asfáltica. Concluye que ambas actividades tienen un alto impacto negativo a la contaminación del suelo. (pág. 43).

Los impactos ambientales que son más representativos al momento de realizar un proceso constructivo convencional, son la contaminación del suelo por disposición de escombros, incremento en los niveles de ruido, alteración en las características del suelo, modificaciones al paisaje y alteración en la cobertura vegetal. Estos impactos son significativos, pero cuando se evalúan en la matriz para el procedimiento de pavimento

reciclado, el único impacto que continua de estos es el de contaminación por disposición de residuos sólidos, por ende, se evidencia una disminución del impacto ambiental si se implementan metodologías de aprovechamiento de los residuos. (pág. 44).

Adicional a la matriz de aspectos e impactos ambientales se realiza un análisis comparativo de precios unitarios (pág. 47-48). En consecuencia, dado que el AU de los procedimientos representa el precio por m³ ejecutado del pavimento, se obtiene la cantidad de pavimento a instalar, conociendo que la vía distribuidora tiene 3,8 km de vía principal, 10,5 mts el ancho de la vía y 0,075 mts de espesor de pavimento, el total de pavimento son 2.993 m³, lo que representa un costo de \$ 2.517.792.600 ejecutando el procedimiento convencional y \$1.535.585.867 con procedimiento de pavimento reciclado. (pág. 48-49).

Conclusiones:

La construcción de vías por medio del pavimento reciclado brinda beneficios que mejoran los rendimientos, costos y preservación del medio ambiente. Esta práctica reduce el almacenamiento de los materiales fresados en botaderos autorizados y la utilización racional de los recursos naturales que deben ser explotados para extraer el material, es decir que habrá una disminución de la explotación de canteras.

Según la comparación de las matrices realizadas para evaluar los aspectos e impactos ambientales, se evidencia que para el proceso de reciclaje de pavimento in situ hay una disminución en la sumatoria del impacto por contaminación del suelo causado por la disposición de RCD, pasando de un impacto alto a bajo. Dentro de este beneficio se relaciona la disminución de la contaminación del suelo causada por vertimientos que pueda tener el material fresado, y la dinámica de la disposición final que se debe de tener para este material, evitando de esta manera transportes del material (evitando contaminación por emisiones y gasto de combustibles fósiles), y disposición del material en la cantera (vertimientos).

Así mismo se vio un cambio en la valoración del impacto para los cambios generados en el paisaje debido a la explotación de los recursos, esto teniendo en cuenta que la utilización de reciclados reduce en consumo del agregado natural, impidiendo así el uso del recurso, el uso de explosivos, y la extracción de la capa vegetal que es la que incide directamente en el cambio del paisaje. (pág. 50 -51).

Productos derivados:

Camacho, H. (2014). “ESTUDIO SOBRE PAVIMENTOS RECICLADOS COMO POSIBLE ALTERNATIVA ECONÓMICA Y AMBIENTAL EN LAS FUTURAS OBRAS DEL PAÍS”. Universidad Militar Nueva Granada.

Contreras Ortega, R. (2014). Comparación técnico-económica y ecológica del reciclado in-situ, empleando asfalto espumado, con métodos convencionales de mantenimiento periódico de pavimentos flexibles. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC). Disponible en <http://hdl.handle.net/10757/322174>

Análisis de la variación de los costos económicos y las ventajas ambientales, que tiene la implementación de pavimentos asfálticos reciclados en la construcción de la Vía Distribuidora del Sur en Envigado (Antioquia)

Juana del Pilar Álvarez Suárez
Cod.10206082

Natalia Acevedo Hoyos
Cod.10206081

Sebastián Hinestroza Arango
Cod.10206080

Corporación Universitaria Unitec
Escuela de Ingeniería
Especialización en Gerencia de Proyectos

Bogotá, Distrito Capital
19 de abril de 2021

Análisis de la Variación de los Costos Económicos y las Ventajas Ambientales, que Tiene la Implementación de Pavimentos Asfálticos Reciclados en la Construcción de la Vía Distribuidora del sur en Envigado (Antioquia)

Juana del Pilar Álvarez Suárez

Cod.10206082

Natalia Acevedo Hoyos

Cod.10206081

Sebastián Hinestroza Arango

Cod.10206080

Juan Felipe Gutiérrez

Docente

Corporación Universitaria Unitec

Escuela de Ingeniería

Especialización en Gerencia de Proyectos

Bogotá, Distrito Capital

19 de abril de 2021

Tabla de Contenido

| | |
|--|----|
| INTRODUCCIÓN | 6 |
| JUSTIFICACIÓN | 7 |
| PRELIMINARES | 8 |
| PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 8 |
| PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN | 13 |
| OBJETIVOS DEL PROYECTO | 13 |
| OBJETIVO GENERAL | 13 |
| OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 14 |
| HIPOTESIS..... | 14 |
| HIPOTESIS ALTERNA (H_i) | 14 |
| HIPOTESIS NULA (H_0)..... | 14 |
| HIPOTESIS ESPECIFICA 1 | 15 |
| HIPOTESIS ALTERNA (H_{i1}) | 15 |
| HIPOTESIS NULA (H_{01}) | 15 |
| HIPOTESIS ESPECIFICA 2..... | 15 |
| HIPOTESIS ALTERNA (H_{i2}) | 15 |
| HIPOTESIS NULA (H_{02}) | 15 |
| HIPOTESIS ESPECIFICA 3 | 15 |
| HIPOTESIS ALTERNA (H_{i3}) | 15 |
| HIPOTESIS NULA (H_{03}) | 15 |
| MARCO DE REFERENCIA | 15 |
| ANTECEDENTES: Implementación de pavimento asfaltico reciclado..... | 15 |
| MARCO TEORICO..... | 19 |
| FACTORES MEDIO AMBIENTALES | 19 |
| PROCESOS PRODUCTIVOS Y AMBIENTE..... | 20 |
| GENERALIDADES DEL MATERIAL ASFALTICO..... | 22 |
| DESCRIPCIÓN DE LA CARPETA ASFÁLTICA..... | 24 |
| PROCESO DE IMPRIMACIÓN DE CARPETA ASFALTICA..... | 25 |
| PAVIMENTO RECICLADO | 26 |
| CRONOGRAMA..... | 26 |
| MARCO METODOLÓGICO..... | 28 |

| | |
|---|----|
| FASES PARA LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO | 31 |
| Fase de investigación: | 31 |
| Fase de análisis: | 31 |
| Fase de comparación..... | 32 |
| POBLACIÓN Y MUESTRA..... | 32 |
| INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN..... | 34 |
| Método de Evaluación de Impactos: Matriz de valoración..... | 34 |
| RESULTADOS..... | 34 |
| Especificaciones técnicas de pavimentación:..... | 34 |
| Mezclas asfálticas en caliente | 35 |
| EVALUACIÓN DE IMPACTOS PARA CADA UNO DE LOS PROCESOS CONSTRUCTIVOS..... | 38 |
| Análisis de resultados de la matriz de aspectos e impactos ambientales..... | 45 |
| COMPARATIVO DE PRECIOS ENTRE UN PAVIMENTO CONVENCIONAL Y UN ASFALTO RECICLADO..... | 46 |
| DISCUSIONES..... | 49 |
| Discusión de la hipótesis general | 49 |
| Discusión de la hipótesis específica 1 | 50 |
| Discusión de la hipótesis específica 2..... | 50 |
| Discusión de la hipótesis específica 3..... | 50 |
| CONCLUSIONES | 50 |
| Referencias..... | 52 |

Tabla de figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1. Ciclo de vida. (Butista, 2018)..... | 20 |
| Figura 2. Proceso de producción de mezcla asfáltica..... | 24 |
| Figura 3. Mapa ubicación del proyecto..... | 33 |
| Figura 4. Diseño de infraestructura del proyecto. | 33 |
| Figura 5. Proceso de reciclaje de pavimento..... | 38 |
| Figura 6. PARÁMETROS PARA LA VALORACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES DEL PROYECTO | 39 |

Índice de tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Cronograma para la ejecución del proyecto..... | 26 |
| Tabla 2. Metodología de evaluación..... | 40 |
| Tabla 3. <i>Matriz de aspectos e impactos ambientales aplicada al método convencional. Ver anexo 1.....</i> | 41 |
| Tabla 4. Acercamiento matriz..... | 42 |
| Tabla 5. Matriz de aspectos e impactos ambientales aplicada al método convencional. Ver anexo 1..... | 44 |
| Tabla 6. Acercamiento a matriz para procedimiento de pavimento reciclado | 45 |
| Tabla 7. APU del SUMINISTRO, TRANSPORTE, COLOCACIÓN Y COMPACTACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MDC-25, DE ALTO MÓDULO, NORMA INVÍAS 2013. INCLUYE TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA COLOCACIÓN Y FUNCIONAMIENTO | 47 |
| Tabla 8. SUMINISTRO, TRANSPORTE, COLOCACIÓN Y COMPACTACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CON PAVIMENTO RECICLADO IN SITU, NORMA INVÍAS 2013. INCLUYE TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA COLOCACIÓN Y FUNCIONAMIENTO. | 48 |

RESUMEN

El presente trabajo surge con la finalidad de fomentar la implementación de agregados reciclados en los proyectos constructivos que se están desarrollando en el departamento de Antioquia, siendo el uso de estos eficientes en cuanto a calidad y amigables con el medio ambiente.

En los procesos constructivos la manera más común de obtener los materiales es explotando al máximo los recursos naturales, y pocas veces se piensa en la reutilización de los materiales y procesos de reciclado de este tipo de residuo.

El objetivo del trabajo es mostrar el proceso constructivo implementando el reciclaje del pavimento caliente in situ, y evaluar las ventajas económicas y ambientales que tendría ejecutar el proyecto de construcción de la Vía Distribuidora del Sur en el municipio de Envigado (Antioquia).

Las ventajas ambientales (cero gastos en disposición de residuos, disminución de la explotación de los recursos naturales) y económicos (bajos costos comparado con la construcción convencional), dado lo mencionado, los resultados obtenidos del análisis de la información son favorables al utilizar pavimento por método de reciclado.

Palabras clave: Reciclaje de pavimento, impacto ambiental, reciclado in situ, construcción

INTRODUCCIÓN

La construcción en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá ha incrementado en los últimos años y se constituye en un fuerte de desarrollo económico que busca innovar y transformarse, para presentar soluciones a nivel estructural, social y ambiental. La alta demanda constructiva, hace que proporcionalmente aumente la demanda de utilización de materiales y a su vez se genere un mayor volumen de residuos de los mismos. A raíz de esto se llega a la búsqueda de un equilibrio a través de la construcción sostenible, que nace tras el reconocimiento de los impactos sobre el ambiente, generados por las actividades antropológicas. Este tipo de construcción lleva no solo a pensar en beneficios ambientales, sino también como una opción innovadora en el momento de reducción de costos en la ejecución del proyecto.

El proyecto de Conexión Vial Distribuidora Sur, inicialmente pretende analizar los costos de la implementación de pavimentos reciclados en sus procesos constructivos, a partir de la comparación entre los costos de pavimento convencional y cómo cambian estos valores cuando se implementan fuentes reciclables. A su vez, el sector de la construcción civil es una de las grandes fuentes de generación de residuos sólidos en el Área Metropolitana del Valle de Aburra en Antioquia, trayendo en consecuencia un impacto significativo sobre el medio ambiente. Este

impacto se ve reflejado desde la extracción de materias primas en canteras, el acarreo de materiales, los procesos constructivos y la disposición final de los residuos que se generan en obra, trayendo consigo graves afectaciones a nivel social, ambiental y económico.

Reciclar el pavimento es una alternativa con grandes ventajas en múltiples aspectos, aunque es un concepto que se viene desarrollando en nuestro país de forma reciente, las ventajas se despliegan en términos del medio ambiente, ya que disminuye el impacto ambiental sobre los recursos naturales y promueve el cumplimiento de la Resolución 472 de 2017 con respecto al reciclaje de los residuos de construcción y demolición (Merino, 2002), además ventajas económicas y técnicas, analizando el método de reutilización de material, las condiciones constructivas de la vía y el cumplimiento de las normas nacionales de construcción (INVIAS, 2012). Otro mérito que se adiciona a esta recuperación, es la disponibilidad del recurso debido a la reutilización de materiales existentes.

En este marco, se realizará un estudio que permita establecer los costos económicos y los impactos ambientales que representa la utilización de pavimento convencional, comparados con los producidos por la implementación de pavimentos asfálticos reciclados obtenidos a partir de los residuos de construcción y demolición (RCD), en la construcción de la Vía Distribuidora del Sur, ubicada en el municipio de Envigado (Antioquia), enfatizando el estudio en las ventajas ambientales y los procesos ingenieriles necesarios para la implementación del uso del pavimento asfáltico reciclado en la citada obra.

JUSTIFICACIÓN

Las obras civiles representan no solo una suma importante de inversión, sino también se visualiza negativamente sobre el ambiente, generando impactos ambientales irreversibles. Los pavimentos convencionales traen altos costos debido al proceso de exploración, explotación, transporte y procesos que se requieren para llegar al pavimento tradicional, y acarrear un gasto del recurso natural proveniente de las canteras de extracción. Esta situación reclama el estudio sobre posibles medidas de mitigación de dichos impactos principalmente a nivel ambiental y social.

En términos de movilidad, la Vía Distribuidora, por ser una obra de gran magnitud e importancia para el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, sostiene un mayor impacto ambiental, derivado del alto volumen de extracción de materiales de cantera que implica además grandes costos de ejecución en sus actividades de obra. Por esto, es importante evaluar la posibilidad de implementar pavimentos reciclados que permitan abaratar los costos de ejecución de forma

responsable, y disminuir la cantidad de materiales de cantera utilizados, manteniendo las resistencias exigidas por la normatividad nacional de construcción de vías.

Además, este estudio permite generar confiabilidad de la inversión ganada con el proceso de reciclaje, logra ser veraz en temas constructivos y busca igualar la calidad de los materiales procedentes de las canteras con los reciclados, sin comprometer la vida útil del proyecto y garantizando que la vía así construida cumpla con su objetivo funcional, con costos menores asociados a los pavimentos tradicionales, promoviendo a futuro que las obras nacionales implementen en sus procesos constructivos opciones sostenibles, continuando con el ideal de satisfacer necesidades de infraestructura y desarrollo de forma equilibrada con la sociedad y el medio ambiente.

Para la empresa constructora, identificar otro mecanismo constructivo que mitigue los citados impactos es de gran importancia para su desarrollo y consolidación, logrando aumentar su ganancia y responder a su compromiso social con el ambiente gracias a la implementación del uso de materiales reciclables. Esta toma de medidas constructivas correctivas, hará además que la empresa sea líder y que motive a otras empresas de construcción y pavimento a aplicar medidas similares de disminución del impacto ambiental, con lo cual se beneficiará a toda la población del Valle de Aburrá que verá mejoradas las condiciones ambientales de su hábitat.

Reciclar el pavimento es una alternativa que permite a la empresa el cumplimiento normativo ya que disminuye el impacto ambiental sobre los recursos naturales y promueve el cumplimiento de la Resolución 472 de 2017 con respecto al reciclaje de los residuos de construcción y demolición (RCD) y, de las normas nacionales de construcción (INVIAS, 2012).

Este proyecto busca, en resumen, mejorar la calidad de vida de los habitantes de la zona de impacto, bajando los costos de producción y haciendo más rentable la obra para beneficio de la empresa constructora y el ambiente.

PRELIMINARES

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Según la US Green Building Council, la construcción civil es una de las grandes fuentes de generación de residuos sólidos de construcción y demolición (RCD), (Dania, 2014). Estos residuos impactan negativamente el medio ambiente y traen consigo aumento de los costos de construcción y graves afectaciones a nivel social, ambiental y económico. Buscando una salida, se requiere un análisis comparativo entre los costos de pavimento convencional y cómo cambian

estos valores cuando se implementan los pavimentos asfálticos reciclados obtenidos a partir de los residuos de construcción y demolición (RCD).

A la hora de adelantar una construcción se debe tener en cuenta la dimensión del problema de los residuos, y como es la relación de materias primas con respecto a las cantidades a ser construidas, así mismo la cantidad de energía asociada a la fabricación de los materiales que componen una vía puede ascender dependiendo del periodo de ejecución, el tipo de infraestructura de vía que se requiere, así como las infraestructuras necesarias para favorecer la accesibilidad, ocupan y transforman el medio en el que se disponen; la fabricación de materiales de construcción comporta el agotamiento de recursos no renovables a causa de la extracción ilimitada de materias primas y del consumo de recursos fósiles y el entorno natural se ve afectado por la emisión de contaminantes, así como por la deposición de residuos de todo tipo.

La industria de la construcción y demolición es el sector que más volumen de residuos genera, siendo responsable de la producción de más de 1 tonelada de residuos por habitante y año. (Bautista, 2018).

Los residuos de las obras de construcción pueden tener diferentes orígenes: la propia puesta en obra, el transporte interno desde la zona de acopio hasta el lugar específico para su aplicación, unas condiciones de almacenaje inadecuadas, embalajes que se convierten automáticamente en residuos, la manipulación, los recortes para ajustarse a la geometría, etc.

El impacto asociado a los residuos de construcción está relacionado con: los vertidos incontrolados, los vertederos autorizados, sobre todo si en ellos no se lleva a cabo una gestión correcta, el transporte de los residuos al vertedero y a los centros de valorización, la obtención de nuevas materias primas necesarias por no haber reutilizado los residuos que van a parar al vertedero.

La gestión de los materiales es uno de los aspectos más importantes a tomar en cuenta por parte de los actores involucrados en el proceso de desarrollo constructivo, donde se debe garantizar un uso eficiente, lo que dará como resultado la disminución de residuos durante el proceso de ejecución de la obra. Por ello se requiere tomar medidas estratégicas y sostenibles dentro del desarrollo de obras civiles. Estas acciones estratégicas planteadas son de fácil manejo y comprensión, y conducen a favorecer al constructor y a la sociedad en general, a fomentar el reciclaje y aprovechamiento de los residuos, y a establecer un desarrollo territorial sostenible. Así mismo, a minimizar los impactos ambientales en el desarrollo de las diferentes etapas del proceso

constructivo, dando control adecuado de los residuos, conduciéndolos a la disposición final acorde con la normativa estipulada por el estado colombiano y estableciendo relación entre el desarrollo y el ambiente, con un balance entre el uso sostenible de los materiales, el desarrollo económico y el bienestar social.

Se consideran residuos de construcción y demolición aquellos que se generan en el entorno urbano y no se encuentran dentro de los comúnmente conocidos como Residuos Sólidos Urbanos (residuos domiciliarios y comerciales), ya que su composición es cuantitativa y cualitativamente distinta. Se trata de residuos, básicamente inertes, constituidos por: tierras y áridos mezclados, piedras, restos de hormigón, restos de pavimentos asfálticos, materiales refractarios, ladrillos, cristal, plásticos, yesos, maderas, etc. La generación de estos residuos suele darse en las actividades de descapotes, excavaciones, explanaciones, demoliciones, levantamiento de estructuras y obra negra, instalaciones, obra gris, acabados, limpieza en áreas de trabajo y almacenamiento.

Reducir la generación de residuos proporciona el más grande beneficio ambiental. Cuando se utiliza menos material, se paga menos por la disposición, se reduce la contaminación y el transporte, se ahorra energía y agua y se mantiene el material fuera de los vertederos, lo cual es muy ventajoso ya que en la mayoría de los países esa es la principal acción para deshacerse de los residuos y reducirlos, se alarga el tiempo de vida útil de los mismos. De esta manera, la reducción de los residuos puede ser considerada como la idea principal para un plan de manejo de residuos. Esa idea, debe comenzar con el proyecto mismo y es necesario que todos los que participan en el proyecto de construcción busquen soluciones ingeniosas para reducir la cantidad de materiales a utilizar y por consecuencia los residuos generados. Entre las posibles acciones se encuentran el diseño de secciones mecánicamente más eficaces, la utilización de placas delgadas y ligeras, y la disminución de la cantidad de medios auxiliares (andamios, encofrados, maquinarias, etc.). La industria de la construcción ha creado varias tecnologías alternativas en lo que a la producción de residuos se refiere, como por ejemplo elementos prefabricados de hormigón o estructuras metálicas prefabricadas.

Hoy por hoy se reconocen altos costes ambientales de construcción durante la fase de ejecución de una obra: Ruidos de maquinaria: excavadoras, camiones, grúas, maquinaria rompedora y cortadora, señalizaciones acústicas continuas, etc.; Emisión de partículas: excavación, manipulación de áridos y conglomerantes, corte, polvo por tránsito de maquinaria, descargas de materiales y residuos, etc.; Emisión de gases por maquinaria, vehículos, disolventes,

polímeros proyectados, etc.; Lodos: procedentes de excavación, lavado de materiales y maquinaria, etc.; Consumos de energía e incidencia ambiental directa.

Respecto de este último impacto es necesario tener en cuenta que la mitad de los materiales empleados en la industria de la Construcción proceden de la corteza terrestre, produciendo anualmente millones de toneladas de residuos de la construcción y demolición (RCD), es decir, más de una cuarta parte de todos los residuos generados. Este volumen de RCD aumenta constantemente, siendo su naturaleza cada vez más compleja a medida que se diversifican los materiales utilizados. Este hecho limita las posibilidades de reutilización y reciclado de los residuos, que en la actualidad es tan solo cercana al 5% y las prioridades de reciclaje, reutilización y recuperación de materiales, son casi nulas, frente a la tendencia tradicional de la extracción de materias naturales. Se puede calcular que el sector de la construcción es responsable del 50% de los recursos naturales empleados, del 40% de la energía consumida (incluyendo la energía en uso) y del 50% del total de los residuos generados.

Se hace necesario reconsiderar la preocupante situación de crisis ambiental, buscando la utilización racional de materiales que cumplan sus funciones sin menoscabo del medio ambiente.

Los materiales de construcción inciden en el medio ambiente desde la extracción y procesado de materias primas, hasta su tratamiento como residuo. La extracción de rocas y minerales industriales se lleva a cabo a través de la minería a cielo abierto, en sus dos modalidades:

las canteras y las graveras que producen modificación topográfica, pérdida de suelo, contaminación atmosférica y acústica. Del proceso de producción o fabricación de los materiales de construcción se deriva gran cantidad de materiales pulverulentos, exceso de consumo de energía, emisiones de CO₂ a la atmósfera, polvo en suspensión, ruidos y vibraciones, vertidos líquidos al agua y residuos, producción de contaminantes y toxinas (gases como ozono y radón, monóxido de carbono y compuestos orgánicos volátiles como PVC). Además, algunos residuos tipo escombros suelen contener proporciones de amianto, fibras minerales o disolventes y aditivos de hormigón. Estos escombros suelen trasladarse a vertederos, que producen un gran impacto visual y paisajístico y el despilfarro de materias primas.

La industria de la construcción incluye varias fuentes de contaminación que generan distintos impactos ambientales y que modifican los ecosistemas, es decir, el suelo, el aire y el agua:

El suelo presenta alteración fundamentalmente por los residuos, sólidos, líquidos y/o peligrosos, generados en la industria y que están asociados a actividades de desmonte, limpieza,

descapote, excavaciones, demoliciones, obras hidráulicas y construcción de vías. El vertido de desechos y escombros de la construcción tiene numerosos efectos negativos tales como contaminación, utilización excesiva de materiales con la consecuente pérdida de recursos naturales, degradación de la calidad del paisaje y alteración de drenajes naturales, despilfarro de material, mano de obra y transporte y elevación de los costos finales de construcción.

En el curso final de la vida útil de la construcción, todos los materiales utilizados a menudo se convierten en escombros, es decir, que grandes cantidades (50%) se presentan en forma de materiales de desecho.

El aire se altera por el polvo, el ruido, las emisiones de CO₂ como consecuencia del uso de combustibles fósiles, minerales, realización de excavaciones, corte de taludes y operación de máquinas y herramientas. Los combustibles fósiles (carbón, gas y petróleo) al ser quemados liberan dióxido de carbono provocando el efecto invernadero. El sector de construcción consume hasta un 60% de todas las materias primas extraídas de la tierra. Por otra parte, se genera contaminación por el ruido de la operación de máquinas y equipos utilizados en actividades de excavación, apertura de vías, transporte y descargue de materiales.

La utilización en la construcción del agua está asociada a los movimientos de tierra, excavaciones y eliminación de la cubierta vegetal, generando así alteración de los cuerpos de agua, que en ocasiones son atravesados por la construcción de vías. El agua de lavado de las obras de construcción contiene una cantidad considerable de sólidos suspendidos, hecho que altera los sistemas de alcantarillado y plantas de tratamiento

Por otra parte, la construcción produce igualmente impactos en la flora y la fauna. Puede dañar la vegetación en el sitio y en sus alrededores, dadas las actividades de compactación del suelo, aumento en el nivel del suelo, apertura de zanjas y trincheras, la remoción del suelo superficial y pérdida o daño de raíces y producir erosión. El polvo y la arena pueden generar destrucción celular y bloqueo de la fotosíntesis. Los metales pesados tienen relación con el polvo de las carreteras, la germinación de semillas y el crecimiento de la raíz. Los gases e hidrocarburos generados por la combustión de los vehículos alteran el crecimiento de las plantas.

En cuanto a la fauna se genera daño al hábitat y muerte de animales y migración de especies.

Además de lo señalado durante la construcción pueden generarse impactos ambientales negativos en el medio socioeconómico y cultural en aspectos como: 1) Movilidad, libertad y

facilidad de movimiento y acceso al territorio. 2) Fomento del equilibrio territorial, del desarrollo social y personal, de las zonas menos favorecidas. 3) Productividad, bienes y servicios suficientes y accesibles en todas las capas sociales. 4) Recreo, actividades culturales, deportivas o de diversión. 5) Confortabilidad y servicios.

También se produce contaminación atmosférica por las actividades de remoción de escombros, excavaciones, tránsito de vehículos, corte de taludes, funcionamiento de maquinaria

Todo lo anterior lleva a pensar que es muy importante librar una batalla frontal contra los desperdicios en la construcción. La gestión ambiental es pues una necesidad y una estrategia para la sostenibilidad de la economía de un país.

Para concluir este apartado señalamos la importancia de implementar medidas de mitigación de impacto referidas a la utilización de pavimentos asfálticos reciclados, muy útiles si se tiene en consideración que el reciclado de pavimentos asfálticos se realiza sobre materiales deteriorados que han perdido en gran medida sus propiedades iniciales, aunque en casos muy especiales puede actuarse también sobre materiales en condiciones de servicio para mejorar sus características.

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuáles son las ventajas económicas y ambientales comparativas entre el empleo de pavimento convencional y la utilización de pavimentos asfálticos reciclados obtenidos a partir de los residuos de construcción y demolición (RCD), en la construcción de la Vía Distribuidora del Sur?

OBJETIVOS DEL PROYECTO

OBJETIVO GENERAL

Realizar un estudio que permita establecer los costos económicos y los impactos ambientales que representa la utilización de pavimento convencional, comparados con los producidos por la implementación de pavimentos asfálticos reciclados obtenidos a partir de los residuos de construcción y demolición (RCD), en la construcción de la Vía Distribuidora del Sur, ubicada en el municipio de Envigado (Antioquia).

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar el proceso ingenieril necesario para el uso de pavimentos asfálticos reciclados, respecto a los otros métodos tradicionales, en función de beneficios ambientales, económicos y técnicos.
- Comparar y analizar las diferencias en los costos de producción de pavimento convencional, con los producidos por la implementación de pavimentos asfálticos reciclados obtenidos a partir de los residuos de construcción y demolición (RCD).
- Contrastar los resultados del estudio de costos de producción de pavimento reciclado al proyecto: “Conexión vial Distribuidora Sur” entre Envigado y Sabaneta, en el departamento de Antioquia.
- Determinar y evaluar las ventajas ambientales que trae consigo el uso de pavimentos asfálticos reciclados.

HIPOTESIS

Implementando técnicas de reciclaje de pavimento, procedente de materiales provenientes del fresado o demolición de pavimentos existentes en procesos constructivos en desarrollo, se genera un material a bajo costo y que cumple teniendo similitudes con las características técnicas convencionales, de este modo se obtiene un beneficio técnico, económico y ambiental.

HIPOTESIS ALTERNA (H_i)

El aprovechamiento del pavimento asfáltico reciclado es una alternativa viable, que logra características similares a los elaborados convencionalmente con productos vírgenes, siendo además económico y sustentable.

HIPOTESIS NULA (H₀)

El aprovechamiento del pavimento asfáltico reciclado no es una alternativa viable, y no logra características similares a los elaborados convencionalmente con productos vírgenes, siendo además menos económico y poco sustentable.

HIPOTESIS ESPECIFICA 1**HIPOTESIS ALTERNA (H_{1i})**

La implementación de reciclaje de pavimentos en los procesos constructivos genera disminución en los costes económicos.

HIPOTESIS NULA (H₀₁)

La implementación de reciclaje de pavimentos en los procesos constructivos no genera disminución en los costes económicos.

HIPOTESIS ESPECIFICA 2**HIPOTESIS ALTERNA (H₂)**

El uso de material reciclado como parte de la mezcla a implementar en la carpeta asfáltica nueva, cumple características técnicas similares que los materiales vírgenes.

HIPOTESIS NULA (H₀₂)

El uso de material reciclado como parte de la mezcla a implementar en la carpeta asfáltica nueva, no cumple características técnicas similares que los materiales vírgenes.

HIPOTESIS ESPECIFICA 3**HIPOTESIS ALTERNA (H₃)**

La incorporación de técnicas de reciclaje de pavimento en las actividades constructivas genera un menor grado de impacto ambiental.

HIPOTESIS NULA (H₀₃)

La incorporación de técnicas de reciclaje de pavimento en las actividades constructivas no genera un menor grado de impacto ambiental.

MARCO DE REFERENCIA**ANTECEDENTES: Implementación de pavimento asfáltico reciclado**

En los esfuerzos por desempeñar un impacto en el desarrollo de la infraestructura del país, necesariamente enfocado en la construcción de estructuras de intercomunicación como puentes y vías, el departamento de Antioquia en su búsqueda por el logro de una mayor ventaja comparativa, busca aprovechar sus competitividad en cuando a desarrollo a nivel nacional, siendo un foco en los ejes viales del país, para que este sea un paso obligatorio para las principales ciudades capitales, siendo un camino más corto y de conexión entre la región Caribe y el Urabá (Correa, 2011).

La dinámica de las vías arteriales comienza su auge cuando se reconoce la importancia como vías de distribución intermodal y se les incluye en la ordenación del territorio. Pero esto no siempre fue así, en un principio el concepto se hacía confuso, la normativa legal era vaga, los procesos constructivos primarios y la disparidad de criterios con respecto a su financiación era compleja.

La autopista se define como “una vía de circulación de automóviles y vehículos terrestres de carga, es rápida y segura y admite un volumen de tráfico considerable” (EcuRed, 2020). La construcción de las autopistas marca un foco de desarrollo del país, en 1890 se construye el primer pavimento en Colombia con una serie de inconformidades debido a las técnicas de obtención del asfalto y la implementación de los procesos constructivos. Para 1910 la Asamblea Nacional, ordena la construcción de caminos de herradura pavimentados, es decir que las carreteras actuales del país siguen caminos coloniales de herradura, que usaban los indígenas como trochas y rutas de movilidad. Esta ordenanza se ejecuta principalmente en Cundinamarca y Boyacá, para unir la capital con las fronteras, los puertos y algunos centros estratégicos, y para comunicar territorios de colonización con el interior del país. Este primer paso, logra que para 1930 se tengan leyes sobre las carreteras, pero sin incluir procesos constructivos favorables y planes estratégicos que garanticen vías seguras, de conexión y que realmente presten los servicios mencionados y garanticen la movilidad de los vehículos importados de la época. (Cipriano, 2020)

Para 1929 se construye la primera vía usando concreto asfáltico, una estructura que se apoya sobre la subrasante y está conformada por un conjunto de capas granulares y una capa de rodadura. (Mancera, 2017) , ganando tecnificación a partir de esta construcción y llevando el pavimento a una alta valorización.

En el año 1997 ya se tenían 11287 km pavimentados en el país, (Baquero, 2014), en las cuales se hacía transporte de carga por medio de carros y podía promoverse el comercio entre ciudades, creciendo la agricultura y otros sectores económicos. Esta promoción de la construcción de carreteras se logra debido a que la sociedad veía insuficientes las vías de transporte existentes, por ende, consideraron la necesidad de reconstruir las vías de herradura y mejorar las existentes, para evitar problemas en la movilización y lograr mayor provecho en el sector motorizado. A partir del auge del uso de vías pavimentadas, se comenzaron a visualizar proyectos de mayor envergadura tales como aeropuertos internacionales, vías arteriales, túneles,

conexiones viales de importancia nacional, puentes y vías de acceso a poblaciones aisladas. A partir de esto se afianzan las concesiones viales y los pavimentos asfálticos se imponen como la recurso ante la búsqueda de competitividad en temas de construcción de vías, abarcando una amplia necesidad de explotación del recurso natural para suministrar la materia prima que la conforma (base, sub base, áridos, finos, hidrocarburos). (Calderon, 2011).

El pavimento asfáltico llega a Colombia ganando fuerza sinérgicamente, pero desde la década de los 70 en los Estados Unidos, ya se implementaba con éxito logrando grandes beneficios económicos una vez se implementaban las actividades constructivas, dejando a un lado el hecho de ser costosos en comparación con los materiales convencionales como lo era el agregado fino. Inicialmente el diseño del pavimento soporto algunos problemas, como el tipo de mezcla con agregados que se usarían para soportar el tránsito pesado, pero con neumáticos delgados, por lo que las mezclas contaban con agregados de tamaño pequeño, siendo poco útiles a futuro con la llegada de neumáticos gruesos, lo cual acortaría la vía útil de las carreteras construidas en este formato. Las investigaciones continuaron, y se llegó a destacar la importancia de la granulometría de los agregados en las mezclas asfálticas, la estructura de los agregados y el asfalto y finalmente su distribución en la mezcla. Todos estos factores fueron investigados para conocer el comportamiento de las carpetas asfálticas, las características hidráulicas, la capacidad de carga y durabilidad, todo esto con el fin de garantizar a futuro vías en excelente estado, que pudieran cumplir con los objetivos de movilidad del país y que actualmente serán las herramientas que proporcionaran la viabilidad del reciclaje de pavimentos para la construcción de este tipo de infraestructura física. (Hernández, 2001).

Los pavimentos como se les conoce y los cuales nacieron a partir de las investigaciones impulsadas por los Estados Unidos, son estructuras de capas con espesores finos, construidos sobre la superficie final del terreno compactado con base granular, y constituyen una gran variedad que se deriva de los diferentes materiales: pavimentos pétreos (hormigón, piedras naturales, materiales de cantera compactados); pavimentos orgánicos como la madera; pavimentos livianos (ecológicamente sostenibles); Ultra de alto desempeño (reemplaza el acero); concreto reciclado (propiedades similares a las naturales); mixto (aglomerado asfáltico); sintéticos (plástico). (Silva, 2010). En Colombia se ha adoptado con mayor éxito el pavimento asfáltico, debido a que puede resistir por largo tiempo tráfico vehicular y según sus condiciones de diseño y construcción puede alcanzar una vida útil extensa, antes de presentar fallas en su

estructura. Este pavimento se caracteriza por tener un acabado liso y continuo llamado carpeta de rodadura, y estar conformado por diferentes capas que resultan ser de alta resistencia. La composición del pavimento asfáltico constituye una carpeta asfáltica de agregados minerales (94-95%) y componentes asfálticos derivados del petróleo (5-6%) (Silva, 2010)

Como se observa hay varios tipos de pavimento que pueden ser usados, dependiendo de las necesidades que se tengan en el proyecto, en este caso pavimento flexible, analizando la posibilidad de incluir pavimentos reciclados disgregando el material proveniente de la demolición de concreto, su mezcla con aditivos ligantes y agua, el estudio “El concreto reciclado de Escombros como Generador de Hábitats Urbanos Sostenibles” del Arquitecto Carlos Mauricio Bedoya, evaluando como la demanda global a marcado la necesidad de reciclar los de RCD como practica para el ahorro y la conservación de los recursos naturales y como estos materiales pueden ser igual de competitivos en relación a los que se obtienen directamente de la fuente. (Bedoya, 2003). En términos de competitividad se agrega los ahorros de transporte de material, la extracción de materias primas que afectan el paisajismo de las zonas de extracción y conllevan problemas de vertimientos que afectan la calidad del suelo, así como el proceso para llegar al material final, siendo más factible para algunas zonas de difícil acceso donde es factible reciclar una cantidad de escombros en el mismo lugar donde se ejecuta la actividad. Otra característica importante, es que estos materiales conservan las propiedades físico mecánicas, tales como la resistencia, durabilidad y textura, siempre y cuando la materia prima (reciclaje de RCD), se mantenga en óptimas condiciones y no contengan contaminación cruzada.

Por otra parte, diferentes investigaciones apuntan a establecer el comportamiento de las mezclas provenientes de asfaltos reciclados, estudiando el contenido de asfalto del reciclado de pavimento flexible mediante el proceso de centrifugado, para posteriormente mediante la metodología Marshall, conocer el contenido de asfalto que se debe adicionar al ya encontrado, para así tener la cantidad optima de asfalto para finalmente conseguir el óptimo de asfalto para solo usar los pavimentos reciclados. Este tipo de investigación se ejecutaba desde Norte América y Japón en años anteriores, haciendo grandes aportes con respecto a cómo es el comportamiento de la carpeta de rodadura y la base asfáltica, buscando ventajas económicas y eficiencia en los pavimentos finales. Este estudio, finalmente identifica que las mezclas asfálticas a partir de pavimento asfáltico reciclado son viables, teniendo una tasa de reemplazo del 100% para

muestras con asfalto 60/70 y 80/100, conservando una resistencia donde el agua no causa susceptibilidad en la misma. (Reyes Ortiz, 2011).

Asimismo, algunas empresas como Procopal y Pavimentar en el Área Metropolitana del Valle de Aburra, garantizan que estos residuos no vayan a botaderos y se disminuya la extracción de materiales en ríos y canteras, contribuyendo así a disminuir los gastos de recursos y el cuidado del medio ambiente. La idea de este tipo de empresas, se consolida en la recolección de pavimento, siendo las empresas generadoras las encargadas de la correcta separación en la fuente de generación de los residuos, el transporte hasta el sitio donde se encuentra la planta de la empresa y finalmente la entrega en planta, para que luego dicha empresa realice el proceso con una serie de químicos y técnicas de conservación, donde se consideran temas económicos, sociales y ambientales. (Pavimentar, 2020).

Finalmente, si bien son vagos los estudios sobre esta temática, siempre se ha buscado encontrar los beneficios económicos y ambientales de la rehabilitación de los pavimentos, conservando la estructura de los mismos, garantizando permeabilidad, durabilidad, condiciones de diseño óptimas y poco deterioro de las estructuras construidas. El reciclaje de los pavimentos no ha sido usado en el medio de la construcción en Colombia con frecuencia, teniendo estudios sobre el tema que continúan en marcha y que ponen de frente las exigencias en el campo ambiental y el agotamiento de los recursos ya mencionados. (Restrepo, 2015).

MARCO TEORICO

FACTORES MEDIO AMBIENTALES

El medio ambiente hoy por hoy es uno de los mayores afectados por las actividades de crecimiento económico que se desarrollan en el mundo, siendo estas afectaciones de carácter negativo para los recursos naturales y para garantizar que en el futuro se pueda tener un acceso a estos, siendo el camino el de usar los recursos naturales de manera más inteligente.

El desafío del desarrollo económico se basa en la implementación de medidas en especial para el área de la construcción, buscando una eficiencia energética en la ejecución de las actividades, una reducción en los residuos y un aumento en el uso del reciclaje, para así sinérgicamente reducir el uso de los recursos naturales de los cuales se habla, manteniendo el desarrollo socioeconómico y minimizando los impactos nocivos al ambiente.

A pesar de los esfuerzos del área de la construcción, los impactos ambientales procedentes de esta actividad son altos, debido a su intensidad, magnitud y permanencia en los sitios, adicionándole que la industria cementera crece paulatinamente para asegurar el surtimiento de estos tipos de construcciones. A partir de esto último, se ha venido investigando para buscar mejoras positivas que cumplan con las propiedades mecánicas y la durabilidad, y por supuesto que tengan poco impacto ambiental. Muy pocos de estos materiales cumplen con estas características, por eso se llega a la investigación hacia el pavimento reciclado, que genera una disminución de emisiones de carbono que se producen en la fabricación del aglomerado.

PROCESOS PRODUCTIVOS Y AMBIENTE

El sistema productivo convencional de aglomerado puede ocasionar varios problemas sobre el ambiente, tales como; la erosión del suelo que está en las canteras de extracción de materiales como piedras calizas; transporte inadecuado de los materiales; alta generación de partículas contaminantes a la atmosfera, debido a los polvos provocados por el triturado de la piedra en la planta de producción; emisiones altas de monóxido de carbono, monóxido de nitrógeno, dióxido de azufre; y partículas de otros contaminantes que se liberan a la atmosfera durante el proceso de combustión que hacen los hornos para la calcinación.

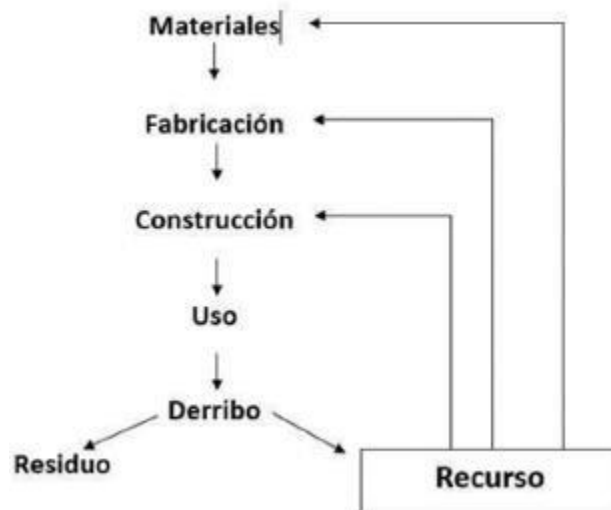


Figura 1. Ciclo de vida. (Butista, 2018)

La extracción de los materiales conllevan a situaciones de deterioro de los recursos naturales, por lo que se motiva a que las compañías direccionen sus esfuerzos a estudiar sus procesos, actividades, equipos, materias primas y materiales en general que son utilizados para la

elaboración de infraestructura, encontrando mediante esta investigación cual es el grado de afectación causal, para que de esta forma y con esta información se busquen alternativas para mitigar, compensar y llevar a una minimización de las posibles afectaciones sobre el medio ambiente.

Estos recursos naturales de los cuales se habla, son parte de la naturaleza que son considerados antropológicamente como útiles para la supervivencia. Los mismos, son definidos como parte de la naturaleza que provee al género humano de bienes y servicios. (Mather, 1995). Los recursos naturales son modificados, consumidos y explotados para el desarrollo económico poblacional, que va en busca de la mejora continua y trata hasta hoy en día de ser sostenible a esos recursos. La búsqueda del desarrollo económico va de la mano con las construcciones y los cambios en la infraestructura, direccionándose a buscar productividad y generando cambios benéficos para las sociedades. Este camino del desarrollo consume los recursos naturales, haciéndolo responsable de los cambios ambientales locales y globales. La construcción sostenible es entonces, un proceso constructivo que entra para integrar el desarrollo con el ambiente, de manera armónica con la naturaleza y el entorno construido.

El consumo de los recursos naturales por otra parte cumple la llamada conservación de la materia, debido a que como son consumidos, los residuos generados por estos no cesan. Los procesos constructivos en este caso, generan residuos de demolición y construcción (RCD), siendo necesario buscar enfoques para la gestión de estos residuos, yendo mucho más allá de la eliminación y disposición de los mismos. Buscando estrategias integrales para utilizar eficazmente los recursos de construcción, buscando reducir la cantidad de residuos, pero a su vez utilizándolos para generar esa sostenibilidad buscada, es decir usos efectivos con enfoques de construcción. (Villalonga, 2007).

Si bien estas partículas no constituyen nocividad según Villalonga, bien constituyen una de las causas principales de la contaminación atmosférica, causando molestias a la población y perjuicios a otros sistemas económicos como la agricultura. Las partículas emitidas por la producción de la carpeta asfáltica son en un 7% gruesas (mayores a 60 micras), siendo sedimentables, significando esto que se precipitaran hacia el suelo rápidamente y muy cerca de la planta de producción, relacionando estas a esos problemas de agricultura, más que todo cerca de las plantas mencionadas. Por otra parte, un 25% corresponden a partículas que pueden ser transportadas en largas distancias por acción del viento, estas se encuentran entre 1 y 10 micras.

Finalmente, el 3% de las partículas son sumicronicas, es decir que son perjudiciales si se encuentran en concentraciones altas en el suelo, produciendo enfermedades a los organismos.

Todos los procesos que llevan al producto final del aglomerante, generan emisiones de polvo y CO₂, debido a las altas temperaturas y a la generación de monóxido de carbono que afecta la salud de las personas, a través del sistema nervioso central, problemas oftalmológicos, padecimientos cardiacos, pulmonares y enfermedades respiratorias graves.

Los problemas más graves de contaminación atmosférica a causa de las plantas de asfalto son el incremento de las partículas suspendidas totales y el dióxido de azufre (SO₂), principales causantes del deterioro de la calidad del aire. (Arenciba, 2013).

Si bien la generación de partículas contaminantes a la atmosfera se presenta como una afectación al ambiente, también se lo suma la generación de residuos desde el inicio de la extracción de material, hasta el final de la cadena de producción. Esta generación debe de encontrar una solución eficaz, puesto que reducir la generación de RCD minimizaría la erosión del suelo, la contaminación por escorrentía y filtración, el deterioro del paisaje.

Sin embargo, la extracción de materias primas son la principal fuente, también existe la posibilidad de reciclar el material retirado sea por no cumplir requisitos o por demoliciones de estructuras existentes. El material retirado se debe de triturar hasta obtener el tamaño adecuado para ser reutilizado, recuperando el valor del mismo a través de la mezcla con materia prima nueva obteniendo así una mezcla asfáltica de buena calidad que se usara nuevamente para la actividad de pavimentación. (Hernández, 2001).

Ahora bien, si reciclar el producto puede generar ventajas ambientales que disminuyen el riesgo de contaminación ambiental inmediata y futura, así como la disminución de riesgos a la salud, los beneficios económicos también resaltan, incluyéndose menos costos del proyecto, aumento del negocio, menor riesgo de gastos por transporte y disposición final de los residuos generados. En vista de estas ventajas y el impacto negativo de los RCD y la masificación de las extracciones, son razón de estudio de las compañías y entidades en pro del medio ambiente y la protección de los recursos naturales.

GENERALIDADES DEL MATERIAL ASFALTICO

La carpeta asfáltica es un material de la naturaleza orgánica que procede de las canteras que son explotadas mediante voladuras para la extracción de como ligantes de hidrocbonato y

minerales pétreos. (Ruiz, 2017). Las mezclas de aglomerado se emplean en la construcción de capas de rodadura o capas inferiores, proporcionando una superficie de rodamiento óptima para las condiciones que se requieran en la vía.

El proceso de elaboración de mezclas asfálticas se inicia con el diseño de calidad de la mezcla en el laboratorio. Se localizan los bancos de piedra o roca madre, tomando las muestras de ellos y analizándolas para escoger por calidad. Las canteras se explotan para sacar piedras que posteriormente se trituran, para luego llevarse al cribado para separarse por tamaños según sus pulgadas, en este paso los rodillos transportan las piedras a una trituradora y finalmente una volqueta donde se van apilando. Una vez seleccionado el banco se toman muestras de asfalto líquido y se hace una mezcla de prueba para determinar el contenido óptimo del asfalto. Los componentes del asfalto son piedra 3/8, la más pequeña de las piedras y piedra 3/4, dependiendo de la granulometría se puede obtener material más resistente que otro. Se coloca el material en un horno giratorio en el cual se amalgama la muestra con líquidos AP3 un derivado del petróleo, que une las piedras para producir el asfalto. Este horno une el líquido y funde la piedra y la arena, calienta los componentes y facilita su adherencia. El giro hace que se mezclan los componentes, el horno funciona a través de una planta que usa agua como refrigerante para que la planta no se recaliente.

El asfalto y el material pétreo hacen una interacción conjunta para tener una calidad y resistencia adecuada usada en las vías de transporte. El material asfáltico tiene propiedades de elasticidad y sensibilidad térmica, es decir que este elemento que depende de la temperatura cambiara ha solido elástico en climas fríos y material líquido con viscosidad en el calor. Otras características se relacionan con el tiempo de aplicación y la velocidad de aplicación de carga.

Las propiedades mencionadas cambiaran en función del tiempo, dependiendo de los años de aplicación que tenga. Estas características dependen de la granulometría y ligantes asfálticos que se hayan usado. Todo depende de las características que se busquen de carga y transporte. El pavimento asfáltico es una estructura construida, que depende de las características del clima de la zona, para evitar degradaciones y fallas. El aglomerado asfáltico tiene generalmente dos etapas que se resumen en lo anterior y se puede ilustrar en la siguiente imagen.

DESCRIPCIÓN DE LA CARPETA ASFÁLTICA

La cantidad de asfalto que se va a utilizar es vital para estimar los costos y garantizar una excelente resistencia a los efectos del movimiento de vehículos y la acción del clima. Esta membrana debe no resultar muy gruesa, debido a que incurriría en altos gastos innecesarios y generaría inestabilidad en la carpeta, haciendo además que la vía sea resbalosa para circular. Para estimar lo necesitado, se realizan pruebas y para conocer la adherencia se pueden utilizar pruebas de desprendimiento por fricción, pérdida de estabilidad o bien, cubrimiento por el método inglés; en caso de que las características del pétreo no sean aceptables, se pueden lavar o bien usar un estabilizante para cambiar la tensión superficial de los poros. El tipo y espesor de una carpeta asfáltica se elige de acuerdo con el tránsito que va a transitar por ese camino.

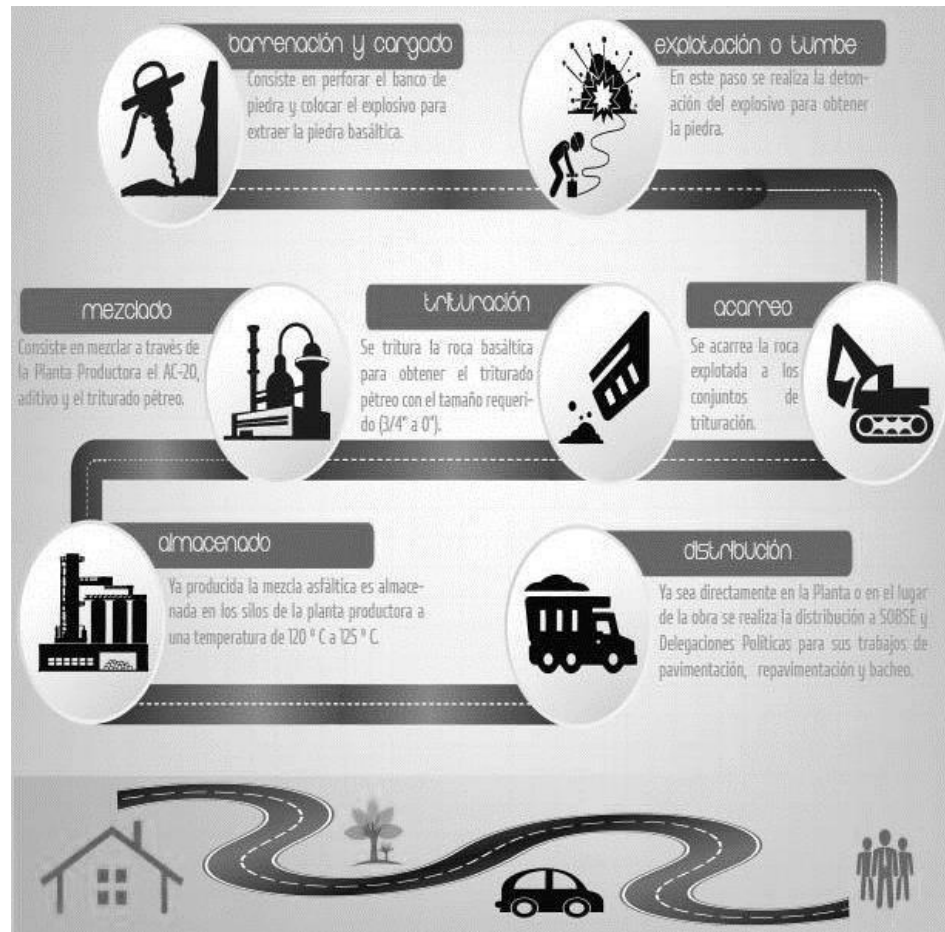


Figura 2. Proceso de producción de mezcla asfáltica.

https://twitter.com/PLANTA_PROD_MA/status/636976523308756993/photo/1

Todo este proceso es una gran fuente de contaminación del aire, alrededor de las plantas de producción se pueden observar columnas de humo denso que puede precipitarse hacia los cultivos agrícolas, generando pérdidas y contaminación de los productos. Además, pueden ocasionar pérdidas de inmuebles y deterioro evidente a la salud, tales como problemas respiratorios y dolores de cabeza.

Arencibia (2013) afirma que entre las afectaciones provocadas al ambiente por la producción del asfalto se encuentran:

- Contaminación del suelo por disposición de las partículas suspendidas totales.
- Contaminación de las aguas por deposición de las partículas suspendidas totales,
- Ruidos y vibraciones provocados por el funcionamiento de los equipos de la planta.
- Contaminación atmosférica en el perímetro interior de la planta producto de la alta generación de las partículas contaminantes debido al tamizado de la materia prima, el abocamiento del secador rotatorio y las emisiones de combustión de los calentadores de asfalto.
- Generación de desechos sólidos que ocupan un espacio en la planta para lo cual no existe destino.
- Generación de residual líquido petrolizado, y asfalto derramado, el cual contamina el suelo y las aguas.

PROCESO DE IMPRIMACIÓN DE CARPETA ASFALTICA

El asfalto se extrae de la refinación del petróleo, que tiene como su uso más común la construcción de vías. La mezcla puede ser aplicada en caliente o frío, siendo la mezcla caliente más común. Inicialmente se compacta el terreno, verificándose que cumpla con las características y tenga condiciones de recibir la carpeta asfáltica y se realiza una muestra de laboratorio para que cumpla con las densidades. Luego, se hace el riego de liga con emulsión para que haya adherencia de la carpeta asfáltica con la base. Posteriormente conociendo los m³ de pavimentos asfálticos que se van a instalar, se emplea maquinaria pesada de última tecnología, como lo son: finisher o pavimentadora, que distribuye el asfalto a lo largo de la vía, proporcionando una primera compactación a una determinada temperatura; los compactadores de tambor, establece la textura de la carpeta y la lisura, desarrollándose la resistencia total de la

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|
| | Presentación en línea | | | | | | | | | | | | | | X |
| <p>Para reducir el margen y error se buscan datos y estudios en revistas indexadas, reconocidas. Incorporando información reconocida durante este proceso para estimar que la información sea verídica. Se establece además una metodología de mejores prácticas en la recolección de información y la planificación de las actividades.</p> <p>Esta búsqueda de bibliografía es una guía para el proceso, siendo esta una forma de evaluar mejor el diagnóstico de viabilidad económica y ambiental y su posible aplicación en proyectos a nivel nacional.</p> <p>Las decisiones sobre que metodología implementar se orientan según el caso de estudio y el problema de investigación, para así responder las preguntas planteadas en el desarrollo de la actividad.</p> <p>La investigación debe lograrse de manera jerárquica, siendo los estudios experimentales la guía para aportar información precisa, seguida de estudios analíticos y finalmente observacionales.</p> <p>Para lograr el cumplimiento del cronograma y evitar errores en la investigación se plantea una pregunta de investigación precisa y un diseño de investigación idóneo, siguiendo este camino se evitará la ocurrencia de errores en los resultados.</p> | | | | | | | | | | | | | | | |

MARCO METODOLÓGICO

El objetivo de cualquier ciencia es adquirir conocimientos y para ello es necesario realizar una concienzuda elección del método adecuado que permita conocer la realidad. Es fundamental asegurar procedimientos y técnicas que lleven a comprobar que la respuesta encontrada es la adecuada para un problema planteado. Es necesario que la investigación se haga de modo ordenado al fin propuesto.

La metodología que implica cada uno de los componentes de esta investigación que pretende el “Análisis de la variación de los costos económicos y las ventajas ambientales, que tiene la implementación de pavimentos asfálticos reciclados en la construcción de la Vía Distribuidora del Sur en Envigado (Antioquia)” involucra procesos metodológicos cualitativos y cuantitativos, inductivos y deductivos y un carácter interdisciplinar, que se implementarán de manera paralela y combinada, configurando así un método mixto de investigación.

Para responder a la pregunta ¿Cuáles son las ventajas económicas y ambientales comparativas entre el empleo de pavimento convencional y la utilización de pavimentos asfálticos reciclados obtenidos a partir de los residuos de construcción y demolición (RCD), en la construcción de la Vía Distribuidora del Sur?, la investigación habrá de emplear, en primer lugar, un método cualitativo teniendo en consideración que este corresponde al paradigma crítico, integrado con el hermenéutico o interpretativo, que consiste en hacer descripciones de la realidad, para identificar su naturaleza profunda, su sistema de relaciones y su estructura dinámica. Estará orientado a la recolección complementada y contrastada hermenéuticamente de información sobre el problema de investigación, para la posterior interpretación de significados. En esta etapa habrá que atender a la profundización de los conceptos definidos en el marco teórico y que van a orientar la investigación, a saber; factores medio ambientales, procesos productivos y ambiente, proceso productivo material asfáltico, descripción de la carpeta asfáltica, proceso de imprimación de carpeta asfáltica y, pavimento reciclado.

Para el estudio cualitativo será necesario implementar lecturas profundas y extensas de bibliografía (documentos, artículos, libros y prensa), lectura que estará guiada por las preguntas planteadas a partir de la problematización de los objetivos de la investigación. La recolección habrá de emplear las técnicas de fichaje y la clasificación del mismo en función de las preguntas planteadas y técnicas analíticas de construcción de resultados. Así, en el componente cualitativo de la investigación se buscará comprender los fenómenos mediante la correlación de las observaciones y, la hipótesis central de trabajo será una guía . De esta forma, se podrá llegar a una justificación del proyecto de investigación con la metodología de estudiar cualitativamente relacionando la implementación de pavimento, y su influencia sobre el impacto ambiental y la economía del proyecto.

El estudio cualitativo implicará la implementación de un método analítico que descomponga el objeto de estudio en sus partes integrantes estudiando cada una de ellas y sus múltiples relaciones y contextos, asumiendo que el conocimiento así obtenido de dichas partes traerá aparejado el conocimiento del objeto de estudio como un todo que integrará los relacionamientos entre cuestiones técnico-ingenieriles, económicas y de impacto ambiental relacionadas con los tipos de pavimento a utilizar en una obra.

Este tipo de investigación tendrá objetivos analíticos y comparativos, puesto que se enfrentarán en comparación los daños ambientales causados por el uso del asfalto reciclado y el

no, así mismo como las ventajas económicas y desventajas, siendo esto conocido como metodología aprehensiva la cual tiene que ver con la búsqueda de resultados que no son evidentes y que se logran analizando y comparando (Calle, 2018-2019).

En segundo lugar, señalamos que la investigación se debe complementar con el uso de métodos cuantitativos que implican aplicación de técnicas estadísticas y muestreo. Los métodos cuantitativos, son el conjunto de estrategias de obtención y procesamiento de información que emplean magnitudes numéricas en el campo de la estadística (conjunto de variables o datos cuantitativos generalizables y representables mediante distintos modelos matemáticos) y técnicas formales y/o estadísticas para llevar a cabo su análisis, siempre enmarcados en una relación de causa y efecto, obteniendo conclusiones que pueden ser expresadas de forma matemática de índole numérica y descriptiva.

Esta investigación cuantitativa será de tipo analítica para realizar mediante razonamiento deductivo el cotejo o comparación de variables determinadas entre grupos de control y de estudio, registrando el modo en que los resultados se dan en la práctica para poder comprobar o refutar alguna hipótesis previamente establecida. Con el método cuantitativo se trata de determinar la fuerza de asociación o correlación entre variables, la generalización y objetivación del resultado. La información para la base de datos se tomará a través de una muestra recogida mediante la aplicación de cuestionarios y encuestas. Y es que, lo cuantitativo se soporta en el método estadístico que consiste en tomar una parte del universo a estudiar y luego extrapolar a todo el universo, las características de esa muestra que por su tamaño debe ser representativa.

Desde lo cuantitativo, se tiene una investigación en la cual se recopilará información del proyecto referenciando los estudios previos realizados por el Área Metropolitana del Valle de Aburra, la minuta del contrato a ejecutar y anexos que incluyan la información técnica y financiera donde se detallan las actividades, cantidades y valores de referencia.

En tercer lugar, la investigación deberá ser interdisciplinar, para que a ella puedan aportar las diferentes disciplinas implicadas en un estudio con objetivos de definición técnicos ingenieriles o económicos y relativos al análisis comparativo entre costes e impacto ambiental. Posteriormente se comparará con ayuda de la información recopilada, los parámetros de la técnica común de la imprimación con pavimento asfáltico de mezcla en caliente y la técnica de implementar pavimento reciclado que ha sido removido.

A partir de esto último, se evaluarán los insumos desde cada proceso a comparar, así como el presupuesto y las variables ambientales afectadas. Lo primero evaluado a partir de del análisis de los precios unitarios para cada proceso y las especificaciones técnicas, y lo segundo con la matriz de impactos ambientales por la metodología CONESA simplificada, generada para cada aspecto ambiental.

Posteriormente, se realizará un análisis comparativo mediante una matriz de costos con los datos recopilados, a partir de la información del proyecto y la información captada en la investigación, de esta manera se podrán evidenciar algunas conclusiones que permitirán mediante de la comparación evaluar costos y mejor alternativa a ejecutar en la obra, es decir si el costo-beneficio resalta para el método de reciclaje o el método de aplicación del pavimento convencional desde la cantera.

Finalmente, la investigación habrá de combinar igualmente el método inductivo asociado con la investigación cualitativa y el método deductivo asociado con la investigación cuantitativa que consiste en establecer hipótesis a partir de la observación de unos pocos casos, deducir consecuencias de esa hipótesis y verificarla.

FASES PARA LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO

Para que la investigación se encamine hacia una dirección, logrando evadir las problemáticas de investigación y dar cumplimiento a los objetivos establecidos anteriormente, se tendrán en cuenta las siguientes fases que se relacionan con la metodología expuesta con anterioridad:

Fase de investigación:

Para evaluar los métodos ingenieriles conocidos para reciclar pavimento asfáltico, se recopila información de estudios, investigaciones, normatividad e implementación en casos de estudio, para así distinguir información técnica y financiera que detalla las actividades, cantidades y valores.

Fase de análisis:

La información recopilada con el fin de comparar y analizar las diferencias en los costos de producción del pavimento convencional y aquel que proviene de un proceso de reciclado, esto encaminándose a analizar, evaluar e identificar parámetros comunes de comparación entre ambas técnicas.

A partir de esta fase se planteará una caracterización de los materiales, una selección de los procedimientos constructivos que mejor se ajustan al caso de estudio de la Vía Distribuidora del Sur, para así indicar beneficios, condiciones y restricciones.

Fase de comparación:

Se construye un marco comparativo, a partir del análisis de la información recopilada, realizando de esta forma una comparativa de costos, evaluación de los datos que direccionen hacia las conclusiones, análisis de los precios unitarios y especificaciones técnicas necesarias de todas las actividades. Esta recopilación de datos y fichas comparativas se ejecutarán en Excel. De esta manera se podrá discurrir cuál de las formas de producción (reciclada o no), tiene mayor viabilidad desde el punto de vista ambiental y financiero, si se ejecuta la obra de conexión vial de la distribuidora del sur.

POBLACIÓN Y MUESTRA

El área de estudio se encuentra ubicada en el departamento de Antioquia (Colombia), específicamente en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, entre los municipios de Envigado, Sabaneta, Itagüí y la Estrella. La población de estos municipios es según información suministrada por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) del censo del año 2016: 29 hab/ha para Envigado, 33,4 hab/ha para Sabaneta, 138,8 hab/ha para Itagüí y 17,2 hab/ha para La Estrella.

El corredor vial objeto de estudio se ubica entre la calle 53 Sur (en el Municipio de Sabaneta), en la abscisa k2+280 y la calle 19 Sur (límite entre los municipios de Medellín y Envigado) o quebrada Ayurá, en la abscisa final del proyecto k6+130. Tiene una longitud aproximada de 3,85 Km y un ancho de vía de 10,50 m. El proyecto contempla una ciclo-infraestructura y la red de caminabilidad o senderos peatonales.

Conviene señalar que la Vía Distribuidora está limitada en su costado occidental por la Vía Regional existente y en algunos tramos del costado oriental por la Vía de Servicio existente, las cuales conservarán sus condiciones actuales; adicionalmente se considera el diseño de nuevos tramos de esta última vía.

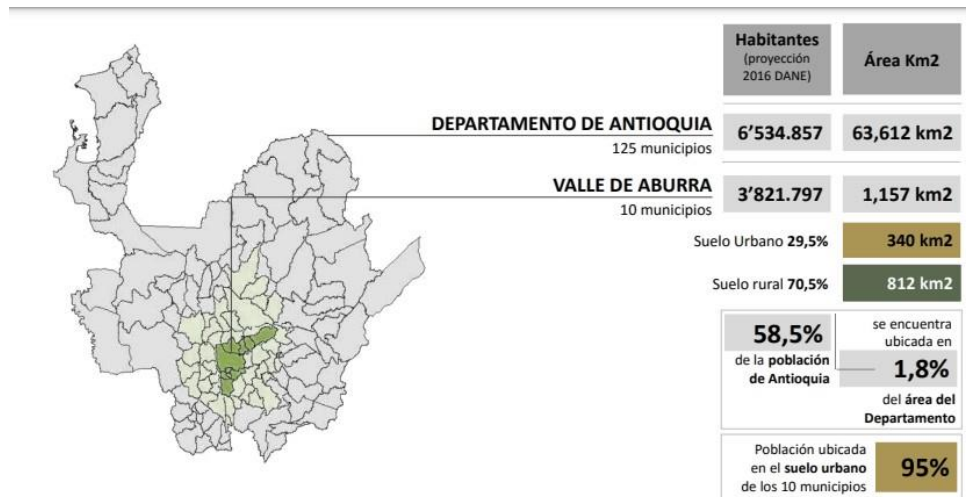


Figura 3. Mapa ubicación del proyecto. Fuente www.envigado.gov.co

La localización de la vía a diseñar se encuentra en la margen oriental del Río Medellín, entre la calle 77 Sur (en el Municipio de Sabaneta) y la calle 19 Sur (límite entre los municipios de Medellín y Envigado) o Quebrada La Zúñiga. La vía se debe diseñar de forma paralela a la calzada actual denominada Vía Regional (existente). El corredor vial a diseñar, tiene una longitud estimada de 6.4 Km, un ancho de vía de 10.5 metros con los separadores viales en la franja de 60 metros.



Figura 4. Diseño de infraestructura del proyecto. FUENTE: https://www.integral.com.co/wp-content/uploads/2020/02/infraestructura_integral_via_distribuidora_sur.jpg

INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

Método de Evaluación de Impactos: Matriz de valoración

La matriz de evaluación de impactos mencionada es la herramienta más adecuada para evaluar los impactos ambientales positivos o negativos generados a partir de cualquiera de los métodos constructivos mencionados, sea a partir de pavimento reciclado o no. Esta matriz consiste en realizar una clasificación de los impactos ambientales de mayor ocurrencia sobre el medio ambiente en donde se ejecuta la actividad y en cualquier ámbito que se vea afectado, luego se diferencian según la intensidad, variación de la calidad del ambiente, extensión, persistencia, momento en el que se manifiestan en el tiempo, capacidad de recuperarse del impacto, periodicidad y relación causa-efecto. (Hidroar, 2015).

RESULTADOS

Especificaciones técnicas de pavimentación:

Durante la primera etapa se evalúa el caso de estudio correspondiente a la ejecución del proyecto vía distribuidora, para esto se tiene en cuenta la alternativa de pavimento N°3, que incluye una capa de mezcla asfáltica en caliente (MDC-2) y una base granular tratada con cemento INVIAS (Clase A).

Por consiguiente, se toma como enfoque del estudio el proyecto Vía Distribuidora que se encuentra en la margen oriental del río Medellín, en la franja de 60 m del sistema vial del río. De este proyecto se considerará principalmente todo lo relacionado con imprimación y mezclas asfálticas en caliente, que deberán cumplir con Artículo 400 de las especificaciones del INVIAS donde se describen las disposiciones generales a todos ellos.

El suministro de los materiales requeridos para la ejecución como el cemento asfáltico, emulsión asfáltica, aditivo mejorador de adherencia, cemento asfáltico modificado con polímeros y asfalto líquido para riegos de imprimación, se deberá hacer de acuerdo con los artículos de las especificaciones del INVIAS 410, 411, 412, 414, y 416 respectivamente, a excepción de la medida y pago la cual deberá incluirse en el precio de las bases y carpetas asfálticas.

Mezclas asfálticas en caliente

Esta especificación comprende la ejecución de las mezclas asfálticas en caliente de gradación continua a realizarse en el proyecto para las bases y carpetas asfálticas de acuerdo con la especificación contenida en el artículo 450 del INVIAS.

Las carpetas asfálticas serán suministradas y ejecutadas de acuerdo con el artículo 450 de las especificaciones del INVIAS.

Por lo anterior y teniendo en cuenta la problemática planteada en el estudio, se busca a través de un método comparativo y de análisis, viabilizar la construcción y mejoramiento de esta red vial a través de la comparación económica y ambiental con dos procesos constructivos. De esta manera se busca medir el impacto económico y ambiental que genera la construcción, ya bien sea desde el proceso tradicional o bajo el método de reciclado en caliente in situ.

Este reciclado en caliente in situ, es una técnica de pavimentación que consiste en un tratamiento que se le realiza al pavimento, el cual puede emplearse como refuerzo estructural o carpeta de rodadura. Este procedimiento se caracteriza por tener bajos costos constructivos. (Sánchez, 2009), así como una notable reducción en la contaminación del ambiente.

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO CONVENCIONAL

Demolición de capa de Rodadura Existente: Para este proyecto no se fractura la capa de pavimento puesto que no hay una existente, pero en otras obras constructivas lo que se ejecuta es una fractura de las capas de pavimento mediante martillos neumáticos, este procedimiento se realiza en frío y sin adición de solventes que pueda afectar la granulometría o las propiedades del asfalto extraído. En otros tramos de la vía si se demuele la estructura existente para hacer recuperación.

Excavación y conformación de Subrasante: Excavación y nivelación de las zonas donde se va a construir la vía, se realiza de acuerdo a la sección transversal indicada en los planos constructivos. Luego de realizadas las excavaciones hasta los niveles de fundación requeridos en los estudios y diseños, se analiza si se cumple con lo estipulado en los estudios de suelos y se procede a compactar esta capa con vibro compactador de tambor, con el fin de mostrar posibles fallos en el terreno de fundación.

Mejoramiento de subrasante: El mejoramiento de la subrasante se realiza en suelos que lo requiera, este mejoramiento sirve para aumentar la capacidad portante del suelo. El material

usado es piedra rajón, extendiéndose este por todo el tramo manualmente o con maquinaria, luego se extiende y compacta, para finalmente soportar las capas de sub base y base.

Capa de subbase y base: Inicialmente se crea la estructura de la sub base, sobre la superficie de la subrasante, utilizando agregados provenientes de bancos de materiales que cumplan con las especificaciones técnicas para una subbase, que serán colocados sobre la superficie de la subrasante. Asimismo, para el proceso de conformación de la capa subbase, se realiza el suministro de agregados granulares para su colocación en conformidad con los alineamientos verticales, pendientes y dimensiones indicadas en los planos del proyecto o establecidos por el proyecto.

Imprimante: La función de la imprimación es proteger la superficie de la base una vez esta haya sido compactada, con emulsión asfáltica de manera uniforme. Lo anterior, protege la base de la intemperie y asegura la adherencia entre la capa del asfalto o la base.

Mezcla Asfáltica: Las mezclas asfálticas se pueden fabricar en caliente o en frío, siendo más común la primera. La aplicación de la mezcla asfáltica en caliente es un proceso realizado en una maquina pavimentadora. Estas mezclas son un conjunto de equipos mecánicos y electrónicos, en donde los agregados son combinados, calentados, secados y mezclados con cemento asfáltico para producir una mezcla asfáltica. El proceso principal de construcción de pavimento, consiste en extender la mezcla a lo largo de la vía y compactarla adecuadamente hasta lograr la densidad mínima especificada en las normas vigentes, la mezcla debe de estar aproximadamente a 150°C, y será extendida en franjas longitudinales.

Los niveles de esta capa son verificados por la topografía y los costes dependerán de estas secciones transversales, tal como lo indican los planos.

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO ASFALTO RECICLADO

Este proceso constructivo mejora la resistencia al deslizamiento, corrige las deficiencias de origen superficial, mejora el perfil geométrico de la calzada y permite eliminar la capa de restitución de gálibo (marca la distancia máxima, tanto en altura como en anchura) en refuerzos del pavimento. El procedimiento anterior y el correspondiente al reciclado son comunes en los procesos constructivos de algunos pasos, teniendo en cuenta los siguientes lineamientos:

- **Disgregación de los materiales del pavimento existente** (Mediante el fresado del espesor recomendado por el diseño del tratamiento). Este espesor puede

involucrar o no las capas de material granular que subyacen las capas asfálticas. La programación de este fresado inicial debe tener en cuenta el ancho efectivo de corte de la máquina y la capacidad del equipo en cuanto a profundidad de fresado. Después del fresado la maquina mediante una banda transporta el fresado a una volqueta y se lleva a un patio de acopio para seleccionar el material.

- **Detección y extracción de sobre tamaños:** En algunos casos el espesor total fresado involucra capas de materiales granulares de construcción muy antigua que poseen granulometrías con tamaños superiores a 2". Este tipo de material, para el caso de interés en materiales de buenas especificaciones es inadecuado y debe retirarse para que no afecte las propiedades mecánicas del material reciclado resultante. Podrá haber situaciones en las que no se requiera retirar las partículas de sobre tamaño porque sólo interesa obtener un material de condiciones netamente granulares, sin aprovechar la cantidad de ligante residual presente en la matriz disgregada.
- **Adición y mezclado de agente estabilizador.** Después de haber seleccionado el agente estabilizador más conveniente (de acuerdo al diseño), se procede a la adición del mismo según lo especificado en el diseño y se efectúa el mezclado hasta lograr una mezcla homogénea, si es necesario se adiciona el agua para la pre- envuelta (algunos agentes necesitan el agua para su dilución y como vehículo para su reacción química). Este proceso se ejecuta al interior de la recicladora.
- **Extendido, nivelación y compactación:** Una vez obtenida la mezcla homogénea se procede a realizar el extendido, teniendo en cuenta que si las características del material reciclado son similares a la de una capa de rodadura se podrá llevar a cabo mediante la utilización de una finisher, de lo contrario el equipo a utilizar será una motoniveladora. En lo que respecta a la compactación, generalmente se ubica un rodillo vibro compactador adelante del compactador neumático, pues de esta manera se logra un mejor acabado en la nueva capa.
- **Curado:** Algunos de los agentes estabilizadores requieren de un curado especial, el cual puede lograrse con la apertura del tramo de vía al tráfico. En general se estima que el tiempo de curado está dado por el contenido de humedad en el material reciclado, cuyo valor no debe ser inferior al 7.0%.

La metodología empelada para la identificación de aspectos y valoración de impactos ambientales, utilizada para el proyecto es la de identificación (Acción / Factor), y se aplica a cada uno de los procesos constructivos.

Para esta metodología se emplearon los siguientes parámetros: Intensidad, duración, frecuencia recuperabilidad, cuya descripción, calificación y valor de acuerdo al impacto se describen en la siguiente tabla:

| PARÁMETRO | DESCRIPCIÓN | CALIFICACIÓN | IMPACTO | VALOR |
|----------------------------|--|-------------------------|---|-------|
| INTENSIDAD (I) | Califica la dimensión o tamaño del cambio ambiental producido por una actividad o proceso productivo al componente ambiental | Baja | Afectación mínima al componente ambiental | 1 |
| | | Media | Se da afectación parcial o cambio considerable al componente ambiental. | 3 |
| | | Alta | Afectación o deterioro alto al componente ambiental | 5 |
| DURACION (D) | Determina el periodo de existencia activa del impacto y sus consecuencias. | Fugaz | Si su periodo de existencia es menor a un año | 1 |
| | | Temporal | Si su duración esta entre 1 y 10 años | 3 |
| | | Permanente | Si la duración del impacto es mayor a 10 años | 5 |
| FRECUENCIA (F) | Describe cada cuanto o con que regularidad se presenta el impacto. | Irregular y discontinuo | Casi nunca se presenta | 1 |
| | | Periódico | Se presenta a menudo | 3 |
| | | Continuo | Siempre o casi siempre se presenta | 5 |
| RECUPERABILIDAD (R) | Se refiere a la posibilidad de reconstrucción, total o parcial, del factor afectado por medio de la intervención humana. | Inmediata | Totalmente recuperable en corto plazo | 1 |
| | | A mediano plazo | Totalmente recuperable a mediano plazo | 3 |
| | | Mitigable | Parcialmente recuperable | 5 |

Figura 6. PARÁMETROS PARA LA VALORACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES DEL PROYECTO

Convenciones:

S: Severidad

R: Recuperabilidad

D: Duración

F: Frecuencia

Para dar un valor al impacto, en la columna 5 se asigna la categoría de este, de acuerdo al valor resultante de la sumatoria anterior se procede a categorizar el impacto, tal como se muestra a continuación.

| | |
|-----------------------|----------------|
| Impacto Bajo: | Entre 20 y 35 |
| Impacto Medio: | Entre 36 y 50 |
| Impacto Alto: | Entre 51 y 65. |

Tabla 2. Metodología de evaluación

| PARÁMETRO | DESCRIPCIÓN | CALIFICACIÓN | IMPACTO | VALOR |
|----------------------------|--|-------------------------|---|-------|
| INTENSIDAD (I) | Califica la dimensión o tamaño del cambio ambiental producido por una actividad o proceso productivo al componente ambiental | Baja | Afectación mínima al componente ambiental | 1 |
| | | Media | Se da afectación parcial o cambio considerable al componente ambiental. | 3 |
| | | Alta | Afectación o deterioro alto al componente ambiental | 5 |
| DURACION (D) | Determina el periodo de existencia activa del impacto y sus consecuencias. | Fugaz | Si su periodo de existencia es menor a un año | 1 |
| | | Temporal | Si su duración esta entre 1 y 10 años | 3 |
| | | Permanente | Si la duración del impacto es mayor a 10 años | 5 |
| FRECUENCIA (F) | Describe cada cuanto o con que regularidad se presenta el impacto. | Irregular y discontinuo | Casi nunca se presenta | 1 |
| | | Periódico | Se presenta a menudo | 3 |
| | | Continuo | Siempre o casi siempre se presenta | 5 |
| RECUPERABILIDAD (R) | Se refiere a la posibilidad de reconstrucción, total o parcial, del factor afectado por medio de la intervención humana. | Inmediata | Totalmente recuperable en corto plazo | 1 |
| | | A mediano plazo | Totalmente recuperable a mediano plazo | 3 |
| | | Mitigable | Parcialmente recuperable | 5 |

IMPLEMENTACIÓN DE PAVIMENTOS ASFALTICOS RECICLADOS

Tabla 4. Acercamiento matriz.

| ASPECTO | | ACTIVIDAD | DEMOLICIÓN DE CARPETA ASFÁLTICA, RESALTOS, Y DE PISOS EN CONCRETO | | | | CONSTRUCCIÓN DE VÍAS EN PAVIMENTO ASFALTICO | | | | SUMATORIA | CATEGORIZACIÓN |
|--|--------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-----------|----------------|
| | | | I | D | F | R | I | D | F | R | | |
| Generación de residuos sólidos y RCDS | Suelo | Contaminación por disposición de residuos sólidos | 1 | 3 | 1 | 5 | 3 | 1 | 1 | 3 | 68 | IMPACTO ALTO |
| | Suelo | Contaminación por disposición de escombros y otros residuos sólidos. | 3 | 5 | 3 | 5 | 3 | 3 | 3 | 3 | 52 | IMPACTO ALTO |
| Emisiones Atmosféricas | Aire | Incremento de partículas en suspensión y gases en la atmósfera | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 42 | IMPACTO MEDIO |
| | | Incremento en los niveles de ruido | 3 | 1 | 3 | 1 | 5 | 3 | 3 | 1 | 54 | IMPACTO ALTO |
| uso y almacenamiento de materiales de construcción | Aire | Alteración de las características del suelo | 3 | 5 | 1 | 5 | 5 | 3 | 1 | 5 | 52 | IMPACTO ALTO |
| | Suelo | Contaminación del suelo. | 3 | 3 | 1 | 5 | 5 | 3 | 1 | 5 | 44 | IMPACTO MEDIO |
| | Aire | Contaminación del aire. | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 36 | IMPACTO MEDIO |
| | Suelo | Ocupación del espacio público. | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | 1 | 1 | 74 | IMPACTO ALTO |
| Manejo de Fauna y Vegetación | Recursos Naturales | Agotamiento del recurso natural | 3 | 5 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 38 | IMPACTO MEDIO |
| | Recursos Naturales | Modificaciones en el paisaje y alteración de la cobertura vegetal. | 3 | 5 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 54 | IMPACTO ALTO |
| Manejo de Tránsito | Espacio Público | Daños a la infraestructura. | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 40 | IMPACTO MEDIO |
| | Espacio Público | Accidentes de transeúntes | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 36 | IMPACTO MEDIO |
| Manejo de Contingencias | Espacio Público | Aumento de riesgos de ocurrencia de eventos contingentes (accidentes potenciales de peatones, vehículos, colaboradores, daños a estructuras cercanas, incendios, deslizamientos y movimientos en masa | 3 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 | 56 | IMPACTO ALTO |
| Adecuación de Equipamientos | Espacio Público | Alteración o deterioro del espacio público. | | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 39 | IMPACTO MEDIO |

IMPLEMENTACIÓN DE PAVIMENTOS ASFALTICOS RECICLADOS

En esta tabla se observan las actividades de la matriz de impacto que conciernen en este estudio, tales como la demolición de pavimento y el vaciado de la carpeta asfáltica. Ambas actividades generan un alto impacto negativo a la contaminación del suelo.

Tabla 6. *Acercamiento a matriz para procedimiento de pavimento reciclado*

Análisis de resultados de la matriz de aspectos e impactos ambientales

La matriz de aspectos e impactos ambientales arroja cambios significativos al comparar la categorización de los aspectos ambientales.

Los impactos ambientales que son mas representativos al momento de realizar un proceso constructivo convencional, son la contaminación del suelo por disposición de escombros, incremento en los niveles de ruido, alteración en las características del suelo, modificaciones al paisaje y alteración en la cobertura vegetal. Estos impactos son significativos, pero cuando se evalúan en la matriz para el procedimiento de pavimento reciclado, el único impacto que

IMPLEMENTACIÓN DE PAVIMENTOS ASFALTICOS RECICLADOS

continua de estos es el de contaminación por disposición de residuos sólidos, por ende, se evidencia una disminución del impacto ambiental si se implementan metodologías de aprovechamiento de los residuos.

COMPARATIVO DE PRECIOS ENTRE UN PAVIMENTO CONVENCIONAL Y UN ASFALTO RECICLADO

En este punto se identificarán los recursos necesarios para llevar a cabo el proyecto, determinando calidad y cantidad de recursos necesarios, de esta manera se analizará el costo del proyecto en términos de dinero, se usarán los siguientes ítems y su respectiva unidad.

El costo de los materiales utilizados para la realización del análisis se muestra a continuación, estos corresponden a valores dados en procedimiento convencional, estos valores fueron tomados de estudios realizados, donde se estudian los pavimentos reciclados como alternativas económicas y ambientales viables, como el desarrollado por Camacho en la Universidad de Granada, y Sánchez en la Universidad Cesar Vallejo de Perú, si bien los análisis de precios pueden estar en otra moneda, se aplica el APU a la obra actual y los costos actuales del mercado para dichos materiales. Es importante resaltar, que dada la pandemia por el covid-19, la cual tiene al mundo atravesando por una difícil situación, no fue posible realizar acercamientos a plantas de suministro de materiales y acceder a precios vigentes y una orientación a lo que respecta de los materiales.

La siguiente tabla fue tomada del análisis de precios unitario de la obra Vía Distribuidora del Sur, siendo estos precios los correspondientes al año 2019, de una mezcla densa en caliente de tamaño máximo de 3/4", es decir MDC -25 para la norma invias 2013 y MDC-1 para la norma Invias 2007. (Cachibí, 2018).

IMPLEMENTACIÓN DE PAVIMENTOS ASFALTICOS RECICLADOS

Tabla 7. APU del SUMINISTRO, TRANSPORTE, COLOCACIÓN Y COMPACTACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MDC-25, DE ALTO MÓDULO, NORMA INVÍAS 2013. INCLUYE TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA COLOCACIÓN Y FUNCIONAMIENTO.

| EQUIPOS | | | | | |
|---------------------------------|-----------------------|---------------------|-------------------------|--------------------|-----------------------|
| <i>DESCRIPCION</i> | <i>TIPO</i> | <i>TARIFA</i> | <i>RENDIMIENTO</i> | <i>VALOR</i> | |
| Herramienta Menor | | | 5,0% | \$ | 348 |
| COMPRESOR NEUMÁTICO | HR | \$ 69.532 | 75,00 | \$ | 927 |
| IRRIGADOR | HR | \$ 117.087 | 75,00 | \$ | 1.561 |
| FINISHER | HR | \$ 186.826 | 10,00 | \$ | 18.683 |
| VIBROCOMPACTADOR 8 TON | HR | \$ 107.475 | 10,00 | \$ | 10.748 |
| COMPACTADOR NEUMÁTICO | HR | \$ 119.031 | 10,00 | \$ | 11.903 |
| | | | | \$ | - |
| | | | Sub-Total | \$ | 44.170 |
| MATERIALES EN OBRA | | | | | |
| <i>DESCRIPCION</i> | <i>UNIDAD</i> | <i>PRECIO</i> | <i>CANTIDAD</i> | <i>VALOR</i> | |
| MEZCLA ASFÁLTICA DE ALTO MÓDULO | m3 | \$ 546.763 | 1,02 | \$ | 557.699 |
| EMULSIÓN CRL-1 | Kg | \$ 1.221 | 10,65 | \$ | 13.004 |
| AGUA | LT | \$ 20 | 20 | \$ | 400 |
| ASFALTO LIGA AC-80-100 | Kg | \$ 1.929 | 1,67 | \$ | 3.215 |
| | | | | \$ | - |
| | | | | \$ | - |
| | | | | \$ | - |
| | | | | \$ | - |
| | | | | \$ | - |
| | | | Sub-Total | \$ | 574.318 |
| TRANSPORTES | | | | | |
| <i>TIPO</i> | <i>VOL PESO/ CANT</i> | <i>DISTANCIA Km</i> | <i>m³ km</i> | <i>TARIFA</i> | <i>VALOR</i> |
| Volqueta | 1,25 | 32 | 40,0 | \$ 928 | \$ 37.120 |
| | | | - | | \$ - |
| | | | - | | \$ - |
| | | | - | | \$ - |
| | | | | Sub-Total | \$ 37.120 |
| MANO DE OBRA | | | | | |
| <i>TRABAJADOR</i> | <i>CANT</i> | <i>VALOR JORNAL</i> | <i>PRESTACIONES</i> | <i>RENDIMIENTO</i> | <i>VALOR UNITARIO</i> |
| AYUDANTE | 6 | \$ 26.041,00 | 156,49% | 80,00 | \$ 3.056 |
| RASTRILLERO/LIGUERO | 2 | \$ 60.000,00 | 156,49% | 80,00 | \$ 2.347 |
| CAPATAZ | 1 | \$ 80.000,00 | 156,49% | 80,00 | \$ 1.565 |
| | | | | | \$ - |
| | | | | | \$ - |
| | | | | Sub-Total | \$ 6.969 |
| Total Costo Directo | | | | | \$ 662.577 |

Ahora bien, tomando los datos dados por Contreras en su estudio comparativo, específicamente en la Tabla 33. “Costos de construcción del reciclado in-situ empleando asfalto espumado”, se construye la siguiente tabla. Debido a que es un estudio realizado en Perú, se

IMPLEMENTACIÓN DE PAVIMENTOS ASFALTICOS RECICLADOS

realiza el cambio a la moneda para tener un comparativo, conociendo que 1 sol peruano son 988 pesos colombianos.

Tabla 8. SUMINISTRO, TRANSPORTE, COLOCACIÓN Y COMPACTACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CON PAVIMENTO RECICLADO IN SITU, NORMA INVÍAS 2013. INCLUYE TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA COLOCACIÓN Y FUNCIONAMIENTO.

| EQUIPOS | | | | |
|---------------------------------------|-----------------------|---------------|--------------------|--------------|
| DESCRIPCION | TIPO | TARIFA | RENDIMIENTO | VALOR |
| Herramienta Menor | | | 5,0% | \$ |
| COMPRESOR NEUMÁTICO | HR | \$ 69.532 | 75,00 | \$ |
| IRRIGADOR | HR | \$ 117.087 | 75,00 | \$ |
| FINISHER | HR | \$ 186.826 | 10,00 | \$ |
| VIBROCOMPACTADOR 8 TON | HR | \$ 107.475 | 10,00 | \$ |
| COMPACTADOR NEUMÁTICO | HR | \$ 119.031 | 10,00 | |
| RECICLADORA WIRTGEN WR2500S | HR | \$ 488.981 | 10 | |
| | | | Sub-To | |
| MATERIALES EN OBRA | | | | |
| DESCRIPCION | UNIDAD | PRECIO | | |
| ASFALTO RECICLADO DILUIDO TIPO MDC 25 | gln | 7.074,08 | | |
| EMULSIÓN ASFÁLTICA CATIONICA SQS-1 HP | gln | 8.467, | | |
| ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA | Kg | 15.9 | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| TRANSPORTES | | | | |
| TIPO | VOL PESO/ CANT | DIS | | |
| Volqueta | 1,25 | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| MANO DE OBRA | | | | |
| TRABAJADOR | | | | |
| AYUDANTE | | | | |
| RASTRILLERO/LIGUER | | | | |
| CAPATAZ | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

IMPLEMENTACIÓN DE PAVIMENTOS ASFALTICOS RECICLADOS

Realizando una comparación entre el análisis de precios unitario de cada uno de los procedimientos, se evidencia que el costo de la recicladora que es la encargada de romper el pavimento existente, triturarlo, mezclarlo y homogenizarlo una vez estabilizado, es un costo adicional, pero que en relación con el APU del proceso convencional no presenta un exceso en el costo, y adicional a esto es una maquinaria con excelente rendimiento, capaz de rehabilitar carreteras a una fracción del costo de los métodos tradicionales.

El reciclado en caliente se aplica a las capas asfálticas removiendo mediante la técnica de fresado a la capa asfáltica a reciclar, por lo cual el material es llevado para procesar en planta o in situ donde se adiciona agregado virgen, asfalto y agentes rejuvenecedores, con la finalidad de producir una nueva mezcla en caliente. (Jugo, 2015), para la ejecución de esta obra se puede observar mediante el comparativo de precios, que desde el punto de vista financiero es viable realizar la técnica in situ. Esta técnica in situ se entiende entonces, como reciclado de mezclas asfálticas en caliente para su reutilización después de ser fresadas, y nuevamente colocadas y compactadas, lo cual explica los valores dados en el análisis de precios unitarios de la tabla 8. En este procedimiento se añade a la mezcla intervenida nuevos agregados pétreos o mezcla asfáltica nueva; también se adiciona rejuvenecedores para el asfalto con el objeto de mejorar sus características mecánicas. La operación es realizada completamente en el sitio de trabajo por medio de un tren de trabajo.

En consecuencia, dado que el AU de los procedimientos representa el precio por m³ ejecutado del pavimento, se obtiene la cantidad de pavimento a instalar, conociendo que la vía distribuidora tiene 3,8 km de vía principal, 10,5 mts el ancho de la vía y 0,075 mts de espesor de pavimento, el total de pavimento son 2.993 m³, lo que representa un costo de \$ 2.517.792.600 ejecutando el procedimiento convencional y \$1.535.585.867 con procedimiento de pavimento reciclado.

DISCUSIONES

Discusión de la hipótesis general

A partir de los resultados obtenidos en este trabajo, se acepta la hipótesis general de la investigación, en la cual está establecido que al implementar técnicas de reciclaje de pavimento, procedente de materiales provenientes del fresado o demolición de pavimentos existentes en

IMPLEMENTACIÓN DE PAVIMENTOS ASFALTICOS RECICLADOS

procesos constructivos en desarrollo, se genera un material a bajo costo y que cumple teniendo similitudes con las características técnicas convencionales, de este modo se obtiene un beneficio técnico, económico y ambiental.

Discusión de la hipótesis específica 1

El análisis de precios unitario realizado anteriormente, respalda la hipótesis específica 1, donde se indica que la implementación de reciclaje de pavimentos en los procesos constructivos genera disminución en los costes económicos. Si bien pueden existir otras técnicas de reciclaje de pavimento, cada uno se considerará en términos sociales, medioambientales y económicos, en este caso si es viable.

Discusión de la hipótesis específica 2

No se realiza un estudio de las características técnicas de los materiales, por esta razón no se puede dar un respaldo positivo a la hipótesis específica 2.

Discusión de la hipótesis específica 3

La elaboración de la matriz de aspectos e impactos ambientales para cada tipo de procedimiento constructivo, revela que la incorporación de técnicas de reciclaje de pavimento en las actividades constructivas genera un menor grado de impacto ambiental.

Las actividades requeridas para explotar las canteras de material que suministra el pavimento, son las que mayor numero de impactos negativos significativos genera, debido a que tiene mayores aspectos ambientales, siendo el suelo y el recurso los elementos que sufren mayores impactos adversos.

CONCLUSIONES

La construcción de vías por medio del pavimento reciclado brinda beneficios que mejoran los rendimientos, costos y preservación del medio ambiente. Esta practica reduce el almacenamiento de los materiales fresados en botaderos autorizados y la utilización racional de los recursos naturales que deben ser explotados para extraer el material, es decir que habrá una disminución de la explotación de canteras. Por otra parte, el transporte del material fresado hasta el punto de disposición, era un gasto adicional, que a la hora de realizar el reciclaje in situ contribuirá a la conservación de la malla vial, de la calidad del aire y del suelo, debido a que se ahorra combustible y mantenimientos a los vehículos de transporte de la carga, puesto que este

IMPLEMENTACIÓN DE PAVIMENTOS ASFALTICOS RECICLADOS

procedimiento consiste básicamente en el reprocesamiento de material asfáltico proveniente de carpetas de rodadura, que no suelen superar los 40mm de espesor (Invias,2008)

Según la comparación de las matrices realizadas para evaluar los aspectos e impactos ambientales, se evidencia que para el proceso de reciclaje de pavimento in situ hay una disminución en la sumatoria del impacto por contaminación del suelo causado por la disposición de RCD, pasando de un impacto alto a bajo. Dentro de este beneficio se relaciona la disminución de la contaminación del suelo causada por vertimientos que pueda tener el material fresado, y la dinámica de la disposición final que se debe de tener para este material, evitando de esta manera transportes del material (evitando contaminación por emisiones y gasto de combustibles fósiles), y disposición del material en la cantera (vertimientos).

Así mismo se vio un cambio en la valoración del impacto para los cambios generados en el paisaje debido a la explotación de los recursos, esto teniendo en cuenta que la utilización de reciclados reduce en consumo del agregado natural, impidiendo así el uso del recurso, el uso de explosivos, y la extracción de la capa vegetal que es la que incide directamente en el cambio del paisaje.

Con este estudio se pudo afirmar que en el país se adelantan estudios para la aplicación de técnicas de reciclaje de agregados, poniéndola en practica en varias zonas del país, lo importante es someter estas investigaciones a pruebas, realizar estudios previos y reconocer que, en Colombia, la geología, el clima y la dinámica de la construcción puede variar de lugar en lugar.

El reciclado de pavimentos es un método de alto rendimiento, ya que es una tecnología rápida y eficaz, que se aplica in situ. Los equipos implementados, generan los mismos costos, transporte y tiempo, pero el transporte del material disminuye el costo de transporte, pues este material saldría del fresado de la vía misma.

Según el comparativo realizado a los APU se evidencia que aplicar la tecnología de reciclaje in situ en caliente de pavimento flexible en la Vía Distribuidora del Sur, ofrecerá ahorros aproximados de hasta \$982.206.732,6 de pesos.

La economía de la operación depende evidentemente del porcentaje de material reciclado en la mezcla final y de las condiciones del transporte, tanto de la mezcla reciclada como de los áridos nuevos. En general, pueden darse ahorros entre 30% y el 40% del coste de la mezcla.

Referencias

- Arencibia Gutierrez, E. Junco Horta, J. y Sanchez A (2013). *Análisis de la contaminación atmosférica de la planta de asfalto caliente “Abel Santamaría”, de Coliseo*. Revista Científica Vol. 16 No 3. Recuperado de <https://www.elpais.cr/2016/04/30/impacto-ambiental-de-las-plantas-de-asfalto/#:~:text=UU.%2C%20las%20plantas%20de%20procesamiento,materia%20org%C3%A1nica%20polic%C3%ADlica%20y%20tolueno>.
- Aro Asfaltos y Riegos de Occidente (Oficinas Centrales). (26 de enero de 2019). *Video Animado de el proceso de Pavimentación de carpeta asfáltica*. [Archivo de video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=UKw5USFOHBk&feature=youtu.be>
- Alarcon Ibarra, J. *Capítulo 2. Introducción al reciclado de pavimentos asfálticos*. Recuperado de <https://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/5906/10CAPITULO3.pdf?sequence=10&isAllowed=y>
- Alvarado, J. (26 de mayo de 2017). *¿Cuáles son los beneficios de la construcción sostenible?* - Editorial Construir. Recuperado de <https://revistaconstruir.com/cuales-los-beneficios-la-construccion-sostenible/>
- Baquero, I. O. (2014). Breve Reseña Historica de las Vías en Colombia. Universidad Cooperativa de Colombia.
- Bautista Gordillo, J.D. Loaiza Elizande, N, F. (2018). IMPACTOS DE LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE Y TRADICIONAL A NIVEL AMBIENTAL. SEMILLERO DE COMPETITIVIDAD ECONÓMICA AMBIENTAL (CEA). PROYECTO CURRICULAR ADMINISTRACIÓN AMBIENTAL. Recuperado de <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/bsa/article/download/13613/13959/>
- Bedoya, C. (2003). El concreto reciclado con escombros como generador de hábitats urbanos sostenibles: la ciudad como ecosistema semi-cerrado, una utopía cultural. Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.
- Cachibí. (2018). Mezclas asfálticas instaladas. Disponible en <http://cachibi.co/mezclas-asfalticas-instaladas/>
- Calderon, A. U. (2011). Guía de pruebas de laboratorio y muestreo en campo para la verificación de calidad en materiales de un pavimento asfáltico.
- Carrasco, R. B. (2018). Aplicación del uso de los residuos de construcción para la fabricación de bloques de hormigon en la ciudad de Riobamba, Analisis de costos e Impacto Ambiental. Pontificia Universidad Catolica de Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/14857/TESIS%20MAS%202018%20%28RA%20CARRASCO%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Camacho, H. (2014). “ESTUDIO SOBRE PAVIMENTOS RECICLADOS COMO POSIBLE ALTERNATIVA ECONÓMICA Y AMBIENTAL EN LAS FUTURAS OBRAS DEL PAÍS”. Universidad Militar Nueva Granada.

IMPLEMENTACIÓN DE PAVIMENTOS ASFALTICOS RECICLADOS

- Calle, M. L. (2018-2019). METODOLOGÍAS INTERACTIVAS Y SU INCIDENCIA EN EL RENDIMIENTO ACADÉMICO DIRIGIDO A LOS ESTUDIANTES DE EDUCACIÓN BÁSICA MEDIA DE LA ESCUELA “WALTER ANDRADE FAJARDO” DEL CANTÓN QUEVEDO. Universidad Tecnica de Babahoyo (Ecuador). Recuperado de <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjK3L7n3LfvAhVCw1kKHZmXDLEQFjASegQIDRAD&url=http%3A%2F%2Fdspace.utb.edu.ec%2Fbitstream%2Fhandle%2F49000%2F3463%2FP-UTB-FCJSE-ADSEDU-SECED-000002.pdf%3Fsequence%3D1%26isAllowed%3Dy&usg=AOvVaw1P8bauqhDCvDeY YORnwylo>
- Chipana Benique, B. (2015). Proceso Constructivo de una carretera vial. [En línea] Disponible en: <https://es.slideshare.net/jhefferssonn/proceso-constructivo-de-unacarretera-vial>
- Cipriano. (2020). Historia y origen de los pavimentos de concreto en Colombia. Recuperado de <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/historia-de-pavimentos-de-concreto-en-colombia>
- Correa, J. A. G. (2011). Autopistas de la Montaña: Nuevo Panorama Logístico Antioqueño. Fragua - Universidad de Medellín. Recuperado de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/33852055/Autopistas_de_la_montana.pdf?1401714267=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DAutopistas_de_la_montana.pdf&Expires=1602724898&Signature=Mbwvvr~QAeFKuxO2FrviSnw65ediOnxMEGCNFKfkibehKoHdWJNkj8Ycx8uXNEpfwXnpBsd9ihNDTr23lwBdFzUk0OF2JWFjXGhdLPoolBU4kEqsQOzyqcMf~Ty7cn1yh2HQAAnXmisaB-ar4of73i8lQPnvcTaYmNOSAzWU6lE8k4mU3Bdip38waR5y~v1ks2g~j-9Ffjw960oNZCFYuxyRpWwA1Ojh7o4FCL2-E-KSgwOqApqxzNc8YT8Co9gV5OyADrn~OJSUmBuCulQysYqwoa7Ztlb9O1TDQgL3hhva-2LJPZVcjsqotyfYmjOMF7sjCOgu1b35rmNyG41Lnw_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA
- Contreras Ortega, R. (2014). Comparación técnico-económica y ecológica del reciclado in-situ, empleando asfalto espumado, con métodos convencionales de mantenimiento periódico de pavimentos flexibles. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC). Disponible en <http://hdl.handle.net/10757/322174>
- Diaz, L.G. (noviembre de 2018). Aprovechamiento de los residuos de construccion y demolicion (RCD) en la elaboración de concretos en Colima Villa de Alvarez. División de Estudios de Postgrado e Investigación del Tecnológico Nacional de Mexico. Recuperado de <https://dspace.itcolima.edu.mx/bitstream/handle/123456789/1478/Luis%20Gerardo%20%20C3%ADaz%20%20C3%81lvarez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- EcuRed. (2020). Autopista. Recuperado de <https://www.ecured.cu/Autopista#:~:text=Es%20una%20v%C3%ADa%20de%20circulaci%C3%B3n,diferencian%20de%20una%20carretera%20normal.3>
- Enseñat de Villalonga, A. (2007). Recuperado de Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Recuperado de <http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/download/1180/1313>
- Gangollens, M, Casals, M, Forcada, N, Macarulla, M (Diciembre de 2014). Analysis of the implementation of effective waste management practices in construction projects and

IMPLEMENTACIÓN DE PAVIMENTOS ASFALTICOS RECICLADOS

- sites, Resources, Conservation and Recycling. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344914002249>
- Hernandez, J.L, Sanchez, V, Castillo, I, Hernandez, D, Tellez, R. (2001). IMPACTO AMBIENTAL DE PROYECTOS CARRETEROS. EFECTOS POR LA CONSTRUCCION Y CONSERVACION DE SUPERFICIES DE RODAMIENTO: I PAVIMENTOS FLEXIBLES. SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE. Recuperado de <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt163.pdf>
- Hidroar (2015). Metodología para el Cálculo de las Matrices Ambientales. Recuperado de [www.ambiente.chubut.gov.ar > uploads > 2015/01](http://www.ambiente.chubut.gov.ar/uploads/2015/01)
- Hernández Michaca, J.L, Castillo Chaires, I. Damián Hernández, S.A. Téllez Gutiérrez, R. (2001). IMPACTO AMBIENTAL DE PROYECTOS CARRETEROS. EFECTOS POR LA CONSTRUCCION Y CONSERVACION DE SUPERFICIES DE RODAMIENTO: I PAVIMENTOS FLEXIBLES. Instituto Mexicano del Transporte, Publicación Técnica No. 163.
- Jugo, A. (2015). MANUAL DE MANTENIMIENTO Y REHABILITACION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES. Disponible en: <https://www.yumpu.com/es/document/view/14307061/manual-de-mantenimiento-y-rehabilitacion-vial-documento-sin-titulo>
- León-Velez, A. y Guillén-Mena, V. (2020). Energía contenida y emisiones de CO2 en el proceso de fabricación del cemento en Ecuador. Recuperado de <https://doi.org/10.1590/s1678-86212020000300448>
- Mancera, A. L. O. (2017). Instructivo del Proceso Constructivo de una Vía en Pavimento Flexible. Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas.
- Mather, A, S, Chapman, K. (1995). Environmental Resources. Longman Scientific and Technical. 279 pag. Recuperado de https://books.google.com.co/books/about/Environmental_Resources.html?id=HvnFQgAACAAJ&redir_esc=y
- Merino, E. (2002). La Palentina: planta pionera en el tratamiento y reciclaje de RCD. Ingeopres: Actualidad técnica de ingeniería civil, minería, geología y medio ambiente(103), 56-58. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/extart?codigo=4606118>
- Oficina de Comunicaciones (6 de septiembre de 2012). “Reciclado del pavimento, una técnica viable y económica para las vías”. Colombia. Recuperado de <https://www.invias.gov.co/index.php/sala/noticias/831-reciclado-del-pavimento-una-tecnica-viable-y-economica-para-las-vias>
- Ortiz Marcera, A.L. (2017). *Instructivo del Proceso Constructivo de una Vía en Pavimento Flexible*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogota D.C. Recuperado de <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/6833/OrtizManceraAngieLorenaAnexo-1.pdf;jsessionid=6C8818B7FE493B90DD4E5EC398D83454?sequence=2>
- Pavimentos. (2020) <http://pavimentarsa.com/>
- Restrepo, A, Stephens, S. (2015). Reciclaje de Pavimentos: Estudio de las Ventajas Económicas del reciclaje en Frio IN SITU de Pavimentos Asfálticos. Medellín, Colombia. Universidad de Medellín. Recuperado de https://repository.udem.edu.co/bitstream/handle/11407/2163/TG_EVT_13.pdf?sequenc
- Restrepo Sierra, H. A. (2015). RECICLAJE DE PAVIMENTOS: ESTUDIO DE LAS VENTAJAS ECONÓMICAS DEL RECICLAJE EN FRÍO IN SITU DE PAVIMENTOS ASFALTICOS. UNIVERSIDAD DE MEDELLÍN.

IMPLEMENTACIÓN DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS RECICLADOS

- Reyes Ortiz, O. J. (2011). COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DEL INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO CON ADICIÓN DE PAVIMENTO RECICLADO. UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA, 11.
- Ruíz Rosa, Y. Rosa Domínguez, E. R., Sánchez Berriel, S. Castillo Hernández, L. M. Hernández, J.F., y Suppen Reynaga, N. (2017). Análisis de ecoeficiencia de la producción de cementos de bajo carbono mediante la sustitución de clinker. *Centro Azúcar*, 44(2), 77-88. Recuperado en 25 de noviembre de 2020, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612017000200009&lng=es&tlng=es.
- Sanchez Angel, J.C. Estudio de las ventajas del reciclado in situ en caliente de pavimentos flexibles. uNIVERSIA
- Sánchez Pérez, J. F., & Sánchez Fajardo, M. A. (2009). Impacto socioeconómico implementado al proyecto Transmilenio av. Ciudad de Cali entre la biblioteca el Tintal y el portal de las Américas. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil/286
- Silva, B. F. (2010). EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LOS PAVIMENTOS URBANOS EXTERIORES. Universitat Politècnica de Catalunya. Retrieved from Recuperado de https://www.waie.webs.upc.edu/maema/wp-content/uploads/2016/07/07-Beatriz-Francalacci-da-Silva-Evaluacion-del-impacto-ambiental-de-los-pavimentos-urbanos-exteriores_COMPLETO.pdf
- Vias y Transito. (octubre de 2014). “*ELABORACIÓN DEL PLAN DE MOVILIDAD DEL MUNICIPIO DE ENVIGADO*”. Recuperado en https://www.envigado.gov.co/mega-plan-movilidad/SiteAssets/004_SECCIONES/DOCUMENTOS/2016/10/Estudio%20Megapl%C3%A1n%20de%20Movilidad.pdf

Por intermedio del presente documento en mi calidad de autor o titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra que adjunto, titulada **Análisis de la variación de los costos económicos y las ventajas ambientales, que tiene la implementación de pavimentos asfálticos reciclados en la construcción de la vía distribuidora del sur en Envigado (Antioquia)**, autorizo a la Corporación universitaria Unitec para que utilice en todas sus formas, los derechos patrimoniales de reproducción, comunicación pública, transformación y distribución (alquiler, préstamo público e importación) que me corresponden como creador o titular de la obra objeto del presente documento.

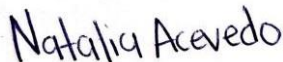
La presente autorización se da sin restricción de tiempo, ni territorio y de manera gratuita. Entiendo que puedo solicitar a la Corporación universitaria Unitec retirar mi obra en cualquier momento tanto de los repositorios como del catálogo si así lo decido.

La presente autorización se otorga de manera no exclusiva, y la misma no implica transferencia de mis derechos patrimoniales en favor de la Corporación universitaria Unitec, por lo que podré utilizar y explotar la obra de la manera que mejor considere. La presente autorización no implica la cesión de los derechos morales y la Corporación universitaria Unitec los reconocerá y velará por el respeto a los mismos.

La presente autorización se hace extensiva no sólo a las facultades y derechos de uso sobre la obra en formato o soporte material, sino también para formato electrónico, y en general para cualquier formato conocido o por conocer. Manifiesto que la obra objeto de la presente autorización es original y la realicé sin violar o usurpar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es de mi exclusiva autoría o tengo la titularidad sobre la misma. En caso de presentarse cualquier reclamación o por acción por parte de un tercero en cuanto a los derechos de autor sobre la obra en cuestión asumiré toda la responsabilidad, y saldré en defensa de los derechos aquí autorizados para todos los efectos la Corporación universitaria Unitec actúa como un tercero de buena fe. La sesión otorgada se ajusta a lo que establece la ley 23 de 1982.

Para constancia de lo expresado anteriormente firmo, como aparece a continuación.

Firma



Nombre: NATALIA ACEVEDO HOYOS

CC: 1037625818

Firma



Nombre: JUANA DEL PILAR ALVAREZ SUAREZ

CC. 43557339



Nombre SEBASTIAN HINESTROZA
ARANGO

CC. 1017127069

Firma