

DRENAJE PARA FILTROS LONGITUDINALES Y POZOS SÉPTICOS EN LOS
SUELOS UTILIZANDO GRAVA, ARENA Y NEUMÁTICO RECICLADO DE
MAQUINARIA PESADA

JULIO CESAR MARÍN GASPAR
KEVIN ANDRÉS QUIROGA VANEGAS

UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
PEREIRA
2015

DRENAJE PARA FILTROS LONGITUDINALES Y POZOS SÉPTICOS EN LOS
SUELOS UTILIZANDO GRAVA, ARENA Y NEUMÁTICO RECICLADO DE
MAQUINARIA PESADA

JULIO CESAR MARÍN GASPAR
KEVIN ANDRÉS QUIROGA VANEGAS

Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de:
Ingeniero Civil

Directora:

GLORIA MILENA MOLINA VINASCO
Ingeniero(a) Civil
MSc Ingeniería Civil

UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
PEREIRA
2015

Nota de aceptación

Jurado

Jurado

Pereira, Julio del 2015

... A Dios gracias por tu gran misericordia, por no llevar en cuenta mis errores y darme tu bendición cada día.

... A mi abuela que se lo orgullosa que esta de mí, este logro es para ella en especial por creer en mí en todo momento y no desampararme nunca.

... A mis padres por la confianza depositada, todo el apoyo brindado y por la oportunidad de realizar mi formación profesional.

... A toda mi familia por sus buenos deseos, por los momentos felices compartidos y sobre todo porque estuvieron siempre que los necesite en tiempos de dificultad.

Kevin Andrés Quiroga Vanegas

...En primer lugar dedico este trabajo a Dios por permitirme alcanzar las metas que me propongo.

...A mis padres ya que durante toda su vida se han dedicado a enseñarme los mejores valores y a formarme como ser humano.

...A mi hermana que cuando más la he necesitado siempre ha estado a mi lado apoyándome.

...A todas estas personas a quienes admiro y respeto, este logro es para ustedes.

Julio Cesar Marín Gaspar

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Libre Seccional Pereira, a la facultad de Ingenierías y en especial al programa de Ingeniería Civil.

A la Ingeniera Gloria Milena Molina Vinasco monitora de la presente tesis, por su gran colaboración en el desarrollo de este proyecto.

A todos los docentes del pregrado que tanto nos aportaron en nuestra formación profesional pero sobre todo por las enseñanzas y experiencias que nos ayudaron a mejorar como personas.

A todos los compañeros de estudio con los que compartimos maravillosos momentos que nunca se olvidaran.

A los compañeros Ervin Meneses y Yenier Henao que aportaron ideas y propuestas para la realización de este proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	17
1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	19
2. JUSTIFICACIÓN.....	21
2.1 ASPECTOS QUE SE MEJORARÍAN CON EL RECICLAJE Y REUTILIZACIÓN DEL NEUMÁTICO.....	21
2.1.1 Ambiental.....	21
2.1.2 Social.....	21
2.1.3 Económica.....	21
2.2 VENTAJAS DE LA REUTILIZACIÓN DEL CAUCHO TRITURADO EN LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS.....	22
2.3 APLICACIONES DIRECTAS DEL NEUMÁTICO RECICLADO EN LA INGENIERÍA DE CARRETERAS.....	23
2.4 OPORTUNIDADES EN LA INGENIERÍA CIVIL PARA LLANTAS ENTERAS.....	23
2.5 OPORTUNIDADES EN LA INGENIERÍA CIVIL PARA LLANTAS TRITURADAS.....	24
2.6 PROPIEDADES DEL NEUMÁTICO YA ESTUDIADAS.....	25
3. OBJETIVOS.....	26
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	26
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	26
4. ANTECEDENTES.....	27
4.1 MATERIAL DE DRENAJES.....	27
4.2 SEGUNDA VIDA DE LOS NEUMÁTICOS USADOS.....	27
4.3 INFORME REALIZADO POR LA ASOCIACIÓN EUROPEA DE FABRICANTES DE NEUMÁTICOS Y PRODUCTOS DE CAUCHO (ETRMA).....	28
4.4 EL CAUCHO, UN MATERIAL CON MÚLTIPLES UTILIDADES.....	29
4.5 POZO SÉPTICO.....	29
4.6 USO DE GOMAS TRITURADAS COMO AGREGADO PARA MEZCLA DE CONCRETO.....	30
4.7 USO DE LA GOMA TRITURADA EN VERTEDEROS.....	31
4.8 USO DE LA GOMA TRITURADA PARA ABSORCIÓN DE METALES PESADOS Y SUSTANCIAS CONTAMINANTES.....	31
4.9 LLANTAS: SITUACIÓN ACTUAL Y OPORTUNIDADES LOCALES PARA LA INGENIERÍA CIVIL EN PUEBLA, MÉXICO.....	32
4.9.1 Generación de Energía.....	33
4.10 GESTIÓN DE LA VALORIZACIÓN (MATERIAL Y ENERGÉTICA) DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO (NFU).....	34

4.11	DISEÑO PRELIMINAR DE UNA PLANTA RECUPERADORA, PARA USOS ALTERNOS, DE LOS MATERIALES CONSTITUYENTES DE NEUMÁTICOS USADOS.	35
4.12	ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CREACIÓN DE UNA EMPRESA PARA EL APROVECHAMIENTO INDUSTRIAL DE LLANTAS USADAS EN EL MUNICIPIO DE SOGAMOSO.....	38
4.13	GUÍA PARA EL MANEJO DE LLANTAS USADAS	39
4.14	VIABILIDAD TÉCNICO – ECONÓMICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA RECICLADORA DE NEUMÁTICOS EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO.	41
4.15	PLAN DE NEGOCIOS DE RECICLADO DE LLANTAS USADAS COMO OPORTUNIDAD DE NEGOCIOS, EN LA UTILIZACIÓN DE PRODUCTOS INNOVADORES.	42
4.15.1	Productos y/o Servicios Sustitutos.	42
4.15.2	Descripción Producto	42
4.15.3	Utilización en obras públicas	43
4.16	EVALUAR LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE DOS DISEÑOS DE MEZCLA EXPERIMENTAL DE CONCRETO UTILIZANDO COMO AGREGADO FINO 25% DE ARENA Y 75% DE CAUCHO MOLIDO Y 75% DE ARENA Y 25% DE CAUCHO MOLIDO.	44
4.17	DIAGNÓSTICO DE LAS CONDICIONES SUPERFICIALES Y EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO DE LAS VÍAS CONSTRUIDAS POR EL INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO CON ASFALTO MODIFICADO CON CAUCHO RECILADO DE LLANTA (GCR), EN LAS LOCALIDADES DE FONTIBÓN, BOSA Y TEUSAQUILLO, EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ.	45
4.17.1	Por vía húmeda.....	47
4.18	FACTIBILIDAD DE SUSTITUCIÓN DEL AGREGADO FINO DEL CONCRETO POR FIBRAS DE TERMOPLÁSTICOS Y ELASTÓMEROS RECICLADOS	47
4.19	REUTILIZACIÓN, RECICLADO Y DISPOSICIÓN FINAL DE NEUMÁTICOS.	49
4.19.1	Neumáticos convertidos en energía eléctrica.	49
4.19.2	USOS TRAS EL RECICLADO.	50
4.19.3	El uso de caucho de cubiertas en mezclas asfálticas.	50
5.	MARCO METODOLÓGICO	52
5.1	FASE 1. CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL	52
5.2	FASE 2. ENSAYO DE LABORATORIO A CABEZA CONSTANTE	53
5.3	FASE 3. CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL PARA UN MODELO DE MAYOR ESCALA.....	54
5.4	FASE 4. ENSAYO DE PERMEABILIDAD A CABEZA CONSTANTE EN EL MODELO CONSTRUIDO A UNA ESCALA MAYOR EN REFERENCIA AL EQUIPO DE LABORATORIO	56
5.5	FASE 5. APLICACIÓN DE CARGA PARA MEDIR DEFORMACIÓN ..	57

5.6	FASE 6. PRUEBA DE COMPORTAMIENTO DE MATERIAL FILTRANTE EN UN MODELO DE POZO SÉPTICO.....	57
5.7	FASE 7. ANÁLISIS DE PH PARA LAS MUESTRAS DEL FLUIDO RECOGIDAS DEL MODELO DE POZO SÉPTICO.....	61
5.8	FASE 8 PRUEBAS DE DESGASTE DEL NEUMÁTICO RECICLADO DE MAQUINARÍA PESADA.....	62
6.	MARCO JURÍDICO.....	64
6.1	GRANULOMETRÍAS - NORMA NTC 2572 INVIAS.	64
6.2	PERMEABILIDAD - I.N.V.E- 130 – 07.....	64
6.3	APLICACIÓN COMO POZOS SEPTICOS Y TRAMPA DE GRASAS – NTC 1500 CÓDIGO COLOMBIANO DE FONTANERÍA.....	65
6.4	RELACIÓN DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO (CBR DE LABORATORIO) I.N.V. E – 148 – 07	65
6.5	ARTÍCULO 673 - 07 SUBDRENES CON GEOTEXTIL Y MATERIAL GRANULAR 673.1 DESCRIPCIÓN.....	66
6.6	RESISTENCIA AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS GRUESOS DE TAMAÑOS MAYORES DE 19 MM (3/4") POR MEDIO DE LA MAQUINA DE LOS ANGELES I.N.V. E – 219-07.....	66
6.7	SANIDAD DE LOS AGREGADOS FRENTE A LA ACCIÓN DE LAS SOLUCIONES DE SULFATO DE SODIO O DE MAGNESIO I.N.V. E – 220 – 07.....	67
7.	MARCO TEÓRICO	68
7.1	PERMEABILIDAD EN LOS SUELOS.....	68
7.2	FLUJO DE AGUA EN EL SUELO	70
7.2.1	Clasificación según su movilidad.....	71
7.3	MÉTODO DIRECTO DE CAMPO Y LABORATORIO.....	73
7.4	MÉTODO INDIRECTO DE CAMPO DE LABORATORIO Y ANALÍTICO	73
7.4.1	Método a partir de la curva granulométrica (analítico de laboratorio). .	73
7.5	FILTROS.....	74
7.6	DRENAJE	74
7.6.1	Drenaje superficial.	75
7.6.2	Tipos de Obra de Drenaje Superficial	76
7.7	TRAMPA DE GRASA.....	77
7.7.1	Requisitos previos.....	77
7.7.2	Características de la trampa de grasa.....	78
8.	RESULTADOS.....	80
8.1	GRANULOMETRÍA PARA PIEDRA DE CANTERA	80
8.2	ENSAYOS DE LABORATORIO PARA DETERMINAR EL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD A CABEZA CONSTANTE	81
8.2.1	Permeabilidad para piedra de cantera de diámetro 1”.....	81
8.2.2	Permeabilidad para neumático de 1”x1”	83
8.2.3	Permeabilidad mixto (arriba neumático, abajo piedra de cantera)	85
8.2.4	Permeabilidad mixto (abajo neumático, arriba piedra de cantera)	87

8.2.5	Permeabilidad por capas (piedra de cantera, neumático, piedra de cantera, neumático)	88
8.3	GRANULOMETRÍA PARA PIEDRA DE MANO.....	90
8.4	ENSAYOS DE LABORATORIO PARA DETERMINAR LA PERMEABILIDAD A CABEZA CONSTANTE EN EL MODELO CONSTRUIDO A UNA ESCALA MAYOR	91
8.4.1	Permeabilidad para grava de diámetro 12 cm.	91
8.4.2	Permeabilidad para neumático usado de maquinaria pesada 10cm x 10cm	93
8.4.3	Permeabilidad mixto (arriba neumático, abajo grava).....	94
8.4.4	Permeabilidad mixto (arriba grava, abajo neumático).....	96
8.4.5	Permeabilidad por capas (grava, neumático, grava, neumático)	97
8.5	APLICACIÓN DE CARGA PARA MEDIR DEFORMACIÓN	99
8.6	MEDIDA DEL PH DE LOS SUELOS EN EL MODELO DE POZO SÉPTICO	102
8.7	NEUMÁTICO RECICLADO DE MAQUINARIA PESADA COMO MATERIAL FILTRANTE EN UN SISTEMA DE POZO SÉPTICO.....	102
9.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	104
9.1	COMPARACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA LOS MATERIALES ESTUDIADOS EN SUS DIVERSAS COMBINACIONES.....	104
9.1.1	Permeabilidad determinada en el equipo de laboratorio.....	104
9.1.2	Permeabilidad hallada en el modelo construido a una escala mayor	105
9.2	COMPARACIÓN DE LA DEFORMACIÓN DE LOS MATERIALES TRABAJADOS EN LA INVESTIGACIÓN EN SUS DIFERENTES COMBINACIONES.....	105
9.3	PH DE LAS MUESTRAS DE LOS SUELOS TOMADOS A LA ENTRADA Y SALIDA DEL MODELO DE POZO SÉPTICO	106
9.4	CANTIDAD DE SEDIMENTOS RETENIDOS EN EL MODELO DE POZO SÉPTICO	107
	CONCLUSIONES	108
	BIBLIOGRAFÍA.....	110
	ANEXOS	112

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1 . Capacidad y medidas del balde	56
Tabla 2. Materiales y Pesos con los que se trabajó en el pozo séptico	59
Tabla 3. Permeabilidad intrínseca de algunos tipos de suelos	69
Tabla 4. Clasificación de la permeabilidad.....	70
Tabla 5. Granulometría piedra de cantera 1”	80
Tabla 6. Permeabilidad y Caudal piedra de cantera 1”	82
Tabla 7. Permeabilidad y caudal para neumático triturado de 1”	84
Tabla 8. Permeabilidad y Caudal para dos materiales (arriba neumático 1”, abajo piedra de cantera 1”).....	85
Tabla 9. Permeabilidad y caudal para dos materiales (arriba piedra de cantera 1”, abajo neumático 1”)	87
Tabla 10. Permeabilidad y caudal de dos materiales de 1” combinados por capas (piedra de cantera, neumático, piedra de cantera, neumático)	88
Tabla 11. . Granulometría piedra de mano	90
Tabla 12. Permeabilidad piedra de mano con diámetro 12 cm	91
Tabla 13. Permeabilidad neumático de 10 cm	93
Tabla 14. Permeabilidad de dos materiales (neumático de maquinaria pesada 10 cm, piedra de mano de diámetro 12 cm)	94
Tabla 15. Permeabilidad de dos materiales (piedra de mano de diámetro 12 cm, neumático de maquinaria pesada de 10 cm).....	96
Tabla 16 . Permeabilidad de dos materiales combinados en capas (piedra de mano de diámetro 12 cm, neumático de maquinaria pesada de 10 cm)	98
Tabla 17. Esfuerzo y Deformación del neumático de maquinaria pesada 10 cm	100
Tabla 18. Deformación y Esfuerzo de dos materiales combinados en capas (piedra de mano diámetro 12 cm, neumático de maquinaria pesada 10 cm))	100
Tabla 19. Deformación de dos materiales (neumático de maquinaria pesada de 10 cm ubicado en la parte superior, piedra de mano de diámetro 12 cm ubicada en la parte inferior).....	101
Tabla 20. Deformación de dos materiales (neumático de maquinaria pesada de 10 cm ubicado en la parte inferior, piedra de mano de diámetro 12 cm ubicada en la parte superior).....	101
Tabla 21. PH de los suelos	102
Tabla 22. Pesos y porcentajes de los suelos retenidos en el modelo de pozo séptico	103
Tabla 23. Resultados de permeabilidad y cauda la cabeza constante con el equipo del laboratorio.....	104

Tabla 24. Resultados de permeabilidad y caudal a cabeza constante con el modelo construido a una escala mayor	105
Tabla 25. Comparación de la deformación	106
Tabla 26. PH de los suelos	106
Tabla 27. Información de los materiales en el modelo de pozo séptico	107
Tabla 28. Cantidad y Productos empleados	116

LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Grafico 1. Curva granulométrica grava 1"	81
Grafico 2. Permeabilidad piedra de cantera 1"	82
Grafico 3. Caudal piedra de cantera 1"	83
Grafico 4. Permeabilidad neumático triturado 1" en relación a la cantidad de agua	84
Grafico 5. Caudal neumático triturado 1" en relación a la cantidad de agua	85
Grafico 6 . Permeabilidad de dos materiales de 1" (arriba neumático, abajo piedra de cantera).....	86
Grafico 7. Caudal de dos materiales de 1" (arriba neumático, abajo piedra de cantera).....	86
Grafico 8. Permeabilidad de dos materiales de 1"(abajo neumático, arriba piedra de cantera).....	87
Grafico 9. Caudal de dos materiales de 1"(abajo neumático, arriba piedra de cantera).....	88
Grafico 10. Permeabilidad de dos materiales de 1" combinados por capas (arriba piedra de cantera, abajo neumático, piedra de cantera, neumático) ...	89
Grafico 11. Caudal de dos materiales de 1" combinados por capas (arriba piedra de cantera, abajo neumático, piedra de cantera, neumático)	89
Grafico 12. Curva granulométrica para la piedra de mano	90
Grafico 13 . Permeabilidad piedra de mano de diámetro 12 cm.....	92
Grafico 14. Caudal piedra de mano de diámetro 12 cm	92
Grafico 15. Permeabilidad neumático maquinaria pesada de 10 cm.....	93
Grafico 16. Caudal neumático maquinaria pesada de 10 cm	94
Grafico 17. Permeabilidad de dos materiales (neumático de maquinaria pesada 10 cm, piedra de mano de diámetro 12 cm)	95
Grafico 18. Caudal de dos materiales (neumático de maquinaria pesada 10 cm, piedra de mano de diámetro 12 cm).....	95
Grafico 19. Permeabilidad de dos materiales (piedra de mano de diámetro 12 cm, neumático de maquinaria pesada de 10 cm).....	97
Grafico 20. Caudal de dos materiales (piedra de mano de diámetro 12 cm, neumático de maquinaria pesada de 10 cm).....	97
Grafico 21. Permeabilidad de dos materiales combinados en capas (piedra de mano de diámetro 12 cm, neumático de maquinaria pesada de 10 cm)	98
Grafico 22. Permeabilidad de dos materiales combinados en capas (piedra de mano de diámetro 12 cm, neumático de maquinaria pesada de 10 cm)	99

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Neumático reciclado de maquinaria pesada triturado de 1"x1"	52
Figura 2. Proceso de tamizado para determinar la granulometría del material de cantera.....	53
Figura 3. Neumático reciclado de maquinaria pesada	55
Figura 4. Piedra de mano	55
Figura 5. Modelo construido a una escala mayor en referencia al equipo de laboratorio para determinar la permeabilidad a cabeza constante	56
Figura 6. Equipo montado para medir la deformación.....	57
Figura 7. Modelo construido de Pozo séptico	58
Figura 8. Muestras de los suelos a trabajar en el modelo de pozo séptico	59
Figura 9. Fluido corriendo por el modelo de pozo séptico	60
Figura 10. Eficacia del neumático reciclado de maquinaria pesada como material filtrante	60
Figura 11. Muestras de los suelos disueltos en agua tomadas a la entrada y salida del modelo de trampa de grasas.....	61
Figura 12. Medida del PH del fluido con un PH metro digital	62
Figura 13. Prueba de desgaste del material en la máquina de los Ángeles	63
Figura 14. Perdida de solidez del material por la solución de sulfato de sodio.....	63
Figura 15. Altura del recipiente	112
Figura 16. Diámetro del recipiente	112
Figura 17. Altura tambor metálico	113
Figura 18. Diámetro tambor metálico	113
Figura 21. Piezas instaladas en el recipiente	115
Figura 22. Recipiente terminado	115
Figura 23. Materiales que se utilizaron para la construcción del modelo.....	117
Figura 24. Sistema de pozo séptico construido.....	118
Figura 25. Elementos del recipiente trampa de grasas	119
Figura 26. Tanque séptico	119
Figura 27. Tanque anaeróbico	120

LISTA DE ANEXOS

Pág.

Anexo A. Procedimiento de construcción de equipo para medir permeabilidad a cabeza constante.....	112
Anexo B. Anexo B. procedimiento para construcción de equipo de trampa de grasas, tanque séptico y filtro anaeróbico.....	116

RESUMEN

Este proyecto se centra en la funcionalidad y eficacia de los neumáticos usados de maquinaria pesada para filtros en los suelos y pozos sépticos con el fin de reemplazar la piedra de mano. Para este proceso se realizaron ensayos de permeabilidad a cabeza constante utilizando el equipo de laboratorio y modelos construidos a una escala mayor referenciado por la norma I.N.V.E- 130 – 07, análisis de deformación aplicando cargas siguiendo la norma del CBR de laboratorio I.N.V. E – 148 – 07, clasificación del material granulométrico guiado por la Norma Técnica Colombiana 2572 INVIAS; pruebas de desgaste del material en la máquina de los ángeles aplicando la norma I. N. V. E – 219-07; pérdida de solidez de los agregados frente a la acción de la solución de sulfato de sodio según la norma I.N.V. E – 220 – 07 y pruebas hechas en un modelo de pozo séptico construido para comprobar que el neumático reciclado de maquinaria pesada cumple con la función de material filtrante como lo expresa la NTC 1500 código colombiano de fontanería.

Para el equipo de laboratorio con medidas granulométricas de los materiales 2.5 cm x 2.5 cm para el caucho reciclado y con un diámetro de 2.5 cm para la piedra de cantera, como para el modelo construido a una escala mayor con medidas granulométricas de 10 cm x 10 cm para el neumático fuera de uso y un diámetro de 12 cm para la piedra de mano se pudo determinar que el coeficiente de permeabilidad a presión constante para ambos materiales es igual; la menor deformación se midió cuando se combinaron los dos materiales en un modelo capaz aplicando una carga máxima de 40 kg, pero es recomendable usar la mezcla de piedra de mano en la parte superior y el neumático de en la parte inferior debido a su fácil acomodación; se observó que el neumático reciclado de maquinaria pesada es una buena alternativa como material filtrante y su desgaste es tan mínimo que se puede despreciar.

En conclusión se pudo demostrar que el material objeto de estudio cumple la misma función y eficacia que la grava usada en filtros tradicionales, obteniendo en algunos casos resultados superiores a lo esperado.

PALABRAS CLAVES: Permeabilidad, neumáticos usados, filtros, pozo séptico, drenaje.

ABSTRAC

This project focuses on the functionality and performance of tires used heavy machinery for soil filters and septic tanks in order to replace the stone hand. For this process permeability tests were performed at constant head using laboratory equipment and models built on a larger scale INVE- 130 referenced by the standard - 07, applying loads deformation analysis following standard laboratory CBR INV E - 148-07, grain size classification of materials guided by the Colombian Technical Standard INVIAS 2572; wear testing machine material Angels applying the rule INV E - 219-07; loss of strength of the aggregates against the action of the sodium sulphate solution according to EN INV E - 220-07 and tests done on a model built septic tank to check the tire recycling heavy machinery performs the function of filtering material as expressed by the NTC 1500 Colombian plumbing code.

For laboratory equipment with particle size material measures 2.5 cm x 2.5 cm for recycling rubber and with a diameter of 2.5 cm to quarry stone, as for the model built on a larger scale with particle size measures 10 cm x 10 cm for the tire out of use and a diameter of 12 cm for hand stone was determined that the permeability coefficient at constant pressure is equal for both materials; the less deformation was measured when the two materials are combined in four can apply a maximum load of 40 kg, but it is advisable to use the mixture of stone hand at the top and the tire at the bottom due to its easy accommodation; it was observed that the heavy equipment tire recycling is a good alternative as filter material and wear is so minimal that it can be neglected.

In conclusion it could be shown that the material under study has the same function and efficiency gravel used in traditional filters, obtaining in some cases higher than expected results.

KEYWORDS: Permeability, used tires, filters, septic tank, drainage.

INTRODUCCIÓN

Debido al crecimiento del parque automotor de Colombia en los últimos años se ha producido un alza en el uso de neumáticos, lo que conlleva un incremento de desechos de los mismos al concluir su vida útil. Sus propietarios no saben qué hacer con ellos, por lo que recurren a cometer acciones que terminan siendo una problemática ambiental, social y económica, como lo describe según un informe realizado por la Asociación Europea de Fabricantes de Neumáticos y Productos de Caucho (ETRMA, en sus siglas en inglés), aunque todas estas acciones negativas pueden cambiar si se realiza un proceso eficiente de reciclado de neumáticos al final de su vida útil en actividades donde sea útil el caucho.

El neumático reciclado se ha venido utilizando en diversos proyectos de obras civiles tales como, en rellenos ligeros de terraplenes y construcción de taludes según lo dice el informe realizado por Roció Sánchez en el año 2012 llamado “Segunda vida de los neumáticos usados”, también en capas de drenajes para vertederos que ha sido un tema ampliamente estudiado por especialistas tales como Cosgrove en el año 1995 y Edil Et Al en el año 2004, se ha usado en sistemas de drenajes para carreteras constatado por el estudio que hizo la Universidad de Illinois, Urbana-Champaign y es útil para equipamientos viales y ferroviarios referenciado por la Federación Española de la Recuperación y el Reciclaje (FER) miembro actual del Comité Organizador de SRR y expuesto en su artículo del año 2010 titulado “El caucho, un material con múltiples utilidades”.

El objetivo de este proyecto es observar el comportamiento y determinar la eficiencia de los neumáticos usados de maquinaria pesada con una granulometría estándar. En la metodología se reemplaza el material granular comúnmente utilizado en filtros longitudinales para suelos y en los tanques anaeróbicos de los pozos sépticos, por el neumático triturado. Para medir su eficiencia fue necesario realizar ensayos de permeabilidad a cabeza constante haciendo uso del equipo de laboratorio de suelos de la Universidad Libre Seccional Pereira y un modelo construido del mismo por los estudiantes a una escala mayor, deformación del material que se midió con un deformímetro, se elaboró un modelo de pozo séptico en donde se determinó la eficiencia del neumático reciclado como material filtrante y para finalizar se hicieron ensayos de desgaste del material en la máquina de los Ángeles y por sulfato de sodio. Todas las pruebas fueron comparadas con respecto a la eficiencia del sistema tradicional siguiendo sus respectivas normas.

El contenido del documento presenta un capítulo introductorio que comprende la problemática a la que nos enfrentamos, una justificación que dice el porqué es beneficioso ponerle fin al problema, el objetivo general que es la meta a la cual se quiere llegar, unos objetivos específicos siendo estos los pasos a seguir para cumplir a cabalidad con nuestra misión y unos antecedentes en donde se hace referencia a algunos de los trabajos e investigaciones relacionadas con el uso de neumáticos reciclados en obras de ingeniería civil, en donde los resultados obtenidos fueron muy positivos, un capítulo de desarrollo donde se muestra la metodología que se llevó a cabo durante toda la investigación, el marco jurídico el cual dice las normas que se debieron aplicar para cada ensayo de laboratorio y un marco teórico en donde se hace una descripción de los fundamentos teóricos que sirven de base para el trabajo de investigación a realizar y un capítulo final donde se muestra los resultados obtenidos en las diversas pruebas de laboratorio, análisis de resultados en donde se compara el comportamiento del material objeto de estudio (neumático reciclado) con la eficiencia del material tradicional (grava) y unas conclusiones donde se determina la eficacia del caucho.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Con el Tratado de Libre Comercio (TLC) en vigencia el parque automotor ha venido en creciente con lo que se espera tener para el año 2020 en Colombia 3.5 millones de vehículos según los estudios del BBVA¹.

Cada año, cerca de 1.000 millones de neumáticos llegan al final de su vida útil en todo el mundo generando un problema medio ambiental. El humo de los neumáticos al ser quemados produce monóxido de carbono (CO₂) el cual es un peligro toxico que perjudica tanto a los seres vivos como al planeta, además al ser dejados a la intemperie se presta a la propagación de mosquitos causantes de enfermedades.

Dichos neumáticos son reutilizados en diversos campos tales como el relleno de césped artificial, aplicaciones ornamentales y barreras de protección en circuitos de seguridad, entre otros. También han sido utilizados en obras civiles como relleno ligero de terraplenes, construcción de taludes y diversas actividades de la Ingeniería Civil. Su gran poder calorífico (7.500 Kcal/kg) lo convierte también en una gran fuente de combustible. Sin embargo estos usos no llegan a ser suficientes para la cantidad de neumáticos que son desechados anualmente al final de su vida útil a nivel global.

A continuación se presenta un esquema del árbol del problema donde se muestra las causas y efectos producidos por esta problemática:

¹ BBVA, Situación automotriz: Colombia, (2013), [En línea], Disponible en <https://www.bbvarsearch.com/wp-content/uploads/migrados/140410_Situaci_nAutomotriz_Colombia2013_tcm346-444417.pdf>[Recueprado en Agosto 18 del 2014]

Ilustración 1. Árbol del problema

EFFECTOS

Daño a ecosistemas

Alteración de las condiciones ambientales

Problema para eliminar residuos

LA CONTAMINACIÓN DEL NEUMÁTICO USADO Y LA EXPLOTACIÓN DE MATERIALES PÉTREOS EN EL USO DE FILTROS

Impacto ambiental por Explotación de agregados pétreos

Degradación lenta de los neumáticos

Oferta y Demanda excesiva de neumáticos

CAUSAS

Fuente: Elaboración de los autores

2. JUSTIFICACIÓN

Existen diversas ideas que pueden ayudar a reducir el problema del apilamiento de grandes cantidades de neumáticos en los vertederos, muchas de estas soluciones están enfocadas a la reutilización del caucho como material impermeable, de aislamiento o como combustible, sin embargo se cree que los beneficios de la reutilización del caucho de la llanta van más allá de las soluciones que se tienen hasta este momento.

2.1 ASPECTOS QUE SE MEJORARÍAN CON EL RECICLAJE Y REUTILIZACIÓN DEL NEUMÁTICO.

2.1.1 Ambiental. Con la reutilización de neumáticos en filtros para suelos y como material filtrante en pozos sépticos se ayuda a mitigar el impacto ambiental que estos producen al ser desechados de una manera incorrecta; disminuyendo el uso de material granular conservando una cantidad importante de recursos naturales; también se reduce el nivel de dióxido de carbono (CO₂) que se genera al ser quemados y por lo tanto se mejora la calidad de aire.

2.1.2 Social. Reciclando los neumáticos que son abandonados en las calles se reduce la contaminación visual mejorando así la perspectiva social y se disminuye la cantidad de neumáticos expuestos a la intemperie evitando la propagación de enfermedades que genera la proliferación de mosquitos.

2.1.3 Económica. Al buscar una actividad de uso para los neumáticos al final de su vida útil se ayuda a generar una fuente de ingresos para aquellas personas que se encarguen de recolectarlos y procesarlos.

2.2 VENTAJAS DE LA REUTILIZACIÓN DEL CAUCHO TRITURADO EN LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS

A continuación se realiza una lista donde se describe las ventajas que se tienen en la aplicación del neumático usado para la construcción de carreteras.

- Ahorro en la cantidad de aglomerado asfáltico necesario. Como aditivo de betunes asfálticos en carreteras, en una proporción que puede alcanzar el 2,5% en capas de rodadura.

- Tiene una duración de 2 a 4 veces superior al asfalto convencional. El polvo de caucho absorbe los componentes más ligeros del betún, retardando o impidiendo su pérdida por volatilización.

- Aligera el peso de los tableros en los puentes.

- Tiene excelentes propiedades contra el deslizamiento de vehículos y contra la formación de hielo.

- La rugosidad de la banda de rodadura, le proporciona un excelente drenaje, Reduciendo de esta forma los riesgo de “acuaplaning” y las proyecciones de partículas de agua que reducen la visibilidad.

- Las superficies de las bandas de rodadura, preparadas con éste asfalto, presentan un acabado mate, lo que significa una importante reducción en la reflexión de la luz de los automóviles.

- Se reduce el nivel del ruido del tráfico.

- Soporta mejor la intensidad del tráfico. Mayor resistencia mecánica del asfalto (70% mayor).

- Disminución del desgaste de los neumáticos de los vehículos que ruedan por ellas.

- Menor riesgo de agrietado porque se adaptan mejor a los cambios de temperatura.

- Mayor flexibilidad del pavimento.

2.3 APLICACIONES DIRECTAS DEL NEUMÁTICO RECICLADO EN LA INGENIERÍA DE CARRETERAS.

A continuación se muestra una lista de actividades en donde describe una serie de aplicaciones directas del neumático usado para la ingeniería de carreteras.

- Rellenos ligeros.

- Muros de contención.

- Relleno para Taludes.

- Aislante para evitar la penetración por congelamiento.

- Drenaje Francés.

- Uso de llantas enteras como muros de contención.

2.4 OPORTUNIDADES EN LA INGENIERÍA CIVIL PARA LLANTAS ENTERAS

Las llantas enteras usadas son utilizadas desde hace décadas en numerosas aplicaciones, por lo que se ha realizado una lista de actividades en donde su uso resulta útil y efectivo cumpliendo con su labor.

- Señalamiento de los costados de las carreteras.

- Elemento de contención en parques y terrenos de juego.

- Rompeolas.

- Obstáculos para el tránsito.

- Arrecifes artificiales para la cría de peces y mariscos.

- Drenaje en campos de deporte y pistas deportivas.
- Planchas para revestimientos y baldosas.
- Productos moldeados y bandejas.
- Guardabarros de vehículos.
- Aislantes para cables.
- Cintas transportadoras y componentes reparadores.
- Juntas de expansión.
- Tuberías porosas de irrigación.
- Superficies no deslizantes y cubiertas de barcos.
- Cintas de carga y descarga.
- Revestimientos para suelos de hospitales y pisos industriales.
- Proyectos para la construcción de rellenos sanitarios, considerando la estabilización del manto impermeable con una estructura de caucho amarrados entre sí.

2.5 OPORTUNIDADES EN LA INGENIERÍA CIVIL PARA LLANTAS TRITURADAS

En la siguiente lista se describe las razones por las que se usan llantas trituradas en proyectos de Ingeniería Civil.

- Son ligeras (de 40 a 60 libras por pie cúbico).
- Ecurrimiento libre (Permeabilidad mayor que 10 cm/s).
- Baja presión sobre la tierra (por ejemplo: un 50 % más bajo en la base de un muro de 16 pies).
- Buen aislante térmico (8 veces mejor que la grava).
- Durable.
- Compresible.

- Para muchas aplicaciones, son las soluciones más económicas.
- Hay millones de llantas enteras.
- Los tiraderos presentan problemas importantes como: fuego, problemas de salud, entre otros.
- Al usarlas se conservan recursos naturales.

2.6 PROPIEDADES DEL NEUMÁTICO YA ESTUDIADAS

En la siguiente lista se muestran propiedades del neumático reciclado ya estudiadas, las cuales se tuvieron en cuenta en todas las actividades anteriores.

- Gradación.
- Peso específico y capacidad de absorción de agua.
- Peso Compacto.
- Compresibilidad.
- Módulo de Resiliencia.
- Tiempo de asentamiento de rellenos de llantas trituradas.
- Presión lateral de la tierra.
- Resistencia al cortante.
- Permeabilidad.
- Conducción Termal.
- Efecto de las llantas trituradas en la durabilidad del pavimento.
- Deflexiones del Pavimento.
- Esfuerzo de tensión en pavimentos.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el comportamiento en drenajes para filtros longitudinales y pozos sépticos en los suelos utilizando grava, arena y neumático reciclado de maquinaria pesada.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la permeabilidad de los neumáticos reciclados de maquinaria pesada, evaluando diferentes granulometrías.
- Realizar un diseño de pozo séptico para observar la eficiencia del neumático reciclado de maquinaria pesada como material filtrante.
- Evaluar la deformación y desgaste del material.

4. ANTECEDENTES

A continuación se hace referencia a algunos de los trabajos e investigaciones relacionadas con el uso de neumáticos reciclados en la aplicación de obras ingenieriles cuyos resultados obtenidos han sido muy positivos.

4.1 MATERIAL DE DRENAJES

De acuerdo con un estudio realizado por la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign, los neumáticos triturados han demostrado ser un excelente material de drenaje en los sistemas de residuos contaminantes, como los vertederos. La adición de neumáticos desmenuzados, en trozos de 4 a 6 pulgadas (10 a 15 cm), a los rellenos sanitarios permite que el agua fluya en una dirección predeterminada, manteniendo la basura en el relleno sanitario, y evitando así, contaminar el agua subterránea. Además, el uso de los neumáticos triturados como drenaje del vertedero ahorra dinero que normalmente se gasta en arena o grava para crear el drenaje. Reemplazar la grava.

Debido a que los neumáticos deben ser triturados antes de que puedan ser eliminados, por lo general es más barato comprar neumáticos triturados que grava. En cualquier lugar donde se utiliza grava normalmente, los neumáticos triturados a menudo funcionan porque son pesados como la grava y permiten que el agua fluya con facilidad. Por ejemplo, los neumáticos triturados son un gran sustituto de la grava que mantiene intacto un muro de contención².

4.2 SEGUNDA VIDA DE LOS NEUMÁTICOS USADOS

Los rellenos ligeros también pueden utilizarse sobre estructuras o tuberías enterradas, para limitar las cargas sobre la estructura y la concentración de tensiones por consolidación diferencial, ya que su deformabilidad permite la generación de un efecto bóveda sobre la estructura. En zonas con problemas de inestabilidad, su baja densidad y suficiente resistencia al corte permite su empleo

² HICKMAN, Stormy. Usos de neumáticos triturados (Sf.) Universidad de Illinois en Urbana-Champaign, [En línea], Disponible en < http://www.ehowenespanol.com/usos-neumaticos-triturados-sobre_101783/> [Citado en Septiembre 22 del 2014]

para la formación de taludes o bermas. Resulta un material especialmente adecuado como relleno ligero :(estribos de puentes, muros de sostenimiento...).

La utilización de triturado de neumáticos fuera de uso como relleno de muros de contención reduce el empuje soportado por dicho muro, debido a su peso reducido y a su gran capacidad drenante³.

4.3 INFORME REALIZADO POR LA ASOCIACIÓN EUROPEA DE FABRICANTES DE NEUMÁTICOS Y PRODUCTOS DE CAUCHO (ETRMA).

España cerró el ejercicio con un volumen de Neumáticos Fuera de Uso (NFU) de 314.000 toneladas, según un informe realizado por la Asociación Europea de Fabricantes de Neumáticos y Productos de Caucho (ETRMA, en sus siglas en inglés), cifra que nos posiciona un 10% por encima de la media de los países de la Unión Europea. Este volumen supone el 100% del tratamiento de neumáticos, con la consiguiente reducción del impacto medioambiental. El reparto en porcentajes del total tratado se sitúa en el 70% para reutilización o reciclaje, de ellos, el 50% (153.000 toneladas) solo se recicla, un 8% se reutiliza directamente si la cubierta lo permite, y un 12% se recauchuta. El resto, un 30%, se transforma en combustible alternativo para uso en cementeras.

Según el estudio de la ETRMA, el mercado español es el quinto país de la Unión Europea que más NFU produce anualmente, tan sólo por detrás de Alemania (568.000 toneladas), Reino Unido (508.000), Italia (421.000) y Francia (369.000). Aunque el proceso de reciclado de neumáticos al final de su vida útil puede mejorar si se amplían las utilidades del caucho, el punto de partida de España, en comparación con estos cuatro países, es positivo. Por este motivo, la gestión adecuada a través de la red de plantas de recogida y tratamiento, que colaboran con los dos sistemas integrados de gestión existentes (Signus Ecovalor y TNU), evita que estos desechos acaben en vertederos. No sucede lo mismo en otros mercados como el italiano o el británico donde sólo se tratan el 83% y el 95%, respectivamente, del volumen generado⁴.

³ Sánchez. Rocio. Segunda vida de los neumáticos usados (2012), [En línea] Disponible en:<<http://es.slideshare.net/gmarrugo/guia-para-referenciar-en-normas-icontec>> [Citado en Septiembre 22 del 2014]

⁴Econoticias.com, España procesa 314.000 toneladas de neumáticos, un 10% más que la UE (2010) [En línea] Disponible en <http://www.ecoticias.com/imprimir_noticia.php?id_noticia=25992>[Citado en Noviembre 26 del 2014]

4.4 EL CAUCHO, UN MATERIAL CON MÚLTIPLES UTILIDADES

Federación Española de la Recuperación y el Reciclaje (FER), 2010. Miembro del Comité Organizador de SRR, en la actualidad existe recorrido para aprovechar todo el potencial que ofrece este sector. "Aunque el caucho se recicla cada vez más con nuevas aplicaciones, una gran parte del mismo se emplea como combustible alternativo con fines energéticos", asegura Alicia García-Franco, directora general de la FER. "Para optimizar la capacidad tecnológica de las plantas de recuperación y reciclado de NFU, es necesario promover nuevos proyectos y concienciar a la sociedad de las opciones que ofrece el caucho reciclado, de forma que se consuman productos hechos con este material", añade la responsable de esta Federación. Por su maleabilidad y su polivalencia, el caucho ofrece muchas posibilidades al reciclarlo. Entre otras utilidades, las distintas fracciones de este material se pueden utilizar para la fabricación de suelos elásticos prefabricados en forma de baldosas, planchas o rollos, para pavimentos deportivos o parques infantiles. Las partículas de tamaño intermedio pueden dedicarse a rellenar campos de césped artificial, y las más finas como aditivo para mejorar la calidad de las mezclas asfálticas y como componente para la fabricación de piezas en la industria del caucho. Además, este material es un excelente aislante, tanto térmico como acústico, un campo donde existe una importante vía de desarrollo para el sector. Alternativas como estas permiten dar una salida más útil y eficiente al elevado volumen de neumáticos fuera de uso que España genera cada año⁵.

4.5 POZO SÉPTICO

Yuefeng Xie, profesor de ingeniería medioambiental en la Universidad Estatal de Pensilvania en Harrisburg ha desarrollado un método que utiliza el caucho desmenuzado derivado de los neumáticos desechados para filtrar las aguas residuales, lo que puede ayudar a resolver el problema de los neumáticos y al mismo tiempo contribuir a limpiar el ambiente.

El caucho desmenuzado se obtiene cortando y triturando los neumáticos hasta lograr partículas del tamaño apropiado, limpiando el caucho y quitándole cualquier partícula de metal. Actualmente se está usando para la pavimentación de carreteras, pistas de atletismo, parques infantiles, patios de recreo, recubrimientos para basurales, fabricación de varios productos, e incluso para formar arrecifes artificiales destinados a fomentar la vida acuática.

⁵ *Ibíd.*

Para el filtrado tradicional de las aguas de desecho normalmente se utiliza el flujo por gravedad a través de filtros granulares que emplean arena o antracita. Varios estudios dirigidos por Xie muestran que el filtrado, utilizando caucho desmenuzado, es mucho más eficaz con respecto a su costo que los filtros convencionales de arena o antracita. Debido a las tasas de filtrado del agua substancialmente superiores y a su peso más ligero, el caucho desmenuzado puede asimismo usarse en las unidades de tratamiento móvil que deben funcionar para sanear aguas encharcadas en situaciones de desastre⁶.

4.6 USO DE GOMAS TRITURADAS COMO AGREGADO PARA MEZCLA DE CONCRETO

Botero, Valentín, Suarez, Acosta, Cáceres, Pando, La posibilidad de utilizar gomas trituradas como agregado para las mezclas de concreto ha sido estudiada numerosas veces como, por ejemplo, en los estudios realizados por Biel y Lee (1994), Huynh y Raghavan (1997), Kathib y Bayomy (1999) y Nehdi y Khan (2001). Los primeros resultados revelaban una disminución considerable en las propiedades mecánicas del material, como la resistencia a la compresión y a la tensión. En pruebas hechas por Biel y Lee (1994), donde se sustituyó la totalidad del agregado por goma triturada, la resistencia a compresión se redujo en un 90%⁷.

Estudios más recientes lograron estabilizar el efecto de la goma en la mezcla obteniendo resultados favorables en pruebas de compresión y tensión. Khatib y Bayomy (1999) estudiaron el comportamiento de muestras de concreto con diferentes cantidades de goma triturada. Sus resultados revelan que para obtener resultados similares a los de la mezcla convencional de concreto, el contenido óptimo de material reciclado no debe exceder el 20% del volumen total de agregado⁸.

⁶ XIE yuefeng, Neumáticos viejos pueden emplearse para filtrar aguas residuales(2005)[En línea] Disponible en < <http://www.solociencia.com/ingenieria/06122005.htm>>[Citado en Agosto del 23]

⁷ BOTERO Jorge, VALENTÍN Milton.....et al. Gomas trituradas: estado del arte, situación actual y posibles usos como materia prima en Puerto Rico (1965) [En línea] Disponible en < <http://academic.uprm.edu/laccei/index.php/RIDNAIC/article/viewFile/93/92>>[Citado en Agosto 03 del 2014]

⁸ BOTERO Jorge, VALENTÍN Milton.....et al. Gomas trituradas: estado del arte, situación actual y posibles usos como materia prima en Puerto Rico (1965) [En línea] Disponible en < <http://academic.uprm.edu/laccei/index.php/RIDNAIC/article/viewFile/93/92>>[Citado en Agosto 03 del 2014]. p. 75.

4.7 USO DE LA GOMA TRITURADA EN VERTEDEROS

Botero, Valentín, Suarez, Acosta, Cáceres, Pando, aborda el uso de la goma triturada en vertederos ha sido un tema ampliamente estudiado por especialistas en el tema tales como Cosgrove (1995) y Edil et al. (2004). El uso de este material ha demostrado ser una alternativa importante para reducir el volumen de neumáticos acumulado en depósitos legales e ilegales.

Los manuales utilizados por el California Integrated Waste Management Board (Geo Syntec Consultants, 1998), describen los variados usos de la goma triturada en los depósitos de basura. Cada manual consta de las siguientes partes: requerimientos de regulación, criterio de desempeño, características del material y la guía para el uso particular del material en el vertedero.

Los cinco manuales clasificados según el uso son:

- Material para el recubrimiento diario
- Material para el drenado de lixiviados
- Fundación para la capa final de recubrimiento
- Material protector en las capas
- Material para el sistema colector de gases⁹.

4.8 USO DE LA GOMA TRITURADA PARA ABSORCIÓN DE METALES PESADOS Y SUSTANCIAS CONTAMINANTES

Botero, Valentín, Suarez, Acosta, Cáceres, Pando, 2003. No son muchas las investigaciones realizadas sobre el potencial de absorción de la goma triturada. Sin embargo, se ha logrado detectar un comportamiento retentivo de varias sustancias nocivas al ambiente. El riesgo de contaminación a cuerpos de agua superficiales y subterráneos impulsa esta iniciativa.

Estudios realizados por Gunasekara (2000), revelaron la capacidad de absorción de la goma triturada. Concentraciones conocidas de sustancias orgánicas como el naftaleno y el tolueno, e iones de mercurio fueron sometidas a goma triturada (220µm a 280µm). El naftaleno y tolueno reflejaron coeficientes de absorción de

⁹ Ibíd. p.74

1340 y 225 ml/g, respectivamente. Los iones de mercurio revelaron una absorción un poco más lenta, pero con una buena afinidad¹⁰.

4.9 LLANTAS: SITUACIÓN ACTUAL Y OPORTUNIDADES LOCALES PARA LA INGENIERÍA CIVIL EN PUEBLA, MÉXICO

El desecho de neumáticos, es una problemática que afecta a todo el mundo de igual manera, y hasta el momento no se ha encontrado una solución integral para evitar que las llantas lleguen a los rellenos sanitarios. El desecho de materiales vulcanizados representa un gran problema ambiental, dado que, su descomposición es muy lenta, ocupa un gran volumen y representa un lugar de anidamiento a diferentes fuentes de infección. En otros países, se han dado cuenta del gran potencial contaminante que este material tiene, y por ende se han establecido diferentes tipo de soluciones que buscan reducir la cantidad de desperdicio generado. En México la situación es muy diferente ya que hay muy poca voluntad tanto gubernamental como social para resolver este problema.

- El valor neto calórico de una llanta está entre 32 a 34 MJ/kg (Millones de Joules/Kilogramo).
- Una tonelada de llantas es equivalente a una tonelada de carbón de calidad o 0.7 toneladas de combustible derivado del petróleo.
- Se necesita medio barril de petróleo crudo para fabricar un neumático de camión.
- En Estados Unidos, el consumo de llantas es algo superior a 300 millones de llantas al año.
- Aproximadamente el 5% son quemadas en plantas termoeléctricas en ese país.
- Las llantas son difíciles de compactar en un relleno sanitario.
- El almacenaje de llantas usadas, se convierte en un lugar favorable para la reproducción de diferentes vectores de riesgo para la población.
- En México el 2% se recicla y el 91% termina en tiraderos.
- Las llantas usadas enteras son utilizadas desde hace décadas en numerosas aplicaciones de la ingeniería civil.

¹⁰ *Ibíd.* p. 75

Existen diversas ideas que pueden ayudar a reducir el problema del apilamiento de grandes cantidades de neumáticos en los vertederos, muchas de estas soluciones están enfocadas a la reutilización del caucho como material impermeable, de aislamiento o como combustible, sin embargo creemos que los beneficios de la reutilización del caucho de la llanta van más allá de las soluciones que se tienen hasta este momento.

Las empresas recicladoras de llantas se encuentran a la espera de nuevas aplicaciones en la zona metropolitana de la ciudad de Puebla y la región debido a que el reciclado de llantas está en función de la demanda de aplicaciones que la sociedad tenga de las mismas después de su vida útil¹¹.

4.9.1 Generación de Energía. Los residuos de neumáticos, una vez preparados, pueden convertirse también en energía eléctrica, utilizable en la propia planta de reciclaje o conducirse a otras instalaciones distribuidoras. Los residuos se introducen en una caldera donde se realiza su combustión. El calor liberado provoca que el agua existente en la caldera se convierta en vapor de alta temperatura y alta presión que se conduce hasta una turbina.

Al pasar el vapor por la turbina, esta se mueve y el generador acoplado a ella produce la electricidad, que tendrá que ser transformada posteriormente para su uso directo

Producción de caucho en polvo (asfalto, pista atlética, parques infantiles, entre otros).

El proceso supone la incorporación del caucho en pedazos o en polvo. A pesar de su mayor costo, el agregado de neumáticos al pavimento, puede hasta duplicar la vida útil de la vía, debido a que el caucho le confiere propiedades de elasticidad ante las variaciones de temperatura. También reduce el ruido de los vehículos que transitan por la vía. Por estas ventajas, y también para disminuir el almacenamiento de llantas usadas, el gobierno norteamericano exige que el 5% del material usado para pavimentar las carreteras federales sea de caucho molido. En el estado de California se pavimentaron 25 carreteras con 1,7 millones de neumáticos¹².

¹¹ CASOLCO S.R., GUERRE A... et al Llantas: Situación actual y oportunidades locales para la ingeniería civil en Puebla, México En: Revista Vislumbra (2013); p 63-64. ISSN en trámite.

¹² CASOLCO S.R., GUERRE A... et al Llantas: Situación actual y oportunidades locales para la ingeniería civil en Puebla, México En: Revista Vislumbra (2013); p 67. ISSN en trámite

4.10 GESTIÓN DE LA VALORIZACIÓN (MATERIAL Y ENERGÉTICA) DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO (NFU)

El presente Trabajo tiene por objetivos la optimización de la gestión de neumáticos fuera de uso (NFU) desde el estudio de los principales cambios tecnológicos derivados de la legislación, tecnología, economía e industria y de la importancia adquirida en la gestión de la valorización del reciclado y en la gestión medioambiental de la gestión de (NFU) o usados. Así, a partir de la implementación de la Directiva 2000/53/CE la gestión y valorización de los residuos procedentes de los vehículos fuera de uso toma un nuevo rumbo, al tener que ser tratados en Centros Autorizados para la Recuperación y Descontaminación (CARD). Se analiza asimismo la situación actual del sector, como fuente de suministro de materias primas a dichos CARDS y la tecnología y aplicaciones industriales existentes. Finalmente, como resultados y conclusiones se plantean una serie de vías óptimas de gestión de NFU y reflexiones que se concretan en la detección actual de amenazas y oportunidades para el desarrollo e implementación de las técnicas y aplicaciones derivadas de la óptima gestión de neumáticos fuera de uso (NFU).

Los Neumáticos renovados: considerados como "los únicos neumáticos ecológicos". Los componentes de la goma sintética en un neumático nuevo de turismo contienen 26-30 litros de petróleo. Para reciclar ese mismo neumático sólo se gastan 7-12 litros. Además, la carcasa, donde se agrupa gran parte del gasto energético, es utilizada por segunda vez para Superficies para campos de juego.

Planchas de seguridad: Losetas: El NFU, después de su correcto tratamiento es usado como losetas de seguridad en parques infantiles, geriátricos, piscinas. Asfalto: La creación de asfalto con base de goma de neumático es uno de los hitos del reciclaje, al conseguir que minúsculas partículas de goma se mezclen para dar mejores propiedades, entre las que destaca, la disminución de la sonoridad. Aislante para viviendas y bloques.

Mezclas de caucho: El caucho regenerado, utilizado en un porcentaje permite la creación de gomas de cualquier tipo de formulación. Como aditivo para el asfalto [6] en las carreteras, dando lugar a un aglomerado con valores excelentes de agarre de rodadura, y menores niveles de sonoridad; como relleno para los suelos de parques infantiles, al objeto de configurar un revestimiento de alto poder de absorción de impactos, y para minimizar los riesgos de accidentes por caídas y/o rozaduras; como materia prima para aplicaciones de pirólisis, de producir alquitranes, aceites, carbón activado, entre otros; como materia prima en la

fabricación de materiales energéticos, en explosivos civiles, para la minería, canteras, y voladuras en carreteras y otras obras públicas; una fuente de carbono para materiales energéticos para la aplicación industrial como Explosivos¹³.

4.11 DISEÑO PRELIMINAR DE UNA PLANTA RECUPERADORA, PARA USOS ALTERNOS, DE LOS MATERIALES CONSTITUYENTES DE NEUMÁTICOS USADOS.

En el presente proyecto se propone diseñar una planta recuperadora, para usos alternos, de los materiales constituyentes de los neumáticos usados en las instalaciones de Oxialquilados Venezolanos. Para ello, se procedió a recopilar datos sobre la cantidad de neumáticos susceptibles a ser reciclados, mediante un estudio del parque automotor venezolano, por el cual se determinó que se genera una cantidad de 24.167 toneladas de este residuo en la zona oriental del país. Luego se revisaron los requerimientos nacionales de caucho como materia prima para dimensionar de una manera adecuada la instalación; dicha planta se dimensionó para tratar desde un principio el 30% de la cantidad total de neumáticos que se desechan en la zona oriental, lo que corresponde a 3,8 ton/h o 7.296 ton/año de neumáticos aproximadamente, trabajando una jornada laboral de 5 días a la semana, un turno de 8 horas, 240 días/año. Los procesos básicos de la planta son la trituración, granulación y molienda, donde se obtiene el caucho en distintas granulometrías (entre 0,7 mm – 5 mm); adicionalmente se diseñó una campana de extracción de polvo para cintas transportadoras y un filtro de mangas para asegurar el correcto funcionamiento de la planta y evitar la contaminación debido a los polvos generados en el proceso.

La campana se diseñó para aspirar un caudal de 10.525 pies³ /min a una velocidad de captura de 238,07 pies/min y el filtro de mangas diseñado tiene un área total filtrante de 1.883,24 pie³ y una velocidad de filtración de 4,68 pie/min. Finalmente mediante un análisis económico se pudo determinar la viabilidad del proyecto y el capital necesario a invertir, obteniéndose una tasa interna de retorno del 22,08% antes de impuesto y del 14,85% después de impuesto¹⁴.

¹³ CANO, E., GARCIA, L., URBINA, M. Valoración material y energética de neumáticos fuera de uso actualizado (2008). [En línea] Disponible en < http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/2196/NFUs_Actualizacion.pdf?sequence=7> [Citado en Abril 27 del 2015]

¹⁴ BELTRE, Nina. diseño preliminar de una planta recuperadora, para usos alternos, de los materiales constituyentes de neumáticos usados. [En línea] Disponible en < <http://ri.biblioteca.udo.edu.ve/bitstream/123456789/2535/1/08-TESES.IQ011.B23.pdf>> [Recuperado en Mayo 23 del 2015].

Los usos más factibles que se le pueden dar a este caucho triturado son:

- Materiales de embalaje, cajas de baterías, cintas transportadoras.
- Neumáticos de bicicletas, industria y agricultura.
- Como aditivos de betunes asfálticos en carreteras.
- Conos para señalización de tráfico y pies de señales.
- Pavimentos en zonas deportivas o en zonas de juegos infantiles en donde por su elasticidad y resistencia reducen la fatiga y el riesgo de lesiones.
- Industria zapatera (suelas y tacones).
- Pistas de atletismos.
- Pistas de baloncestos y tenis.
- Tapetes para golf-tees.
- Superficies no deslizantes en cubiertas de barcos.
- Sub-base para pistas de carreras de caballos.
- Protección de zonas peatonales, alrededores de piscinas.
- Alfombrillas de coches, felpudos.
- Tuberías de drenaje.
- Tuberías de porosas de irrigación.
- Aislantes y revestimiento de tuberías.
- Pavimentos estriados para suelos de edificios, aeropuertos, etc.
- Losetas y paneles acústicos y anti vibraciones.
- Como aditivos en la fabricación de gomas.
- Compuesto impermeabilizantes para tejados, paredes, silos y balsas
- Acolchado anti choques para maquinarias.
- Componentes sellantes y adhesivos.

- Pintura antideslizante texturizada.
- Ingrediente de relleno para moldes y extrusiones de goma y plástico.
- Guardabarros en coches y camiones.
- Zapatas de frenos.
- Equipamiento para minas y forro de abrasión.
- Mangueras de jardín.
- Zócalos (rodapiés) y base en suelos de madera.
- Macetas.
- Actualmente existe una línea de investigación abierta en diversos países europeos para emplear los neumáticos usados en piscifactoría como zonas favorecedoras del establecimiento y cría de algunas especies.

A continuación se clasifica el mercado de salida del caucho, en función de la granulometría:

De 5 a 2 mm: Superficies deportivas. Circuitos de carreras para caballos y zonas destinadas a equitación, modificaciones en terrenos agrícolas, tapetes y alfombrillas.

De 2 a 0,85 mm: Conos para señalización de tráfico, pies de señales, ladrillos entrelazables, tapetes para golf-tees, pavimentos deportivos, asfalto carreteras (uso limitado).

De 0,85 a 0,60 mm: Asfalto carreteras, zapatas de frenos, productos moldeados <50% goma reciclada, PVC, PE, guardabarros, revestimientos de suelos, Sellador de grietas: arreglos de carreteras, barreras de agua. pintura antideslizante.

Menor de 0.60 mm: Neumáticos de nueva fabricación, asfalto carreteras, mangueras¹⁵.

¹⁵ BELTRE, Nina. diseño preliminar de una planta recuperadora, para usos alternos, de los materiales constituyentes de neumáticos usados. [En línea] Disponible en <<http://ri.biblioteca.udo.edu.ve/bitstream/123456789/2535/1/08-TESES.IQ011.B23.pdf>> [Recuperado en Mayo 23 del 2015].

4.12 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CREACIÓN DE UNA EMPRESA PARA EL APROVECHAMIENTO INDUSTRIAL DE LLANTAS USADAS EN EL MUNICIPIO DE SOGAMOSO.

Debido a la globalización y avance de nuevas tecnologías, las organizaciones a nivel mundial deben trabajar por una sociedad responsable con el medio ambiente y tomar como instrumento un ambiente limpio para la concientización y cambio social, con comportamiento ético, contribuyendo al desarrollo económico mejorando la calidad de vida de las familias y la sociedad. Se presenta este estudio y se cataloga dentro del proyecto factible, ya que persigue el diseño y promoción de un proyecto de aprovechamiento y utilización de llantas industriales usadas, para la producción y comercialización de Gránulos de Caucho Recuperado, (GCR), para la mezcla de asfaltos que se utilizan en obras civiles de Pavimentación, obras de infraestructura del transporte urbano como vías, puentes, túneles, ciclo vías entre otros. Se satisface una necesidad de mejoramiento de mezclas asfálticas en su duración, mantenimiento y agarre de neumáticos de los automóviles, así como en las obras de infraestructura de transporte urbano.

Adicionalmente los gránulos de caucho a base de llantas como materia prima para la creación de proyectos de pavimentación tiene una tendencia de crecimiento mundial, por los resultados de resistencia, durabilidad, amortiguamiento y adhesión en la práctica, también por su concepto de ser producto amigable con el medio ambiente ya que es a base de productos recuperados contribuyendo así al manejo de Responsabilidad Social Empresarial.

Nuestro mercado objetivo será en una sola línea: Las construcciones, obras civiles, carreteras y puentes, para lo cual se llegara a el Estado, con el ministerio de transporte, ministerio de medio ambiente la gobernación, municipios de Boyacá, entidades como Conalvias , Invias, Corpoboyacá, contratistas uniones temporales que tengan que ver con pavimentación y obras civiles. La mezcla asfáltica mejorada con GCR ha demostrado más resistencia al envejecimiento, la fatiga, altas y bajas temperaturas pues es mucho más flexible. Disminuye el ruido de rodadura, son más durables y con menor necesidad de mantenimiento.

Otros usos del producto: Para vías y construcciones de asfaltos modificados, para superficie canchas sintéticas de fútbol, golf, tenis y Canchas atléticas, jardines infantiles, senderos ecológicos, decoración de Interiores exteriores, suelas para

zapatos, tapetes de caucho, pisos de cauchos, fabricación de repuestos automotores en caucho¹⁶.

Los productos de esta investigación son:

1. GCR (Grano de Caucho Reciclado) Gránulos para mezcla asfáltica.
2. GCR Granos de forma irregular de tamaños de acuerdo a la demanda.

4.13 GUÍA PARA EL MANEJO DE LLANTAS USADAS

Uso en asfaltos modificados: Uno de los mayores usos que actualmente se les está dando a las llantas usadas trituradas provenientes de procesos mecánicos o criogénicos es su adición al pavimento asfáltico tradicional. La incorporación del grano de caucho reciclado (GCR) en las mezclas asfálticas ha sido de buena aceptabilidad desde hace algunas décadas en muchos países por los buenos resultados en el desempeño de los pavimentos asfálticos y otras obras civiles. Existen tres maneras básicas de emplear las llantas trituradas libres de acero y textiles en asfaltos modificados.

Asfalto modificado convencional: La fabricación de este tipo de asfalto consiste en mezclar el caucho con el tamaño de partícula apropiado junto con los demás agregados antes de adicionar el asfalto, y se conoce tradicionalmente como asfalto modificado por vía seca; en este proceso se puede incluir entre un 2-15% de caucho con respecto a los agregados.

Las principales ventajas de este proceso son: I) No requiere de maquinaria especializada ya que el caucho se mezcla de manera simple con los demás agregados, II) Se aumenta la impermeabilidad del asfalto final, III) Mejora las características geológicas del asfalto a diferentes temperaturas. La principal desventaja de esta mezcla radica en la tendencia que tienen los agregados a separarse del asfalto durante el almacenamiento; en el asfalto tradicional la separación es de un 2-4%, pero con la adición de caucho esta puede llegar hasta un 25%, lo cual repercute en la calidad y homogeneidad del producto y reduce su tiempo de vida en almacenamiento.

¹⁶ LOPEZ R., Henry. estudio de factibilidad para la creación de una empresa para el aprovechamiento industrial de llantas usadas en el municipio de Sogamoso [En Línea] Disponible en <<http://repository.unad.edu.co/bitstream/10596/2681/3/79703139.pdf>> [Citado en Marzo 18 del 2015]

Asfalto químicamente modificado: El asfalto químicamente modificado consiste en mezclar el caucho directamente con el pavimento (ligante), con lo cual se consigue una mayor fijación.

Las mejoras en las propiedades mecánicas y el incremento de la vida útil del mismo (entre 58 y 230%), hace que la relación beneficio-costos sea mayor comparada con la de un pavimento con una mezcla asfáltica convencional. Adicionalmente se reducen los problemas de separación de agregados, la cual llega a valores entre el 2 y 4%.

La utilización del GCR, además de ayudar a solucionar la problemática ambiental generada por las llantas usadas, proporciona en sus compuestos caucho natural y cauchos sintéticos que le brindan al pavimento elasticidad y mayor resistencia a la fatiga. Por otro lado, el negro de humo que estas contienen actúa como antioxidante en el ligante, atenuando su envejecimiento y por ende prolongando la capacidad cohesiva del mismo en el tiempo. Se ha demostrado en estudios del departamento nacional de vías de Estados Unidos que adicional al aumento de vida útil, se produce una disminución en los niveles de ruido generados por la fricción al agregar caucho de llanta triturada a las mezclas asfálticas, sea de manera convencional o modificada.

Uso como relleno de la capa asfáltica: El uso de las llantas trituradas como relleno en la capa asfáltica junto con el “recebo”, es una aplicación ampliamente extendida ya que mejora las propiedades de flexibilidad de la capa al impedir agrietamiento prematuro por sobrepeso en las vías; de la misma manera, actúa como capa impermeable que impide la afectación de la humedad a la base por acción del agua.

Como ventaja tiene que los trozos de caucho pueden emplearse con las capas de acero y el relleno textil, por lo cual se requiere un mínimo procesamiento de la llanta usada. Suelen emplearse trozos de 5-8 cm en capas de 8-30 cm cubiertas por grava en capas de 30- 50 cm¹⁷.

¹⁷ CÁMARA DE COMERCIO BOGOTÁ, Guía para el manejo de llantas usadas. [En línea] Disponible en <http://www.ambientebogota.gov.co/c/document_library/get_file?uuid=ab80a611-f997-4864-bd6e-7aa0d8680067&groupId=10157> [Citado en Abril 03 del 2015]

4.14 VIABILIDAD TÉCNICO – ECONÓMICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA RECICLADORA DE NEUMÁTICOS EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO.

El crecimiento del parque automotor en la ciudad de Quito ha ocasionado un gran problema ambiental debido a la contaminación ocasionada entre otros por los neumáticos fuera de uso provenientes de los vehículos, que al cumplir con su tiempo de uso son desechados sin control y no tienen un correcto tratamiento ni una disposición final adecuada, provocando de esta manera un impacto significativo. Adicional, al impacto ambiental que causan los neumáticos fuera de uso, se debe sumar la propagación de enfermedades ocasionadas por la aparición de roedores e insectos transmisores de las mismas, que pueden llegar a convertirse en endémicas.

Por todo lo mencionado con anterioridad, se planteó una posible solución a la problemática mediante la implementación de una planta recicladora de neumáticos, la misma que permitió realizar una correcta clasificación del residuo e incluso implementar procesos para reutilizarlos.

Durante el desarrollo del presente trabajo de investigación se presentaron cuatro alternativas de plantas recicladoras de neumáticos que fueron evaluadas mediante un análisis de viabilidad técnica-económica.

Con el fin de asegurar que la propuesta seleccionada sea la más adecuada para el Distrito Metropolitano de Quito, se realizaron estimaciones tales como: Parque automotor existente del año 2010 hasta el año 2012; número de neumáticos generados en el DMQ entre los años 2010-2012 y la cantidad de neumáticos en toneladas generados hasta el año 2012. Los análisis realizados permitieron concluir que a pesar de que las plantas de reciclaje tienen similar diseño y funcionamiento, la planta recicladora Eco Green Equipment es la más viable debido a su capacidad de operación y el costo¹⁸.

¹⁸ GARZÓN, Karina. Viabilidad técnico – económica para la implementación de una planta recicladora de neumáticos en el Distrito Metropolitano de Quito.(2013) [En línea] Disponible en <
<http://repositorio.uisek.edu.ec/jspui/handle/123456789/711>> [Recuperado en Febrero 25 del 2015]

4.15 PLAN DE NEGOCIOS DE RECICLADO DE LLANTAS USADAS COMO OPORTUNIDAD DE NEGOCIOS, EN LA UTILIZACIÓN DE PRODUCTOS INNOVADORES.

En la ciudad de Quito existe un problema en el tratamiento de los desechos sólidos entre los cuales se encuentran las llantas de vehículos que después de su vida útil son arrojadas a botaderos, quebradas y muchas veces en las calles por lo que se ha convertido en un contaminante del medio ambiente. Para dar una solución a este problema nació la idea de este proyecto, reciclar y transformar estos desechos a través un proceso mecánico-industrial separar los componentes (alambre, fibra y caucho) para luego triturar este último y obtener un granulo de hule que serviría como producto para la aplicación en calles asfaltadas y en espacios de recreación. Este nicho se encuentra desatendido ya que actualmente no se utiliza este producto, por lo que inicialmente será ofrecido al Municipio de Quito y a empresas contratistas que ejecutan proyectos de pavimentación de calles y conforme crezca la demanda se ampliara a clientes nuevos. El proyecto pretende; Reducir la contaminación ambiental, Reciclar un desecho sólido y Reutilizarlo transformándolo en un producto útil para la sociedad así de esta manera crear una empresa competitiva, eficiente y rentable, comprometida con el medioambiente y responsabilidad social; generar fuentes de empleo a personas de estrato socio-económico bajo que no hayan tenido posibilidad de acceder a un empleo; Siendo buena para los accionistas, empleados, clientes, proveedores, estado y sociedad con posibilidades de crecimiento y expansión a nivel local y a futuro a otras ciudades del país.

4.15.1 Productos y/o Servicios Sustitutos. En lugar de encontrar productos sustitutos en este tipo de mercado, encontraremos productos complementarios, ya que nuestro producto de arena de caucho será utilizado principalmente en la creación de concreto para las avenidas y calles de la ciudad de Quito, también productos como piso de goma para guarderías, escuelas, colegios y centros deportivos y de recreación, aislantes o impermeabilizantes para la construcción. La utilización de la arena de caucho nos brinda una gran gama de productos que se puede crear, esta innovadora idea hace que nuestros productos sean únicos en el mercado ecuatoriano y más aún en la ciudad de Quito.

4.15.2 Descripción Producto. El principal producto que se ofrecerá, es el Polvo de Caucho, o Arena de Caucho, el cual será producido luego de varios procesos de trituración de las llantas usadas, que será nuestra principal materia prima. De esta forma podremos ofrecer este producto innovador que será usado en la elaboración de Concreto o Asfalto para Carreteras, Pisos de caucho en canchas deportivas y en Instituciones Educativas.

En nuestro caso el producto estrella es el caucho ya que las llantas son fabricadas en un 60% a 80% (dependiendo de la llanta) del mencionado material, y también es nuestro fuerte ya que el objetivo principal de la planta es el reciclaje del caucho en general, no solo de llantas. El principal producto que nosotros vamos a obtener del caucho es polvo de caucho de 0.7 milímetros, el cual es muy útil como aditivo para el asfalto para la fabricación de carreteras, y también nos sirve para las canchas deportivas de césped sintético y otras múltiples aplicaciones como son:

- Drenaje en campos de deporte.
- Pistas deportivas.
- Planchas para revestimientos.
- Alfombrillas
- Productos moldeados.
- Tuberías.
- Suelas para calzado.
- Entre otros.

4.15.3 Utilización en obras públicas. Una aplicación realmente interesante para caucho en polvo son las carreteras. Existen experiencias en diversos países, consistentes en su mezclado con los betunes asfálticos o con los rellenos, modificando por consiguiente las características del pavimento normal.

El caucho procedente de los neumáticos usados puede utilizarse como parte del material ligante o capa selladora del asfalto (caucho asfáltico) o como árido (hormigón de asfalto modificado con caucho). Las capas selladoras de caucho asfáltico utilizan alrededor de 1000 neumáticos por kilómetro sellado de carretera de dos carriles. El sistema que emplea caucho como árido utiliza entre 4.500 y 7.500 neumáticos por kilómetro de carretera con dos carriles repavimentada con una capa de 7,5 cm. La capacidad volumétrica de reutilización en pavimento asfáltico supera las existencias de neumáticos usados. El caucho triturado se ha utilizado ampliamente en Japón para elaborar colchones de ferrocarril, que suprimen las vibraciones y la contaminación por ruidos. Estos colchones se colocan entre el hormigón y la grava. Entre 1975 y 1981 se emplearon en torno a

70.000 toneladas de caucho triturado para colocar una tira de acolchonamiento de 131 km en las vías de ferrocarril.

El caucho en la carretera, por cualquiera de los diversos procedimientos de integración, bien mezclando con los ligantes o incluido en los rellenos, modifica las características del pavimento, confiriéndole características beneficiosas para el medio ambiente. Por ejemplo, permite un menor espesor de la capa de rodadura, una mayor duración, menos fisuras, mayor resistencia al arrastramiento producido por el calor, pero también los pavimentos modificados con caucho, y más aún si son del tipo drenante, reducen el nivel de ruido de 28 contacto neumático /carretera, ofrecen un mayor potencial de adherencia, mayor duración de los neumáticos, impiden la acumulación de agua y la proyección de la misma a los vehículos que preceden, mejorando las condiciones ópticas, etc.¹⁹.

4.16 EVALUAR LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE DOS DISEÑOS DE MEZCLA EXPERIMENTAL DE CONCRETO UTILIZANDO COMO AGREGADO FINO 25% DE ARENA Y 75% DE CAUCHO MOLIDO Y 75% DE ARENA Y 25% DE CAUCHO MOLIDO.

Por medio de la siguiente investigación se propone el estudio sobre el comportamiento entre el diseño de mezcla convencional de concreto utilizado diariamente en la construcción civil (agua, cemento, piedra picada y arena), con dos diseños de mezcla experimental en las cuales se sustituirá el agregado fino convencional (arena) por raspaduras de caucho molido variando sus porcentajes. Y así obtener una mezcla experimental que sea ecológica ayudando al ecosistema y a su vez más liviana disminuyendo las cargas en las edificaciones, cumpliendo con lo establecido en las Normas Venezolanas (COVENIN).

Para el desarrollo del siguiente estudio se realizaron cierta cantidad de probetas cilíndricas las cuales contenían la mezcla patrón y las dos mezclas experimentales, que estarán diseñadas para una resistencia de 210 kgf/cm², luego se realizaron los ensayos destructivos a compresión del concreto en el laboratorio LATEICA ubicado en Maripérez, los cuales fueron realizados a los siete (7) días y veintiocho (28) días, para así determinar si alguna de las dos mezclas experimentales, pueden ir en paralelo con la curva de crecimiento de la resistencia del diseño de mezcla de concreto convencional²⁰

¹⁹ CRUZ, Cristian. plan de negocios de reciclado de llantas usadas como oportunidad de negocios, en la utilización de productos innovadores (2012) [En Línea] Disponible en <
<http://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/70/1/T-UIDE-59.pdf>> [Citado en Mayo 15 del 2015]

²⁰ GOMEZ,W., CASTILLO J., 4.16 evaluar la resistencia a compresión de dos diseños de mezcla experimental de concreto utilizando como agregado fino 25% de arena y 75% de caucho molido y 75% de

4.17 DIAGNÓSTICO DE LAS CONDICIONES SUPERFICIALES Y EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO DE LAS VÍAS CONSTRUIDAS POR EL INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO CON ASFALTO MODIFICADO CON CAUCHO RECILADO DE LLANTA (GCR), EN LAS LOCALIDADES DE FONTIBÓN, BOSA Y TEUSAQUILLO, EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ.

El presente documento pretende dar a conocer cuál ha sido el comportamiento estructural y superficial que han tenido las vías construidas con mezclas asfálticas modificadas con grano de caucho reciclado de llanta (GCR) en algunos tramos de vía ubicados en las localidades de Bosa, Teusaquillo y Fontibón de la ciudad de Bogotá D.C.

El punto de partida lo constituye la información suministrada por el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU), ente encargado de la contratación y la supervisión de los trabajos de pavimentación con esta nueva tecnología de asfaltos modificados.

El documento ha sido dividido en dos grandes capítulos, en el primero de ellos se relacionan las generalidades que incluyen el planteamiento del problema, justificación, objetivos y antecedentes sobre el tema de la aplicación de mezclas con asfaltos modificados con caucho, así como el marco legal que rige en nuestra ciudad para el diseño y la construcción de este tipo de pavimentos, normatividad existente etc. De otra parte un marco de referencia en donde se exponen los métodos de evaluación superficial y estructural utilizados para el desarrollo de esta investigación y un marco demográfico que sirve de guía y ubicación del contexto donde se desarrollaron los trabajos por parte de los contratistas del IDU.

Por último se ha planteado un segundo capítulo de resultados en donde se plasma lo obtenido a través de las inspecciones visuales, mediciones y evaluaciones realizadas y análisis hechos a los resultados de los ensayos de laboratorio practicados, así como las conclusiones y recomendaciones dadas, posteriores a la experiencia.

Grano de caucho reciclado (GCR) Estudios realizados con caucho natural y sintético en algunos países como Estados Unidos, España, Sudáfrica, entre otros, demostraron que el caucho sintético es el más apropiado para el uso en mezclas asfálticas. Estos estudios tuvieron como objetivo principal establecer de manera

arena y 25% de caucho molido (2014) [En Línea] Disponible en <<http://miunespace.une.edu.ve/jspui/bitstream/123456789/2357/1/TG5121.pdf>>> [Citado en Mayo 28 del 2015]

confiable la metodología a seguir para mejorar las propiedades mecánicas y de durabilidad de las mezclas asfálticas con caucho producto del desecho de llantas usadas. Esta posibilidad además contribuye con la solución del problema ambiental que generan las llantas al finalizar su vida útil ya que estas constituyen un residuo difícil de eliminar. Este caucho es obtenido de forma económicamente viable empleando llantas de desechos que deben ser molidas hasta obtener tamaños de partícula apropiados. El caucho molido de esta forma recibe el nombre de grano de caucho reciclado ó GCR. El grano de caucho reciclado se puede obtener en procesos diferentes como son el rechapado, la molienda a temperatura ambiente y la molienda criogenia, estos procesos con creciente costo en el orden en que se los ha expuesto, representan distintas alternativas de obtención de granos de caucho, teniendo cada uno características propias, en México, Colombia, Chile y Perú se ha observado una alta utilización de GCR proveniente de los procesos de rechapado o recauchutado, en donde mediante medios mecánicos, como amoladoras o desgastadoras, se obtiene el GCR sin mayores contaminaciones. Luego se muele a temperatura ambiente y se obtienen granulometrías que varían desde el milímetro hasta el entorno de los 10 milímetros.

Se pueden diferenciar dos procesos básicos de incorporación a los sistemas asfálticos:

- Vía húmeda incorporación GCR al asfalto.
- Vía seca incorporación del GCR a la mezcla de áridos. Tamaño máximo de $\frac{1}{4}$.

Las principales ventajas de la adición de caucho a los sistemas asfálticos son de acuerdo a la experiencia, las siguientes:

- a- No presenta solubilidad con el asfalto al ser sobrecalentado.
- b- Puede humectarse con los componentes livianos del asfalto al hincharse como el polímero virgen.
- c- El negro de humo da mayor resistencia al desgaste y al envejecimiento.
- d- El GCR posee antioxidantes que actúan como estabilizador 13.
- e- Poseen aminas adicionadas durante el proceso de vulcanizado que favorecen la adherencia final.
- f- Aceites aromáticos, propios del neumático y adicionados, que prolongan la vida del sistema.

La tecnología disponible en Latinoamérica ha evolucionado de la siguiente forma:

4.17.1 Por vía húmeda. Mediante este proceso se modifica el ligante para fabricar posteriormente mezclas asfálticas en caliente. El proceso por vía húmeda requiere nuevos equipos en planta, como la unidad de mezclado y almacenamiento del asfalto- caucho, cambio de bombas y tuberías, y energía adicional para calentar la mezcla a mayores temperaturas con tiempos de reacción prolongados. En el proceso húmedo, el GCR es mezclado con el cemento asfáltico para producir una mezcla modificada asfalto-caucho que es usada de la misma manera que un ligante modificado.

Por vía seca. En cuanto al mezclado se realizan mezclas con el árido fino. Actúa en general como agregado, con la particularidad que dado su bajo peso por unidad de volumen resulta fundamental hacer una valoración volumétrica, pues los aportes en exceso de GCR pueden producir segregación, pérdidas por abrasión excesiva, y mayores contenidos de vacíos.

Tradicionalmente las tecnologías que primero se han usado en este sentido son:

Plus Ride, de origen Sueco; la Genérica, desarrollada por el Dr. Barry Takallou a fines de los 80, en mezclas densas en caliente usando del GCR y la llamada Convencional, desarrollada en España, empleando granulometrías convencionales, con menor consumo de asfalto y menor cantidad de caucho con adiciones menores al 2%²¹.

4.18 FACTIBILIDAD DE SUSTITUCIÓN DEL AGREGADO FINO DEL CONCRETO POR FIBRAS DE TERMOPLÁSTICOS Y ELASTÓMEROS RECICLADOS

El siguiente estudio tiene como objetivo desarrollar nuevas mezclas de concreto sustituyendo el agregado fino por elastómeros provenientes de bandas de rodamiento de neumáticos, y por fibras de Polipropileno (PP) y Nylon reciclados. Esto con la finalidad de encontrar un uso óptimo a estas mezclas para utilizarlas en aplicaciones ingenieriles.

²¹ VARGAS, Nelson, RODRÍGUEZ, Fabio, Diagnóstico de las condiciones superficiales y evaluación del comportamiento estructural del pavimento de las vías construidas por el instituto de desarrollo urbano con asfalto modificado con caucho reciclado de llanta (GCR), en las localidades de Fontibón, Bosa y Teusaquillo, en la ciudad de Bogotá [En Línea] Disponible en <repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/12009+&cd=2&hl=es&ct=clnk&gl=co> [Citado en Mayo 09 del 2015]

Se realizó una mezcla convencional de concreto, cuatro mezclas en donde se sustituyó el 0,5% y el 1% del agregado fino por la fibra de polímero termoplástico y cinco mezclas en donde se sustituyó el 1%, 3%, 6%, 12% y 18% del agregado fino por el elastómero. Se hizo una última mezcla ternaria en donde se sustituyó el agregado fino por 1% de la fibra de Nylon y 6% de caucho. Luego se hicieron probetas en forma de cilindros y losas.

Posteriormente, se realizaron pruebas de trabajabilidad, ensayos mecánicos de compresión, flexión y flexión en estado envejecido, haciendo uso de una prensa hidráulica siguiendo el procedimiento de las Normas Venezolanas Covenin 338 y 343, utilizadas para ensayar probetas cilíndricas y losas de concreto. Todos estos ensayos y mediciones sirvieron para determinar la calidad de cada mezcla tanto en estado fresco como en estado endurecido.

El aporte más importante de este trabajo es proporcionar un refuerzo secundario a la mezcla de concreto, que permita mejorar la estabilidad dimensional y mantener considerablemente la resistencia a la compresión utilizando polímeros reciclados. Esto para considerar su aplicación en la producción de losas, pavimentos deportivos, pavimentos industriales y pisos de concreto en general.

Este proyecto pretende innovar el área de compuestos de concreto con materiales poliméricos en sus diversas formas, con el propósito de alcanzar nuevas condiciones y propiedades para ser utilizados en varias aplicaciones dentro del campo ingenieril. Otro aspecto a evaluar en este trabajo es la búsqueda de soluciones al problema de los desechos de los elastómeros y de las fibras, y por consiguiente a la conservación del ambiente. En los últimos tiempos, el estudio de las mezclas de concretos con materiales reciclados ha cobrado alto interés en el campo investigativo, ya que proporciona el abaratamiento de costos y optimiza la utilización de material, evitando generación de pérdidas. También busca mejorar el procesamiento y algunas propiedades mecánicas del concreto. Es importante considerar que el proceso de mezclado y caracterización del concreto es complejo debido a los altos volúmenes de material que se maneja.

La incorporación de caucho reciclado se hace no sólo en concretos sino en cualquier material polimérico y cerámico. Esto se debe a sus propiedades elásticas y su uso como ayudantes de procesamiento. Lo más importante de este trabajo es proporcionar un refuerzo secundario a la mezcla de concreto, que permita mejorar la estabilidad dimensional y mantener ó variar en poca medida la resistencia a la compresión utilizando polímeros reciclados, considerando su aplicación en la producción de losas, pavimentos deportivos, pavimentos industriales y pisos de concreto en general. Las características que son

importantes desde el punto de vista del funcionamiento del pavimento son resistencia a la flexión, ductilidad y resistencia al agrietamiento.

El propósito de este trabajo fue encontrar una mezcla óptima de concreto que combinara bajo costo con alta calidad, para así ofrecer al consumidor nuevos beneficios en un solo producto dentro del campo ingenieril²².

4.19 REUTILIZACIÓN, RECICLADO Y DISPOSICIÓN FINAL DE NEUMÁTICOS.

Los materiales que se obtienen tras el tratamiento de los residuos de neumáticos, una vez separados los restos aprovechables en la industria, pueden tener varios usos.

Una aplicación realmente interesante para caucho granulado es la aplicación como parte de los componentes de las capas asfálticas que se usan en la construcción de carreteras, con lo que se consigue disminuir la extracción de áridos en canteras. Las carreteras que usan estos asfaltos son mejores y más seguras.

El caucho procedente de los neumáticos usados puede utilizarse como parte del material ligante o capa selladora del asfalto (caucho asfáltico) o como árido (hormigón de asfalto modificado con caucho). Dependiendo del sistema adoptado se pueden emplear entre 1000 y 7000 neumáticos por kilómetro de carretera de dos carriles, cifras tan elevadas colocan a la reutilización en pavimento asfáltico como una de las grandes soluciones para emplear los neumáticos fuera de uso.

4.19.1 Neumáticos convertidos en energía eléctrica. Los residuos de neumáticos una vez preparados, puede convertirse también en energía eléctrica utilizable en la propia planta de reciclaje o conducirse a otras instalaciones distribuidoras. Los residuos se introducen en una caldera donde se realiza su combustión. El calor liberado provoca que el agua existente en la caldera se convierta en vapor de alta temperatura y alta presión que se conduce hasta una

²² GARCÍA, María. factibilidad de sustitución del agregado fino del concreto por fibras de termoplásticos y elastómeros reciclados (2007)[En línea] Disponible en < <http://159.90.80.55/tesis/000143851.pdf>>[Citado en Mayo 13 del 2015]

turbina. Al expandirse mueve la turbina y el generador acoplado a ella produce la electricidad, que tendrá que ser transformada posteriormente para su uso directo.

4.19.2 USOS TRAS EL RECICLADO. Los materiales que se obtienen tras el tratamiento de los residuos de neumáticos, una vez separados los restos aprovechables en la industria, pueden tener varios usos.

Una aplicación realmente interesante para caucho granulado es la aplicación como parte de los componentes de las capas asfálticas que se usan en la construcción de carreteras, con lo que se consigue disminuir la extracción de áridos en canteras. Las carreteras que usan estos asfaltos son mejores y más seguras.

El caucho procedente de los neumáticos usados puede utilizarse como parte del material ligante o capa selladora del asfalto (caucho asfáltico) o como árido (hormigón de asfalto modificado con caucho). Dependiendo del sistema adoptado se pueden emplear entre 1000 y 7000 neumáticos por kilómetro de carretera de dos carriles, cifras tan elevadas colocan a la reutilización en pavimento asfáltico como una de las grandes soluciones para emplear los neumáticos fuera de uso.

4.19.3 El uso de caucho de cubiertas en mezclas asfálticas. Sin registrarse en general ningún sistema formal de deposición selecta o lugares especialmente destinados al efecto. En la actualidad hay pocas empresas en el país que reciclan el caucho de los neumáticos, dado el gran parque automotor con que se cuenta, y por ende la gran cantidad de neumáticos desechados, se hace imprescindible reutilizar los desechos de este material. Por esta razón se hace necesario comenzar a conocer este tipo de residuo que se está generando, para determinar la posibilidad de intervenir en la selección y contar con una valoración del volumen del mismo. En este trabajo se incluye caucho en mezclas asfálticas en frío y en caliente, proveniente de la molienda de neumáticos en desuso. Se seleccionan distintas moliendas que se incorporan como agregado a las lechadas asfálticas. A las mezclas en caliente se le incorpora como agregado y como modificador del ligante asfáltico. En el desarrollo de selladores asfálticos como modificador.

Del año 2010 Se aplica una sistemática de ensayos que involucren parámetros, químicos, ambientales y físicos de la resistencia de los materiales y procesos para luego valorar la inclusión en sistemas como modificadores y cargas habitualmente usados en las obras viales y civiles. Se valora la factibilidad de inclusión en los cementos asfálticos, siendo estos aglomerantes los de mayor utilización en las obras viales de la región. El sistema formado al incluir al residuo será valorado claramente desde lo químico, lo físico y el medio ambiente a efectos de incluir estos parámetros en los controles de calidad de las obras civiles y viales. En esta presentación se presentan las primeras experiencias de aplicación de este residuo²³.

²³ CASTRO, Guillermo. reutilización, reciclado y disposición final de neumáticos(2007) [En línea] Disponible en <http://campus.fi.uba.ar/file.php/295/Material_Complementario/Reutilizacion_Reciclado_y_Disposicion_final_de_Neumatico.pdf>[Citado en Enero 29 del 2015]

5. MARCO METODOLÓGICO

A continuación se mencionara el proceso y la descripción del paso a paso que se llevó a cabo para cada actividad realizada durante la investigación.

5.1 FASE 1. CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL

a- Preparación del neumático triturado en dimensiones de 1"x1" para ser utilizado en el ensayo de laboratorio de permeabilidad a cabeza constante, como se muestra en la Figura 1.

b- Ensayo de granulometría con grava caracterizándolo de acuerdo a la curva granulométrica; empleando el material retenido en el tamiz de una pulgada. De acuerdo con la norma NTC 2572 INVIAS, en la Figura 2 se muestra el proceso.

Figura 1. Neumático reciclado de maquinaria pesada triturado de 1"x1"



Fuente: Trabajo de campo realizado por los autores, 2014

Figura 2. Proceso de tamizado para determinar la granulometría del material de cantera



Fuente: Trabajo de campo realizado por los autores, 2014

5.2 FASE 2. ENSAYO DE LABORATORIO A CABEZA CONSTANTE

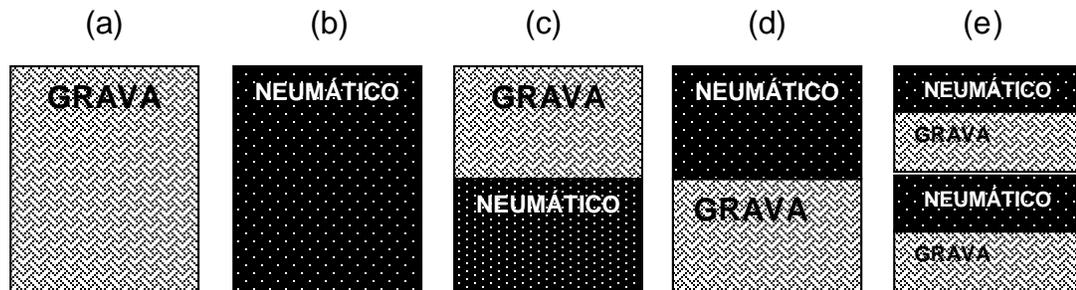
Se realizaron 5 combinaciones para la determinación de la permeabilidad; se repite el ensayo 3 veces por cada combinación, como se observa en la Ilustración 2 y se describen a continuación:

- a- Determinar la permeabilidad de la grava con un diámetro de 1" en el equipo de laboratorio.
- b- Hallar la permeabilidad del neumático triturado de 1 Pulg.²
- c- Encontrar la permeabilidad ubicando los materiales en el siguiente orden, grava en la parte superior y caucho en la parte inferior del cilindro.

d- Determinar la permeabilidad ubicando el caucho en la parte superior y la grava en la parte inferior.

e- Realizar el ensayo combinado por capas de la siguiente manera, grava-caucho-grava-caucho.

Ilustración 2. Arreglos realizados para la determinación de la permeabilidad a cabeza constante



Fuente: Elaboración de los autores

5.3 FASE 3. CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL PARA UN MODELO DE MAYOR ESCALA

a- Cortar el neumático en segmentos de 10 cm x 10 cm como se ve en la Figura 3.

b- Clasificar la piedra de mano con un diámetro aproximado de 12 cm como se muestra en la Figura 4.

Figura 3. Neumático reciclado de maquinaria pesada



Fuente: Trabajo de campo realizado por los autores, 2014

Figura 4. Piedra de mano



Fuente: Trabajo de campo realizado por los autores, 2014

5.4 FASE 4. ENSAYO DE PERMEABILIDAD A CABEZA CONSTANTE EN EL MODELO CONSTRUIDO A UNA ESCALA MAYOR EN REFERENCIA AL EQUIPO DE LABORATORIO

a- Construcción del modelo utilizando un recipiente con capacidad para un volumen de 5 galones, con un diámetro de 24,5 cm, una altura de 34,8 cm y con una presión constante de 69 cm, teniendo en cuenta sus respectivas entradas y salidas con adaptadores PVC 1/2", llaves de paso PVC 1/2" y manguera de 1/2" como se muestra en la Tabla 1 y Figura 5.

b- Realizar las pruebas que se hicieron en la Fase 2 con la nueva medida de los materiales y empleando las mismas combinaciones mostradas anteriormente en la Ilustración 2.

Tabla 1 . Capacidad y medidas del balde

DATOS RECIPIENTE	
Altura (Cm)	35
Diámetro (Cm)	28,5
Volumen (Lt)	21

Fuente: Elaboración de los autores

Figura 5. Modelo construido a una escala mayor en referencia al equipo de laboratorio para determinar la permeabilidad a cabeza constante



Fuente: Trabajo de campo realizado por los autores, 2014

5.5 FASE 5. APLICACIÓN DE CARGA PARA MEDIR DEFORMACIÓN

a- Aplicar diferentes cargas y medir el asentamiento o deformación con un deformímetro 0" - 1" rango 0.001" de precisión Baker como se observa en la Figura 6 y se le hará a cada combinación mostrada en la Ilustración 2, aplicando una carga máxima de 40 kg en una figura circular plana de diámetro 20 cm, como se muestra en la Figura 6.

Figura 6. Equipo montado para medir la deformación



Fuente: Trabajo de campo realizado por los autores, 2014

5.6 FASE 6. PRUEBA DE COMPORTAMIENTO DE MATERIAL FILTRANTE EN UN MODELO DE POZO SÉPTICO.

a- Construcción del modelo utilizando 3 recipientes con capacidad para un volumen de 5 galones, diámetro de 24,5 cm y una altura de 34,8 cm, 1 tubo de 1" para presión 13,5-315 Psi PAVCO, 1 tubo de 1/2" para presión 9-500 Psi PAVCO, 1 Tee para presión de 1" PAVCO, 1 Tee para presión de 1/2" PAVCO, 1 Codo de presión de 1" PAVCO, 1 Codo de presión de 1/2" PAVCO, 1 Unión de 1" PAVCO y 1 Unión de 1/2" PAVCO como se ve en la Figura 7.

b- Seleccionar y pesar los diferentes tipos de suelos con los que se van a trabajar en el modelo de pozo séptico, como se muestra en la Figura 8 y tabla 2.

c- Mezclar los suelos en una cantidad de agua de 25 litros y hacer correr el fluido en el modelo de pozo séptico, como se observa en la Figura 9.

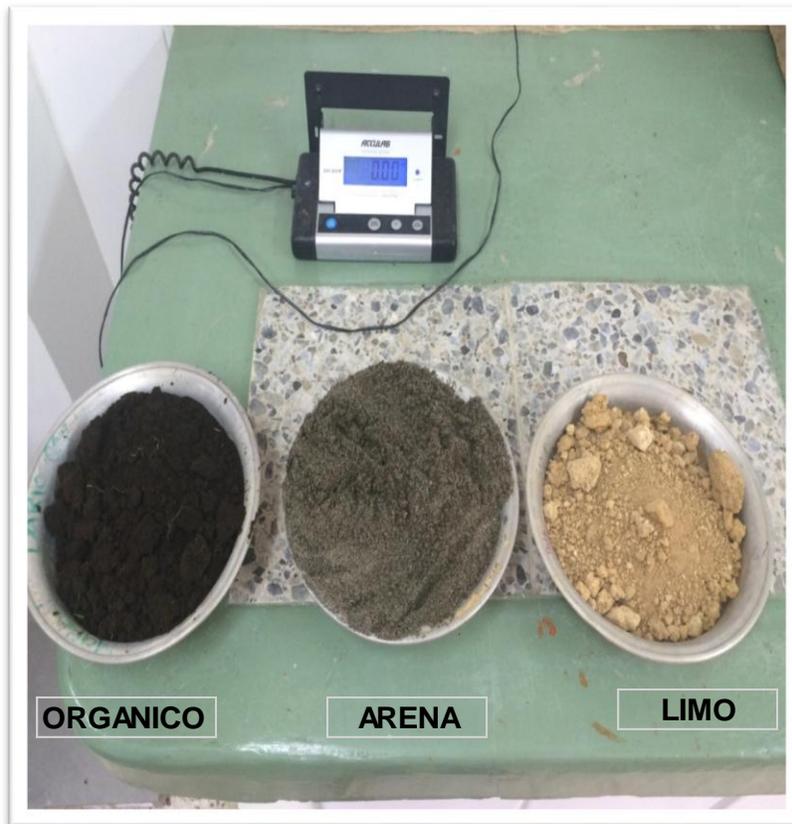
d- Observar si el neumático de maquinaria pesada cumple la función de material filtrante, como se muestra en la Figura 10.

Figura 7. Modelo construido de Pozo séptico



Fuente: Trabajo de campo realizado por los autores, 2014

Figura 8. Muestras de los suelos a trabajar en el modelo de pozo séptico



Fuente: Trabajo de campo realizado por los autores, 2014

Tabla 2. Materiales y Pesos con los que se trabajó en el pozo séptico

Material	Peso (g)
Limo	1.300
Arena	2.800
Orgánico	1.600

Fuente: Elaboración de los autores

Figura 9. Fluido corriendo por el modelo de pozo séptico



Fuente: Trabajo de campo realizado por los autores, 2014

Figura 10. Eficacia del neumático reciclado de maquinaria pesada como material filtrante



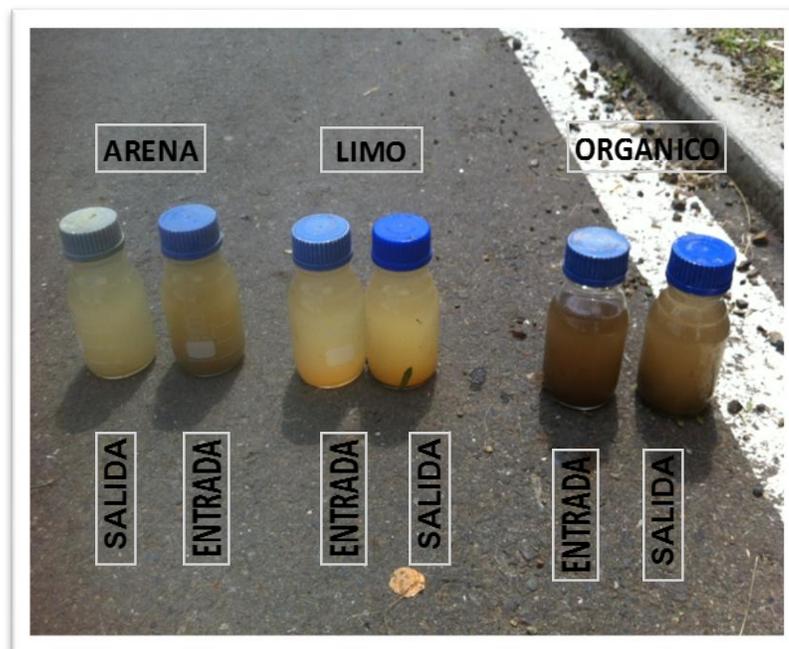
Fuente: Trabajo de campo realizado por los autores, 2014

5.7 FASE 7. ANÁLISIS DE PH PARA LAS MUESTRAS DEL FLUIDO RECOGIDAS DEL MODELO DE POZO SÉPTICO.

a- Tomar muestras de los suelos disueltos en agua con los que se están trabajando al inicio y final del recorrido del modelo, como se muestra en la Figura 11.

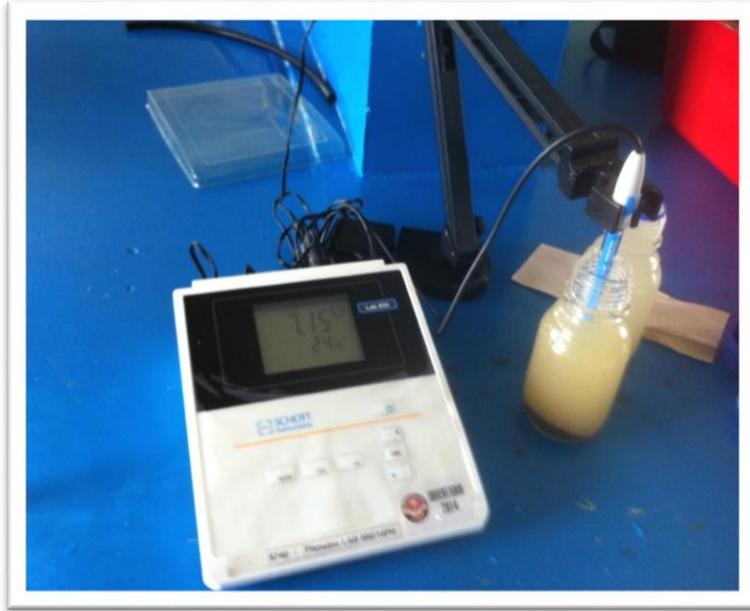
b- Determinar el PH de las muestras tomadas al inicio y final del modelo de trampa de grasas en el laboratorio de química de la Universidad Libre Seccional Pereira, como se observa en la Figura 12.

Figura 11. Muestras de los suelos disueltos en agua tomadas a la entrada y salida del modelo de trampa de grasas



Fuente: Trabajo de campo realizado por los autores, 2014

Figura 12. Medida del PH del fluido con un PH metro digital



Fuente: Trabajo de campo realizado por los autores, 2014

5.8 FASE 8 PRUEBAS DE DESGASTE DEL NEUMÁTICO RECICLADO DE MAQUINARÍA PESADA

a- Determinar el desgaste del material para una dimensión de 10 cm x 10 cm en la máquina de los Ángeles según la norma INV. E – 219 - 07, como se observa en la Figura 13.

b- Realizar el ensayo de laboratorio para la pérdida de solidez del neumático reciclado de maquinaria pesada con medidas de 10 cm x 10 cm frente a la acción de 30 gramos de sulfato de sodio disueltos en 1 litro de agua según la norma INV. E – 220 – 07, como se muestra en la Figura 14.

Figura 13. Prueba de desgaste del material en la máquina de los Ángeles



Fuente: Trabajo de campo realizado por los autores, 2014

Figura 14. Perdida de solidez del material por la solución de sulfato de sodio



Fuente: Trabajo de campo realizado por los autores, 2014

6. MARCO JURÍDICO

6.1 GRANULOMETRÍAS - NORMA NTC 2572 INVIAS.

Material filtrante granular: describe la gravilla de alta densidad, la arena sílice, los materiales de filtro de antracita y la colocación de estos materiales en filtros para aplicación en servicios de suministro de agua.

6.2 PERMEABILIDAD - I.N.V.E- 130 – 07

Permeabilidad de suelos granulares a cabeza constante. Este método de ensayo cubre un procedimiento para determinar el coeficiente de permeabilidad mediante un método de cabeza constante para el flujo laminar de agua a través de suelos granulares. El procedimiento está destinado a establecer valores representativos del coeficiente de permeabilidad de suelos granulares presentes en depósitos naturales o colocados en terraplenes, o cuando se empleen como bases bajo pavimentos. Para limitar las influencias de consolidación durante el ensayo, este procedimiento está limitado a suelos granulares alterados que no contengan más de 10 % de partículas que pasen tamiz de 75 μm (No. 200). Esta norma no pretende considerar todos los problemas de seguridad asociados con su uso. Es de responsabilidad de quien la emplee, el establecimiento de prácticas apropiadas de seguridad y salubridad y la aplicabilidad de limitaciones regulatorias, con anterioridad a su uso.

Determinación de permeabilidad laboratorio 1: permeabilidad de suelos granulares cabeza constante.

Diseño de equipo de permeabilidad para diámetros superiores (simulación de campo): cálculo de permeabilidad.

6.3 APLICACIÓN COMO POZOS SEPTICOS Y TRAMPA DE GRASAS – NTC 1500 CÓDIGO COLOMBIANO DE FONTANERÍA

Permite la separación de grasas por densidad, como complemento para ver Ficha Técnica tratamiento de aguas residuales domésticas según RAS 2000 (Normatividad oficial vigente). Recibe aguas provenientes de duchas, lavaderos, lavamanos y cocinas, donde la grasa, las espumas y demás materias flotantes son retenidas con el fin de hacer más eficientes los procesos de tratamiento posteriores. Esta separación ocurre gracias a la diferencia de densidad de dichos productos y a la hidráulica del equipo.

6.4 RELACIÓN DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO (CBR DE LABORATORIO) I.N.V. E – 148 – 07

Esta norma describe el procedimiento de ensayo para la determinación de un índice de resistencia de los suelos denominado relación de soporte de California, que es muy conocido debido a su origen, como CBR (California Bearing Ratio). Este método de ensayo está proyectado, aunque no limitado, para la evaluación de la resistencia de materiales cohesivos que contengan tamaños máximos de partículas de menos de 19 mm (3/4”).

Cuando se van a ensayar materiales con contenidos máximos de tamaños de partículas mayores de 19 mm (3/4”), este método de ensayo provee la forma de modificar la gradación del material, de manera que el usado para las pruebas pase todo por el tamiz de 19.0 mm (3/4”) a la vez que mantiene constante la fracción del total de la grava entre 75 mm (3”) y 4.75 mm (No.4). Aunque tradicionalmente éste método de preparación de especímenes ha sido empleado para evitar el error inherente en la prueba de materiales que contienen partículas gruesas en el equipo de prueba de CBR, el material modificado puede tener propiedades de resistencia significativamente diferentes a las del material original. Sin embargo, una gran base de experiencia se ha desarrollado usando este método para materiales en los cuales la gradación ha sido modificada y están en uso métodos satisfactorios de diseño, basados en los resultados de pruebas usando este procedimiento.

6.5 ARTÍCULO 673 - 07 SUBDRENES CON GEOTEXTIL Y MATERIAL GRANULAR 673.1 DESCRIPCIÓN.

Esta especificación se refiere al uso de geotextil y material granular en la construcción de subdrenes, en los sitios señalados en los planos del proyecto o indicados por el Interventor. La colocación de un geotextil en contacto con el suelo permite el paso del agua, a largo plazo, dentro del sistema de drenaje sub superficial reteniendo el suelo adyacente. Las características del geotextil para filtración serán función de la gradación del suelo del sitio y de las condiciones hidráulicas del mismo.

El presente Artículo establece los criterios y procedimientos para garantizar la calidad del geotextil y su supervivencia frente a los esfuerzos producidos durante la instalación, de conformidad con los planos del proyecto o las instrucciones del Interventor.

Se deberán usar geotextiles elaborados con fibras sintéticas, del tipo No Tejidos o Tejidos. El geotextil escogido en el diseño deberá tener capacidad para dejar pasar el agua, reteniendo el suelo del sitio. El geotextil a utilizar deberá poseer las siguientes propiedades mecánicas, hidráulicas y de filtración.

6.6 RESISTENCIA AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS GRUESOS DE TAMAÑOS MAYORES DE 19 MM (3/4") POR MEDIO DE LA MAQUINA DE LOS ANGELES I.N.V. E – 219-07.

Esta norma tiene por objeto establecer el método de ensayo para determinar la resistencia al desgaste de agregados gruesos, de tamaños mayores de 19 mm (3/4"), mediante la máquina de Los Ángeles.

Para evaluar la resistencia al desgaste de agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1½"), por medio de la máquina de Los Ángeles, se deberá utilizar la norma INV E – 218.

Esta norma no pretende considerar todos los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad de quien la emplee, el establecimiento de prácticas apropiadas de seguridad y salubridad, y la aplicación de limitaciones regulatorias con anterioridad a su uso.

6.7 SANIDAD DE LOS AGREGADOS FRENTE A LA ACCIÓN DE LAS SOLUCIONES DE SULFATO DE SODIO O DE MAGNESIO I.N.V. E -220 - 07.

Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir, para determinar la resistencia a la desintegración de los agregados, por la acción de soluciones saturadas de sulfato de sodio o de magnesio, seguido de secado al horno para deshidratar parcial o completamente la sal precipitada en los poros permeables. La fuerza de expansión interna derivada de la rehidratación de la sal después de reinmersión simula la expansión del agua por congelamiento.

Mediante este método se puede obtener una información útil para juzgar la calidad de los agregados que han de estar sometidos a la acción de los agentes atmosféricos, sobre todo cuando no se dispone de datos sobre el comportamiento de los materiales que se van a emplear, en las condiciones climatológicas de la obra. Se llama la atención sobre el hecho que los resultados que se obtienen varían según la sal que se emplee y que hay que tener cuidado al fijar los límites en las especificaciones en que se incluya este ensayo.

Los valores se deben expresar en unidades SI (Sistema Ingles).

Esta norma no considera los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad de quien la emplee establecer prácticas apropiadas de seguridad y salubridad y determinar la aplicación de limitaciones regulatorias antes de su empleo.

7. MARCO TEÓRICO

Se realiza una descripción de los fundamentos teóricos que sirven de base para el trabajo de investigación a realizar

7.1 PERMEABILIDAD EN LOS SUELOS

De acuerdo a la definición de Juárez y Badillo, la permeabilidad es la capacidad que tiene un material de permitirle a un fluido que lo atraviese sin alterar su estructura interna. Se afirma que un material es permeable si deja pasar a través de él una cantidad apreciable de fluido en un tiempo dado, e impermeable si la cantidad de fluido es despreciable.

La velocidad con la que el fluido atraviesa el material depende de tres factores básicos:

- a. La porosidad del material.
- b. La densidad del fluido considerado, afectada por su temperatura.
- c. La presión a que está sometido el fluido.

Para ser permeable, un material debe ser poroso, es decir, debe contener espacios vacíos o poros que le permitan absorber fluido. A su vez, tales espacios deben estar interconectados para que el fluido disponga de caminos para pasar a través del material.

En geología la determinación de la permeabilidad del suelo tiene una importante incidencia en los estudios hidráulicos (por ejemplo previo a la construcción de edificios u obras civiles), para estudios de erosión y para mineralogía, entre otras aplicaciones.

La permeabilidad del suelo suele aumentar por la existencia de fallas, grietas, juntas u otros defectos estructurales. Algunos ejemplos de roca permeable son la caliza y la arenisca, mientras que la arcilla o el basalto son prácticamente impermeables²⁴.

Tabla 3. Permeabilidad intrínseca de algunos tipos de suelos

Permeabilidad relativa	Permeabilidad				Semi-Permeable				Muy poco permeable				
Arena-grava no consolidada	Grava continua (o redondeada)		Arena continua o mixta		Arena fina, cieno, Loess, Loam.								
Arcilla no consolidada y materia orgánica					Turba		Estratoarcilloso		Arcilla expansiva				
Roca consolidada	Rocas muy fracturadas				Rocapetrofífera			Piedra arenisca		Roca sedimentaria, dolomita		Granito	
κ (cm ²)	0.001	0.0001	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹	10 ⁻¹⁰	10 ⁻¹¹	10 ⁻¹²	10 ⁻¹³	10 ⁻¹⁴	10 ⁻¹⁵
κ (milidarcys)	10 ⁸	10 ⁷	10 ⁶	10 ⁵	10	1	100	10	1	0.1	0.01	0.001	0.0001

Fuente: Servicio de Conservación del Suelo, Estados Unidos.

De la ley de Darcy se deriva también una fórmula que relaciona el volumen de agua que atraviesa una muestra con su permeabilidad teniendo en cuenta el diferencial de presión:

Ecuación 1

$$Q = K * I * A$$

Dónde:

Q= Cantidad de agua drenada a través de la muestra por unidad de tiempo, (cm³/h).

K= Conductividad hidráulica o coeficiente de permeabilidad. Se expresa generalmente en (cm/h).

I= Gradiente piezométrico disponible; (m/m).

A= Sección transversal por donde se filtra el agua en la muestra (cm²).

²⁴ BADILLO, Juárez; RODRÍGUEZ Rico, Mecánica de los suelos, Tomo I, (2010), Ed. LIMUSA. p.642

Según el Servicio de Conservación del Suelo de los Estados Unidos la permeabilidad se clasifica de la siguiente forma:

Tabla 4. Clasificación de la permeabilidad

	Muy lenta	Lenta	Moderadamente lenta	Moderada	Moderadamente elevada	Elevada	Muy elevada
K (cm/h)	<0,1	0,1 - 0,5	0,5 - 2	2 - 6,5	6,5 - 12,5	12,5 - 25	> 25

Fuente: Servicio de Conservación del Suelo, Estados Unidos

Para efecto del riego el servicio de conservación del suelo recomienda generalmente los siguientes límites:

Suelos con valores de $K < 10^{-6}$ m/seg. o $V_f < 0,5$ cm/h, es decir, que son casi impermeables, no pueden regarse sin mejorar previamente la estructura.

Suelos con valores $10^{-6} < K < 5 \times 10^{-6}$ m/seg. ó $0,5 < V_f < 1,5$ cm/h, son muy poco permeables y deben regarse con mucha precaución.

Suelos con valores $5 \times 10^{-6} < K < 5 \times 10^{-5}$ m/seg. ó $1,5 < V_f < 7,5$ cm/h, son moderadamente permeables hasta permeables, y se adaptan al riego superficial por escurrimiento, por bordes o surcos.

Suelos con valores de $K > 5 \times 10^{-5}$ m/seg. ó $V_f > 7,5$ cm/h, son muy permeables y se prestan a ser regados por aspersión.

7.2 FLUJO DE AGUA EN EL SUELO

Según Miguel Ángel Sainz, 1980. Fue el francés Henry Darcy quien estableció las bases para un estudio racional de los problemas prácticos acerca de la infiltración del agua a través de los suelos. Darcy en el siglo XIX estudió en forma experimental el flujo del agua a través de un medio poroso y estableció la ley que se conoce con el nombre de ley de Darcy. Dicha ley se basa en las siguientes hipótesis, que condicionan su validez:

- a- Medio continuo
- b- Medio isotropo
- c- Medio homogéneo
- d- Flujo del agua en régimen laminar²⁵.

7.2.1 Clasificación según su movilidad. Según Darcy se entiende por infiltración el flujo de agua desde el suelo hacia las zonas no saturada y saturada.

Los factores que afectan a la infiltración son:

- a- Tipo de cubierta vegetal.
- b- Características hidráulicas del suelo.
- c- Estado de humedad del suelo.
- d- Intensidad de la lluvia o cantidad de agua de riego.
- e- Calidad del agua
- f- Formación de costras superficiales.
- g- Trabajos agrícolas.
- h- Velocidad del flujo del agua en el suelo²⁶.

Ecuación 2 $q = Q / A$

Dónde:

q= flujo

Q= Descarga

²⁵ Ibíd.

²⁶ Ibíd.

A = Área de sección

Dado esto, podemos afirmar que existe una proporcionalidad entre “q” y la ecuación.

Ecuación 3 $q = V/A * t = \Delta H / L * K$

El factor de proporcionalidad es la conductividad hidráulica del suelo. En condiciones de equilibrio, la ley de Darcy sirve para definir el movimiento del agua. Sin embargo para la zona no saturada, no siempre es posible encontrar soluciones simples y precisas.

Ecuación 4 $q = K * (\Delta H / L)$

Para suelos saturados, la conductividad hidráulica se asume constante, pero decrece rápidamente cuando reduce la humedad. Esto es debido a que cuando el agua se drena, los poros se vacían y la sección de flujo efectivo es mucho menor. Consecuentemente, el descenso del valor de K es mucho más rápido en suelos con capacidad drenante (arenas) que en suelos con poros de menor tamaño (arcillas).

La ecuación de Darcy es válida para régimen estacionario, pero no cuando el contenido en agua o la tensión cambian con el tiempo. En este caso, es necesario tener en cuenta la ecuación de continuidad.

Ley de Darcy, lleva su nombre porque fue obtenida por Darcy en forma experimental, trabajando con medios homogéneos y con un solo fluido. Sin embargo la formulación más simple de dicha ley (para sistemas lineales) puede considerarse casi "intuitiva". El caudal de un fluido que circula por un medio poroso lineal depende de:

- a- Las propiedades geométricas del sistema: Área (A) y Longitud (L).
- b- Las características del fluido: Principalmente su Viscosidad (μ).

c- Las condiciones de flujo: Diferencia de Presión (DP) entre los extremos del sistema.

De este modo resulta casi "evidente" que, a igualdad de las otras variables del sistema, el caudal (Q) que circula por el medio poroso crece en forma directa con la diferencia de presión aplicada y con el área de flujo disponible y decrece cuando aumenta la longitud y la viscosidad del fluido.

7.3 MÉTODO DIRECTO DE CAMPO Y LABORATORIO

Permeámetro de carga constante Ofrece el método más simple para determinar el coeficiente de permeabilidad de ese suelo. Una muestra de suelo de área transversal A y longitud L conocidas, confinadas en un tubo, se somete a una carga hidráulica h. El agua fluye a través de la muestra, midiéndose la cantidad (en cm^3) que pasa en un tiempo t. El gradiente hidráulico permanece constante a lo largo de todo el periodo del ensayo. Los niveles de agua superior e inferior se mantienen constante por desborde, con lo cual h permanece constante, pues depende solamente de esa diferencia de niveles. La cantidad de agua que pasa se recoge en una bureta graduada.

Nota: Conocidos los valores Q, h, L, A, se calcula el coeficiente de permeabilidad.

7.4 MÉTODO INDIRECTO DE CAMPO DE LABORATORIO Y ANALÍTICO

7.4.1 Método a partir de la curva granulométrica (analítico de laboratorio).

Desde hace tiempo se ha tratado de establecer correlaciones entre la granulometría de un material y su permeabilidad. Para creer que pudiera establecerse tal correlación; en suelos arenosos gruesos, los poros entre las partículas minerales son relativamente grandes y por ello la permeabilidad resulta comparativamente alta; en suelos de menores tamaños, los poros y canalículos entre los granos son más pequeños, por lo cual estos materiales son de menor permeabilidad.

Desgraciadamente, en la práctica, estas correlaciones tiene un valor muy limitado sobre todo debido al hecho de que otros factores, aparte del tamaño, ejercen notoria influencia en el valor del coeficiente en estudio; estos factores se han

resistido, hasta la actualidad, a ser introducidos en una fórmula única, por lo tanto no hay ninguna que los tome en cuenta de un modo aceptable. Así pues, las expresiones, que a continuación se detallan deben verse como una manera muy tosca de valuar la permeabilidad de un suelo y de ningún modo sustituye los métodos más precisos, que son más complicados y costosos, en todos los casos de querer tener un correcto valor de k^{27} .

7.5 FILTROS

El agua es una de las mayores preocupaciones para los daños en obras civiles, para mitigar estos efectos producidos por este líquido es importante drenar y diseñar adecuadamente los filtros; protegiendo así la estructura.

Hay dos requisitos principales para que un filtro sea eficaz, el primer aspecto es que debe tener mayor permeabilidad que el material a cuidar con el fin de que el fluido pueda circular buscando una salida y el segundo punto es que la distancia entre los vacíos debe ser menor que el tamaño del material que se quiere proteger evitando así su escape.

Hay una gran variedad de materiales que se utilizan en los filtros como la tela, la fibra de plástico o de vidrio, el papel entre otros, pero por cuestiones económicas el uso más común es de materiales naturales como la arena y la grava.

7.6 DRENAJE

El drenaje y el subdrenaje son metodologías de remediación o prevención de deslizamientos muy eficientes; su utilización es muy frecuente y existen métodos de análisis y diseño que se basan en el flujo de agua tanto superficial como subterráneo.

Existen varias metodologías de drenaje superficial y profundo. El objetivo principal de estos métodos es disminuir la presión de poros y de esa forma, aumentar la resistencia al corte, eliminar las fuerzas hidrostáticas desestabilizantes y mejorar el factor de seguridad de las superficies de falla por debajo del nivel de agua.

En ocasiones, la implementación de un sistema de drenaje y/o de subdrenaje, se requiere el mantenimiento y la adecuación de los elementos de drenaje existentes, tales como:

²⁷ LAMBE, T; & WHITMAN, R. V (1997). Mecánica de suelos. México. p. 426

Entrega de agua de las edificaciones. Se deben reparar las roturas y reemplazar las conexiones deterioradas. Las obstrucciones de materiales o sedimentos, deben ser eliminadas totalmente.

Canales, cunetas y Box Couverts de las vías, los cuales deben limpiarse, repararse y si se requiere deben ampliarse.

Canales de cuerpo de agua. Se necesita garantizar la impermeabilidad para evitar las infiltraciones.

7.6.1 Drenaje superficial. El objetivo principal del drenaje superficial es mejorar la estabilidad del talud reduciendo la infiltración y evitando la erosión. El sistema de recolección de aguas superficiales debe captar la escorrentía, tanto del talud como de la cuenca de drenaje arriba del talud y llevar el agua a un sitio seguro, lejos del talud que se va a proteger.

El agua de escorrentía debe, en lo posible, desviarse antes de que penetre el área del deslizamiento o se infiltre en dirección al talud. Por otro lado, el agua de las lluvias que cae directamente sobre la superficie del talud, debe ser evacuada lo más rápidamente posible, evitando al mismo tiempo que su paso cause daños por acción de la erosión, almacenamiento e infiltración.

Tipos de Obra de Drenaje Superficial. Las obras de drenaje generalmente consisten en:

a- Canales para redireccionar el agua de escorrentía: Se debe impedir que el agua de escorrentía se dirija hacia la zona inestable.

b- Zanjas de corona: Son zanjas interceptoras de la escorrentía en la parte alta del talud.

c- Diques en la corona del talud. Son diques en relleno, colocados arriba de la corona, con el objeto de desviar hacia los lados las aguas de escorrentía.

d- Drenes Franceses: Son zanjas rellenas de material granular grueso que tienen por objetivo captar y conducir las aguas de escorrentía.

e-Trinchos o Cortacorrientes: Consisten en diques a través del talud para desviar lateralmente, las aguas de escorrentía.

f- Torrenteras: Son estructuras que recogen las aguas de los canales, diques o cortacorrientes y las conducen hacia abajo del talud. Generalmente, incluyen elementos para disipar la energía del flujo del agua.

g- Sellado de grietas con arcilla o mortero: El objeto es impedir la infiltración de agua hacia el deslizamiento.

h-Imprimación del talud con asfalto o impermeabilización con mortero: La impermeabilización tiene por objeto evitar los cambios de humedad en el suelo.

i- Recubrimiento con plásticos: Aunque el recubrimiento no impide la infiltración, sí protege contra el impacto de las gotas de lluvia, disminuye los volúmenes de agua infiltrada y mantiene la humedad natural.

j-Conformación y nivelación del terreno. El objetivo es evitar o eliminar las depresiones y empozamientos de agua superficiales para disminuir los volúmenes de infiltración.

7.6.2 Tipos de Obra de Drenaje Superficial. Las obras de drenaje generalmente consisten en:

a- Canales para redireccionar el agua de escorrentía: Se debe impedir que el agua de escorrentía se dirija hacia la zona inestable.

b- Zanjas de corona: Son zanjas interceptoras de la escorrentía en la parte alta del talud.

c- Diques en la corona del talud. Son diques en relleno, colocados arriba de la corona, con el objeto de desviar hacia los lados las aguas de escorrentía.

d- Drenes Franceses: Son zanjas rellenas de material granular grueso que tienen por objetivo captar y conducir las aguas de escorrentía.

e-Trinchos o Cortacorrientes: Consisten en diques a través del talud para desviar lateralmente, las aguas de escorrentía.

f- Torrenteras: Son estructuras que recogen las aguas de los canales, diques o cortacorrientes y las conducen hacia abajo del talud. Generalmente, incluyen elementos para disipar la energía del flujo del agua.

g- Sellado de grietas con arcilla o mortero: El objeto es impedir la infiltración de agua hacia el deslizamiento.

h-Imprimación del talud con asfalto o impermeabilización con mortero: La impermeabilización tiene por objeto evitar los cambios de humedad en el suelo.

i- Recubrimiento con plásticos: Aunque el recubrimiento no impide la infiltración, sí protege contra el impacto de las gotas de lluvia, disminuye los volúmenes de agua infiltrada y mantiene la humedad natural.

j-Conformación y nivelación del terreno. El objetivo es evitar o eliminar las depresiones y empozamientos de agua superficiales para disminuir los volúmenes de infiltración²⁸.

7.7 TRAMPA DE GRASA

Una trampa de grasa es un recipiente grande con dos tanques de agua al interior. El primer tanque de agua recoge toda el agua de desecho del drenaje y luego la enfría a temperatura ambiente. Aquí, la grasa es endurecida y flota en la parte superior del tanque donde se convierte en "atrapada". Mientras tanto, los alimentos más pesados y sólidos que han pasado en el tanque se hunden hasta el fondo y el resto del agua, libre de la mayoría de contaminantes, continúa en el segundo tanque a través de un tubo cruzado. Este proceso se repite de nuevo en el segundo tanque antes de salir a la red de alcantarillado.

El empleo de trampa de grasa es de carácter obligatorio para el acondicionamiento de las descargas de los lavaderos, lavaplatos u otros aparatos sanitarios instalados en restaurantes, cocinas de hoteles, hospitales y similares, donde exista el peligro de introducir cantidad suficiente de grasa que afecte el buen funcionamiento del sistema de evacuación de las aguas residuales, así como de las descargas de lavanderías de ropa.

7.7.1 Requisitos previos.

a- Los desechos de los desmenuzadores de desperdicios no se deben descargar a la trampa de grasa.

b- Las trampas de grasa deberán ubicarse próximas a los aparatos sanitarios que descarguen desechos grasos, y por ningún motivo deberán ingresar aguas residuales provenientes de los servicios higiénicos.

²⁸ *Ibíd.*

c- Las trampas de grasa deberán proyectarse de modo que sean fácilmente accesibles para su limpieza y eliminación o extracción de las grasas acumuladas.

d- Las trampas de grasa deberán ubicarse en lugares cercanos en donde se preparen alimentos.

e- La capacidad mínima de la trampa de grasa debe ser de 300 litros.

f- En el caso de grandes instalaciones como hospitales o restaurantes que atiendan a más de 50 personas, deberán considerar la instalación de dos trampas de grasa.

g- No es obligatorio diseñar trampa de grasa para viviendas unifamiliares.

h- Las trampas de grasa pueden ser construidas de metal, ladrillos y concreto, de forma rectangular o circular.

i- Las trampas de grasa se ubicarán en sitios donde puedan ser inspeccionadas y con fácil acceso para limpiarlas. No se permitirá colocar encima o inmediato a ello maquinarias o equipo que pudiera impedir su adecuado mantenimiento.

8.7.2 Diseño de la trampa de grasa.

a- La determinación del caudal de diseño se ejecutará a partir de las unidades de gasto.

b- El caudal máximo se calculará mediante la siguiente fórmula:

Ecuación 5 $Q = 0.3 \sum p$

Dónde:

Q = Caudal máximo en lts/seg.

$\sum p$ = Suma de todas las unidades de gasto a ser atendido por la trampa de grasa

c) El volumen de la trampa de grasa se calculará para un período de retención entre 2,5 a 3,0 minutos.

7.7.2 Características de la trampa de grasa.

a- La relación largo-ancho del área superficial de la trampa de grasa deberá estar comprendido entre 2:1 a 3:2.

- b- La profundidad no deberá ser menor a 0,80 m.
- c- El ingreso a la trampa de grasa se hará por medio de un codo de 90° y un diámetro mínimo de 75 mm. La salida será por medio de una tee con un diámetro mínimo de 75 mm.
- d- La parte inferior del codo de entrada deberá prolongarse hasta 0,15 m por debajo del nivel de líquido.
- e- La diferencia de nivel entre la tubería de ingreso y de salida deberá de ser no menor a 0,05 m.
- f- La parte superior del dispositivo de salida deberá dejar una luz libre para ventilación de no más de 0,05 m por debajo del nivel de la losa del techo.
- g- La parte inferior de la tubería de salida deberá estar no menos 0,075 m ni más de 0,15 m del fondo.
- h- El espacio sobre el nivel del líquido y la parte inferior de la tapa deberá ser como mínimo 0,30 m.
- i- La trampa de grasa deberá ser de forma tronco cónica o piramidal invertida con la pared del lado de salida vertical. El área horizontal de la base deberá ser de por lo menos 0,25 x 0,25 m por lado o de 0,25 m de diámetro. Y el lado inclinado deberá tener una pendiente entre 45° a 60° con respecto a la horizontal.
- j- Se podrá aceptar diseños con un depósito adjunto para almacenamiento de grasas, cuando la capacidad total supere los 0,6 m³ o donde el establecimiento trabaje en forma continua por más de 16 horas diarias.
- k- La trampa de grasa y el compartimento de almacenamiento de grasa estarán conectados a través de un vertedor de rebose, el cual deberá estar a 0,05 m por encima del nivel de agua. El volumen máximo de acumulación de grasa será de por lo menos 1/3 del volumen total de la trampa de grasa²⁹.

²⁹ COLOMBIT, Manual pozos sépticos (2009).

8. RESULTADOS

8.1 GRANULOMETRÍA PARA PIEDRA DE CANTERA

En la siguiente tabla se muestra la información obtenida por un proceso de tamizado a la cual fue expuesta la piedra de mano proveniente de la cantera de Combia, lo que permitió determinar la curva granulométrica de la grava que es uno de los materiales con los que se procedió a realizar la investigación.

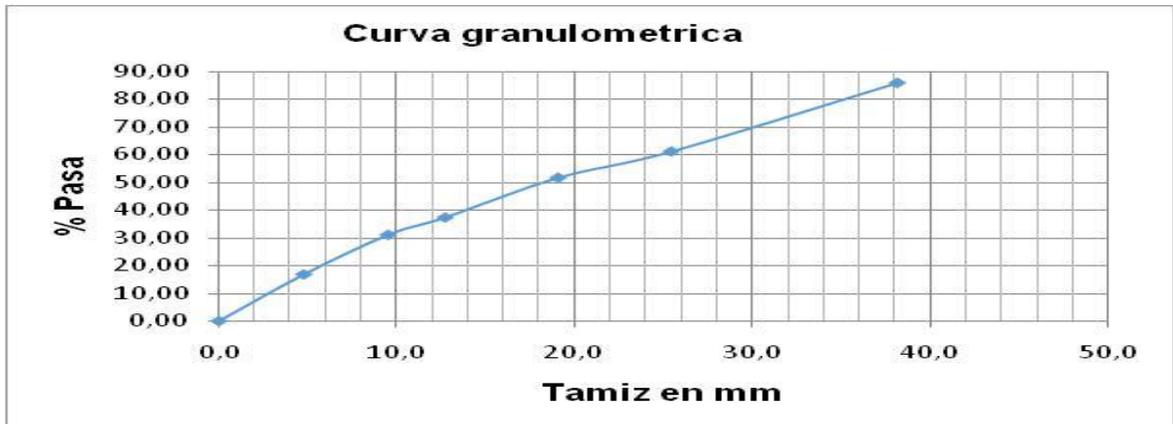
Se podrá destacar por este método la aplicación práctica en la clasificación de material para filtros longitudinales en vías.

Tabla 5. Granulometría piedra de cantera 1”

Peso Material + Tara (g)	Tamiz	Tamiz (mm)	Material + Tara (g)	Peso Material (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
1266,2	:1/2	38,1	284.8	163,6	14,3	14,3	85,7
	1	25,4	404.1	282,9	24,7	39,0	61,0
121,2	:3/4	19,1	229,0	107,8	9,4	48,4	51,6
	:1/2	12,7	285.1	163,9	14,3	62,7	37,3
	:3/8	9,5	192.6	71,4	6,2	69,0	31,0
1145,0	#4	4,8	284.6	163,4	14,3	83,2	16,8
	Fondo		313.2	192,0	16,8	100,0	0,0
	Total			1145,0	100,0		

Fuente: Elaboración de los autores

Grafico 1. Curva granulométrica grava 1”



Fuente: Elaboración de los autores

8.2 ENSAYOS DE LABORATORIO PARA DETERMINAR EL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD A CABEZA CONSTANTE

8.2.1 Permeabilidad para piedra de cantera de diámetro 1”

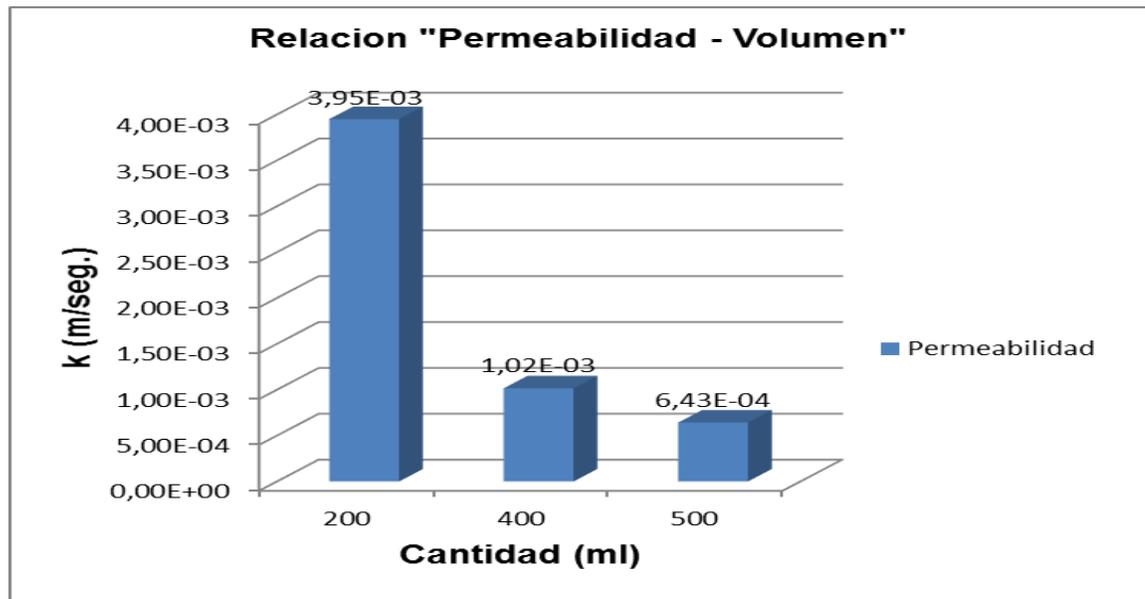
A continuación se muestran los resultados obtenidos en el laboratorio de cabeza constante utilizando grava proveniente de cantera; a la cual se le determinó su respectiva granulometría y con el porcentaje retenido en el tamiz de 1” se procede a realizar el ensayo para identificar el caudal (Q) y el coeficiente de permeabilidad (k).

Tabla 6. Permeabilidad y Caudal piedra de cantera 1”

PIEDRA DE CANTERA (14 cm)	PERMEABILIDAD PIEDRA DE CANTERA 1"										
	Cantidad (ml)	Tiempo (seg)			t (seg)	L (m)	V (m/s)	H (m)	A (m2)	$K=V*L/H*A*t$ (m/s)	Q (ml/s)
		1	2	3	Tiempo Promedio	longitud Muestra	Velocidad Promedio	Diferencia de Longitud	Área Transversal	Permeabilidad	Caudal
	200	11,6200	11,3400	11,3800	11,4467	0,1500	0,0131	0,6900	0,0630	0,0040	17,4723
400	22,5800	22,6700	22,4700	22,5733	0,1500	0,0066	0,6900	0,0630	0,0010	17,7200	
500	28,3300	28,4600	28,3500	28,3800	0,1500	0,0053	0,6900	0,0630	0,0006	17,6180	

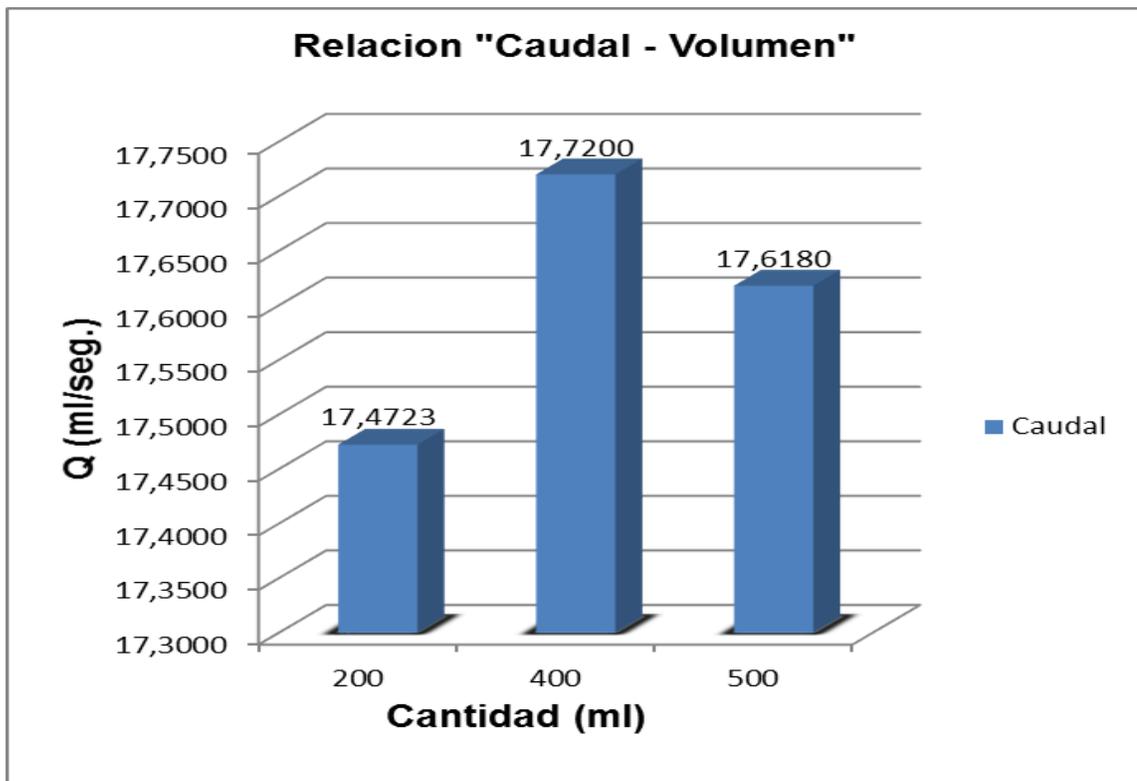
Fuente: Elaboración de los autores

Gráfico 2. Permeabilidad piedra de cantera 1”



Fuente: Elaboración de los autores

Grafico 3. Caudal piedra de cantera 1"



Fuente: Elaboración de los autores

8.2.2 Permeabilidad para neumático de 1"x1"

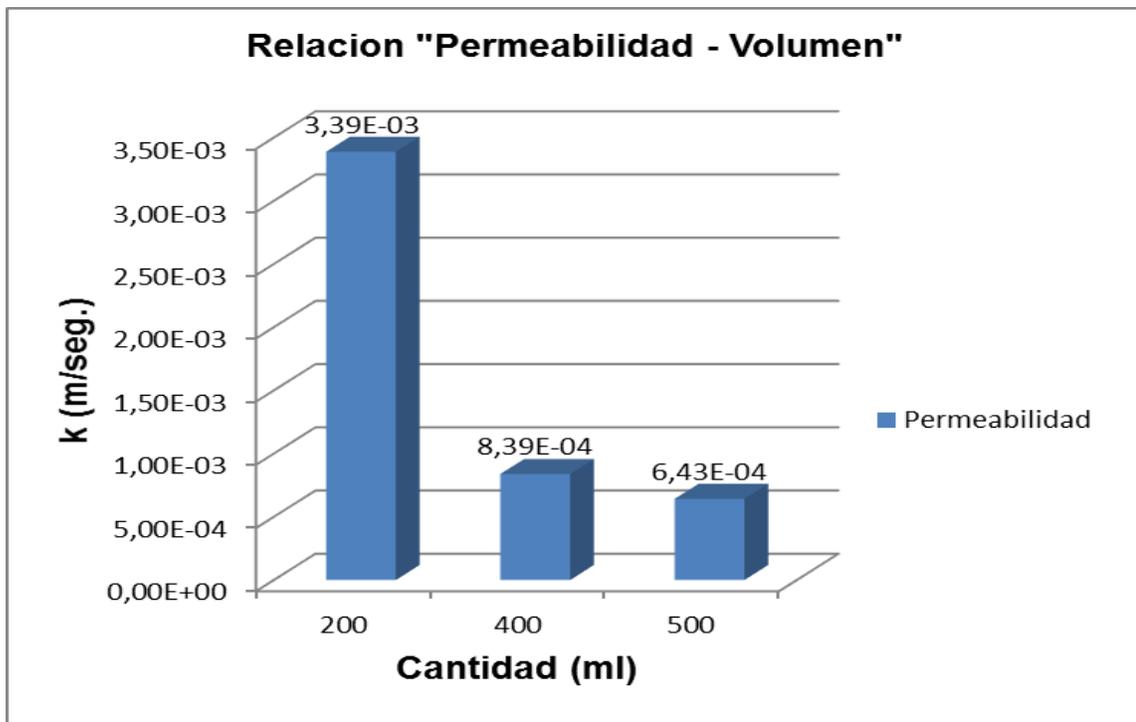
En la siguiente tabla se identifica la permeabilidad y el caudal determinados por el ensayo de laboratorio a cabeza constante usando como material llanta reciclada de maquinaria pesada cortados en trozos uniformemente de 1" para identificar se eficiencia como filtro.

Tabla 7. Permeabilidad y caudal para neumático triturado de 1”

PERMEABILIDAD NEUMATICO TRITURADO DE 1"											
NEUMATICO (1.4 cm)	Cantidad (ml)	Tiempo (seg)			t (seg)	L (m)	V (m/s)	H (m)	A (m ²)	$K=V*L/H*A*t$ (m/s)	Q (ml/s)
		1	2	3	Tiempo Promedio	longitud Muestra	Velocidad Promedio	Diferencia de Longitud	Área Transversal	Permeabilidad	Caudal
	200	11,6800	11,9100	11,0200	11,5367	0,1400	0,0121	0,6900	0,0630	0,0034	17,3360
	400	22,9100	23,6200	23,0200	23,1833	0,1400	0,0060	0,6900	0,0630	0,0008	17,2538
500	28,9500	29,2600	28,6800	28,9633	0,1400	0,0048	0,6900	0,0630	0,0005	17,2632	

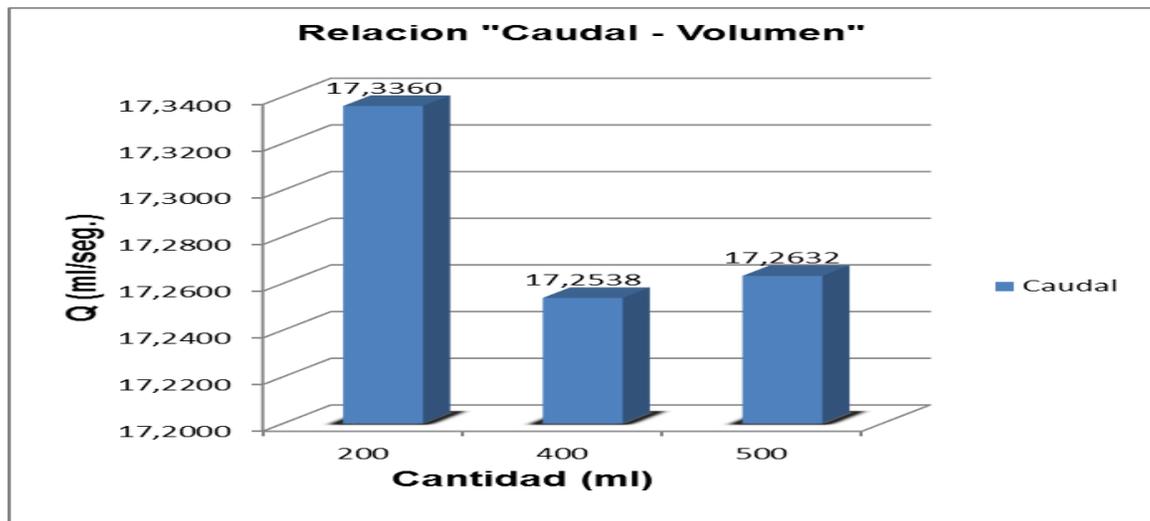
Fuente: Elaboración de los autores, a partir de resultados prueba de laboratorio

Gráfico 4. Permeabilidad neumático triturado 1” en relación a la cantidad de agua



Fuente: Elaboración de los autores

Grafico 5. Caudal neumático triturado 1" en relación a la cantidad de agua



Fuente: Elaboración de los autores

8.2.3 Permeabilidad mixto (arriba neumático, abajo piedra de cantera)

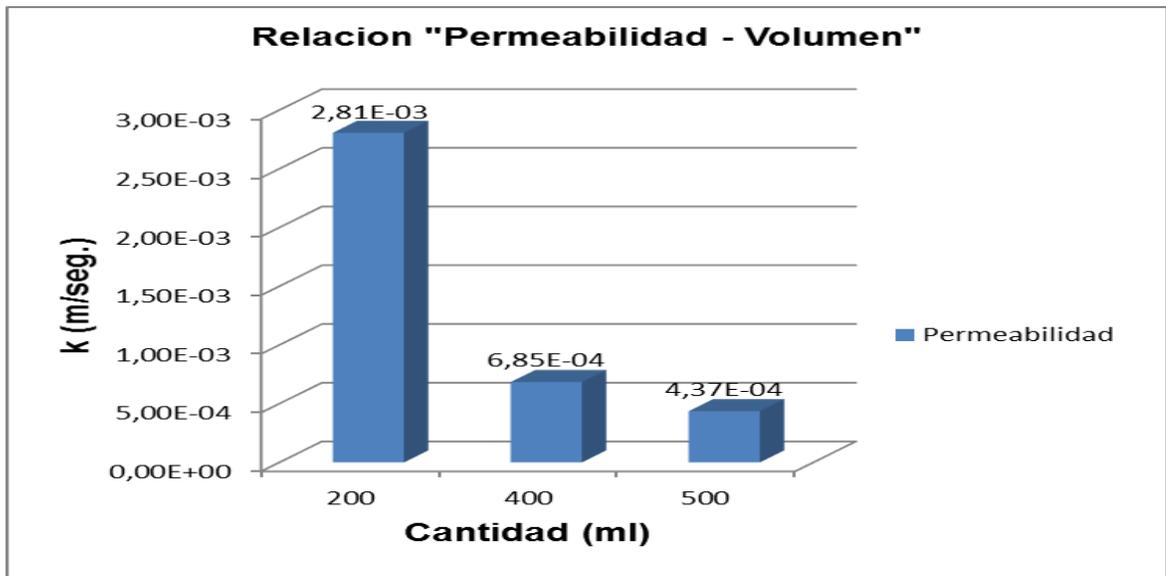
A continuación en la tabla se observa los resultados de permeabilidad y caudal hallados en el ensayo de laboratorio de cabeza constante realizando una combinación entre grava y neumático de maquinaria pesada en el cual se ordena de la siguiente manera: 6,5 cm de grava en la base y 6,5 cm de neumático en la parte superior.

Tabla 8. Permeabilidad y Caudal para dos materiales (arriba neumático 1", abajo piedra de cantera 1")

		PERMEABILIDAD DE DOS MATERIALES DE 1" (ARRIBA NEUMATICO, ABAJO PIEDRA DE CANTERA)									
		Tiempo (seg)			t (seg)	L (m)	V (m/s)	H (m)	A (m ²)	K=V*L/H*A*t (m/s)	Q (ml/s)
CANTIDAD (ml)	NEUMATICO (7,5 cm)	1	2	3	Tiempo Promedio	longitud Muestra	Velocidad Promedio	Diferencia de Longitud	Área Transversal	Permeabilidad	Caudal
		200	PIEDRA DE CANTERA (7,5 cm)	12,5800	11,0500	11,6800	11,7700	0,1300	0,0110	0,6900	0,0630
400	PIEDRA DE CANTERA (7,5 cm)	24,7300	23,2100	23,5400	23,8267	0,1300	0,0055	0,6900	0,0630	0,0007	16,7879
500	PIEDRA DE CANTERA (7,5 cm)	30,7400	29,2400	29,5400	29,8400	0,1300	0,0044	0,6900	0,0630	0,0004	16,7560

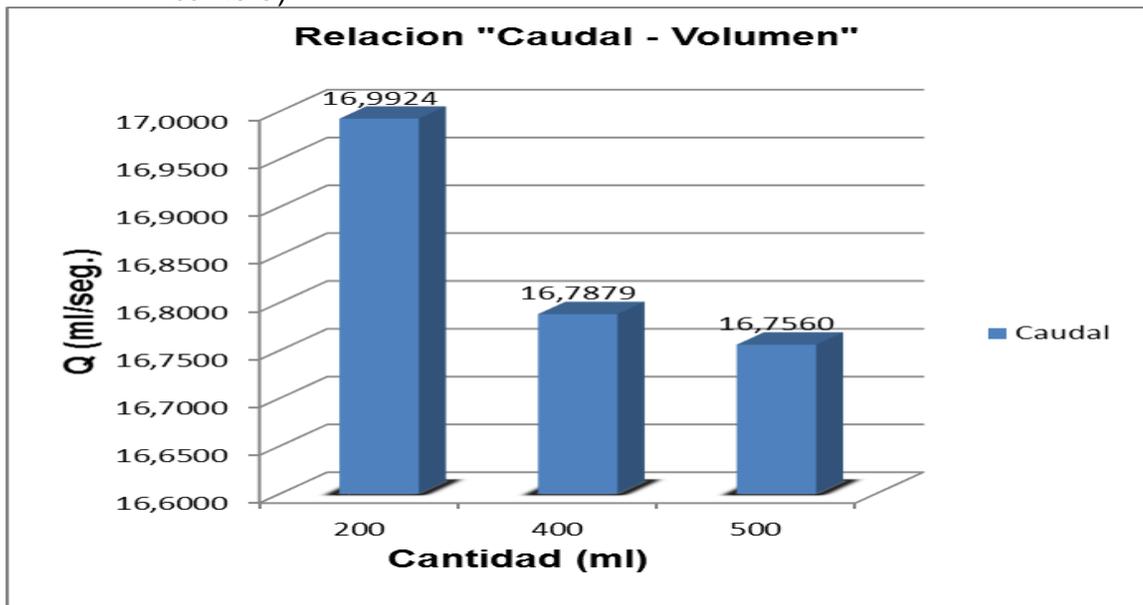
Fuente: Elaboración de los autores, a partir de resultados prueba de laboratorio

Grafico 6 . Permeabilidad de dos materiales de 1" (arriba neumático, abajo piedra de cantera)



Fuente: Elaboración de los autores

Grafico 7. Caudal de dos materiales de 1" (arriba neumático, abajo piedra de cantera)



Fuente: Elaboración de los autores

8.2.4 Permeabilidad mixto (abajo neumático, arriba piedra de cantera)

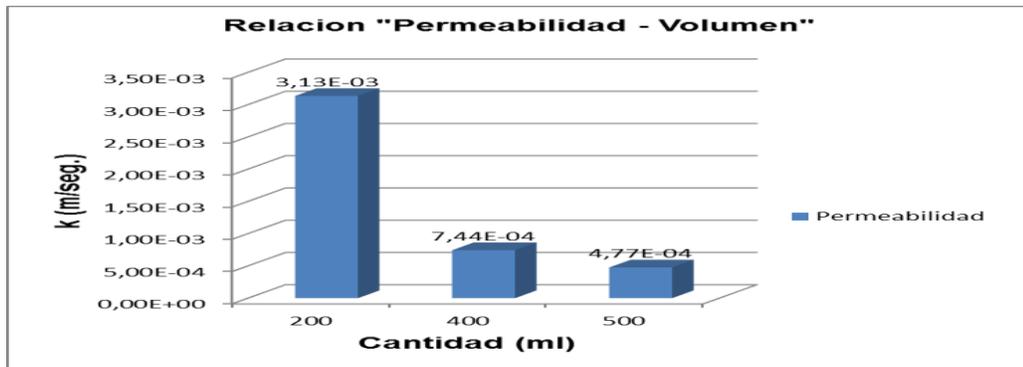
En la siguiente tabla se muestra los resultados de permeabilidad y caudal hallados en el ensayo de laboratorio de cabeza constante realizando una combinación entre grava y neumático de maquinaria pesada en el cual se ordena de la siguiente manera: 6,5 cm de grava en la parte superior y 6,5 cm de neumático en la parte inferior.

Tabla 9. Permeabilidad y caudal para dos materiales (arriba piedra de cantera 1", abajo neumático 1")

PERMEABILIDAD DE DOS MATERIALES DE 1" (ABAJO NEUMATICO, ARRIBA PIEDRA DE CANTERA)											
PIEDRA DE CANTERA (7,5 cm)	Cantidad (ml)	Tiempo (seg)			t (seg)	L (m)	V (m/s)	H (m)	A (m ²)	$K=V*L/H*A*t$ (m/s)	Q (ml/s)
		1	2	3	Tiempo Promedio	longitud Muestra	Velocidad Promedio	Diferencia de Longitud	Área Transversal	Permeabilidad	Caudal
NEUMATICO (7,5 cm)	200	10,7800	11,1300	11,5000	11,1367	0,1300	0,0117	0,6900	0,0630	0,0031	17,9587
	400	22,7600	22,6200	23,1800	22,8533	0,1300	0,0057	0,6900	0,0630	0,0007	17,5029
	500	28,2400	28,4800	28,9600	28,5600	0,1300	0,0046	0,6900	0,0630	0,0005	17,5070

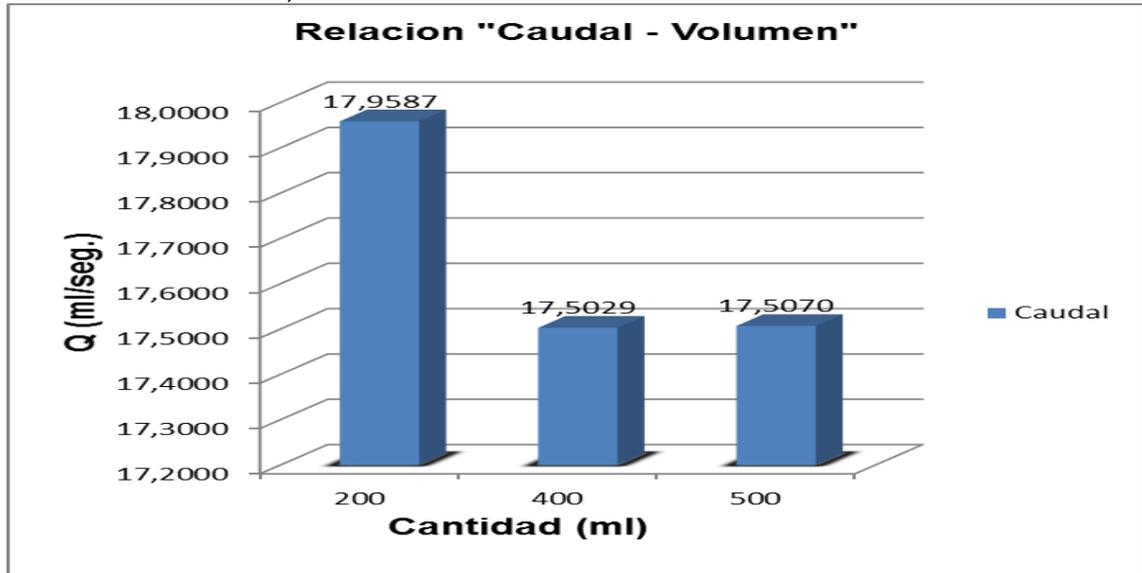
Fuente: Elaboración de los autores, a partir de resultados prueba de laboratorio

Gráfico 8. Permeabilidad de dos materiales de 1" (abajo neumático, arriba piedra de cantera)



Fuente: Elaboración de los autores

Grafico 9. Caudal de dos materiales de 1”(abajo neumático, arriba piedra de cantera)



Fuente: Elaboración de los autores

8.2.5 Permeabilidad por capas (piedra de cantera, neumático, piedra de cantera, neumático)

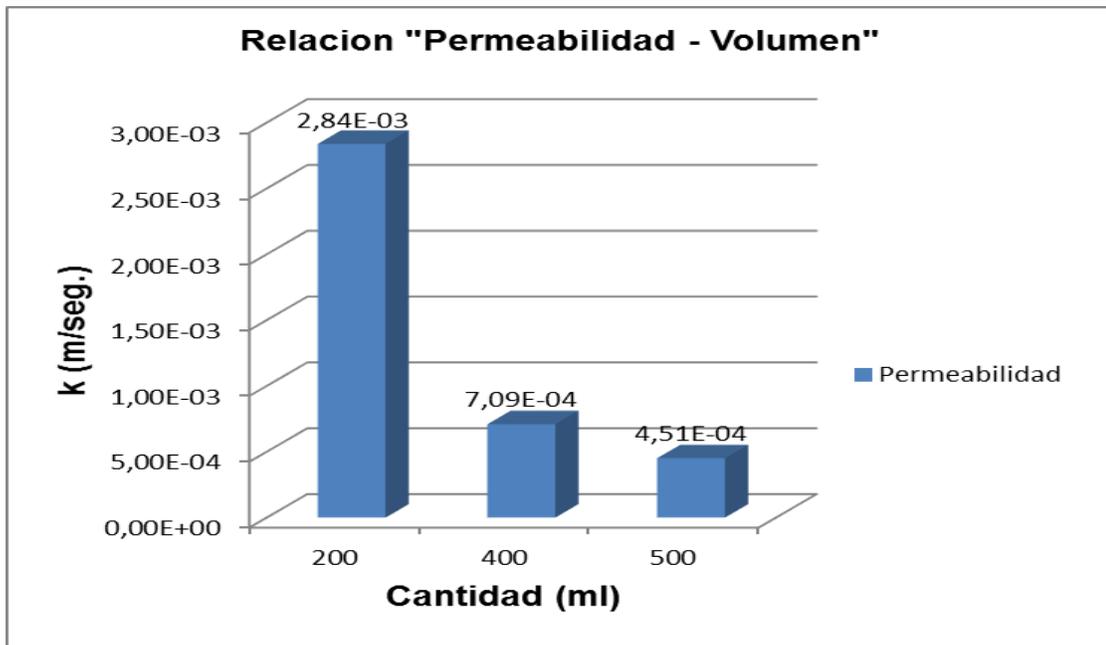
A continuación en la tabla se puede observar los resultados obtenidos por el ensayo del laboratorio a cabeza constante ubicando los materiales de grava y neumático reciclado de maquinaria pesada por capas, en donde se combinan de la siguiente manera: 3,25 cm de grava, 3,25 cm de neumático y se repite el orden de ubicación hasta ocupar el total del volumen de la cámara.

Tabla 10. Permeabilidad y caudal de dos materiales de 1” combinados por capas (piedra de cantera, neumático, piedra de cantera, neumático)

PIEDRA DE CANTERA (3,5 cm)	PERMEABILIDAD DE DOS MATERIALES COMBINADOS EN CAPAS (ARRIBA PIEDRA DE CANTERA, NEUMATICO, PIEDRA DE CANTERA, NEUMATICO)										
	Cantidad (ml)	Tiempo (seg)			t (seg)	L (m)	V (m/s)	H (m)	A (m2)	K=V*L/H*A*t (m/s)	Q (ml/s)
PIEDRA DE CANTERA (3,5 cm)		1	2	3	Tiempo Promedio	longitud Muestra	Velocidad Promedio	Diferencia de Longitud	Área Transversal	Permeabilidad	Caudal
NEUMATICO (3,5 cm)	200	11,5500	11,5800	11,9800	11,7033	0,1300	0,0111	0,6900	0,0630	0,0028	17,0891
PIEDRA DE CANTERA (3,5 cm)	400	23,0600	23,3900	23,7800	23,4100	0,1300	0,0056	0,6900	0,0630	0,0007	17,0867
NEUMATICO (3,5 cm)	500	28,8100	29,4700	29,8100	29,3633	0,1300	0,0044	0,6900	0,0630	0,0005	17,0280

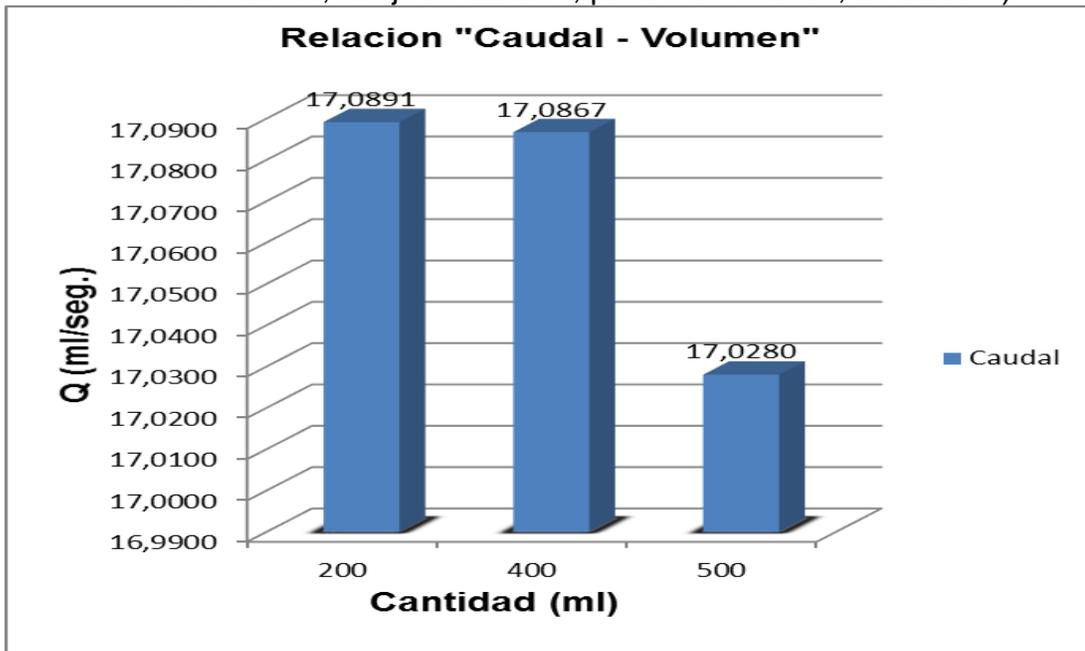
Fuente: Elaboración de los autores, a partir de resultados prueba de laboratorio

Grafico 10. Permeabilidad de dos materiales de 1" combinados por capas (arriba piedra de cantera, abajo neumático, piedra de cantera, neumático)



Fuente: Elaboración de los autores

Grafico 11. Caudal de dos materiales de 1" combinados por capas (arriba piedra de cantera, abajo neumático, piedra de cantera, neumático)



Fuente: Elaboración de los autores

8.3 GRANULOMETRÍA PARA PIEDRA DE MANO

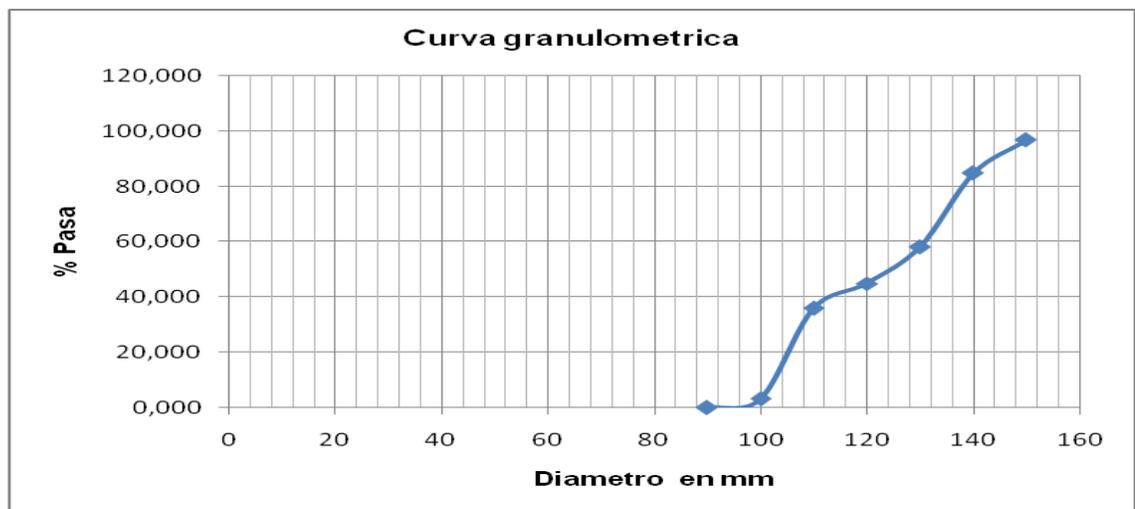
A continuación en la tabla se muestra la información y la curva granulométrica de la piedra de mano, en el siguiente ensayo de granulometría se toma un peso total de 30 kg de material y se procede una por una a tomar las medidas y peso de la grava, dando como resultado una media de 12 cm.

Tabla 11. . Granulometría piedra de mano

Diámetro (cm)	Diámetro (mm)	Peso Retenido (Kg)	% Parcial Retenido	% Acumulado	
				Retenido	Pasante
15,00	150,00	0,97	3,31	3,31	96,69
14,00	140,00	3,49	11,94	15,25	84,75
13,00	130,00	7,78	26,60	41,85	58,15
12,00	120,00	3,88	13,26	55,11	44,89
11,00	110,00	2,62	8,97	64,08	35,92
10,00	100,00	9,57	32,72	96,80	3,20
9,00	90,00	0,94	3,20	100,00	0,00
	Total	29,25	100,00		

Fuente: Elaboración de los autores, a partir de resultados prueba de laboratorio

Grafico 12. Curva granulométrica para la piedra de mano



Fuente: Elaboración de los autores

8.4 ENSAYOS DE LABORATORIO PARA DETERMINAR LA PERMEABILIDAD A CABEZA CONSTANTE EN EL MODELO CONSTRUIDO A UNA ESCALA MAYOR

Con la referencia del equipo de laboratorio para determinar la permeabilidad a cabeza constante, se procede a construir el modelo a una escala mayor del referente utilizando un balde común, mangueras, tubos PVC y accesorios los cuales fueron ubicados y adaptados correctamente para que su funcionamiento sea eficiente.

8.4.1 Permeabilidad para grava de diámetro 12 cm.

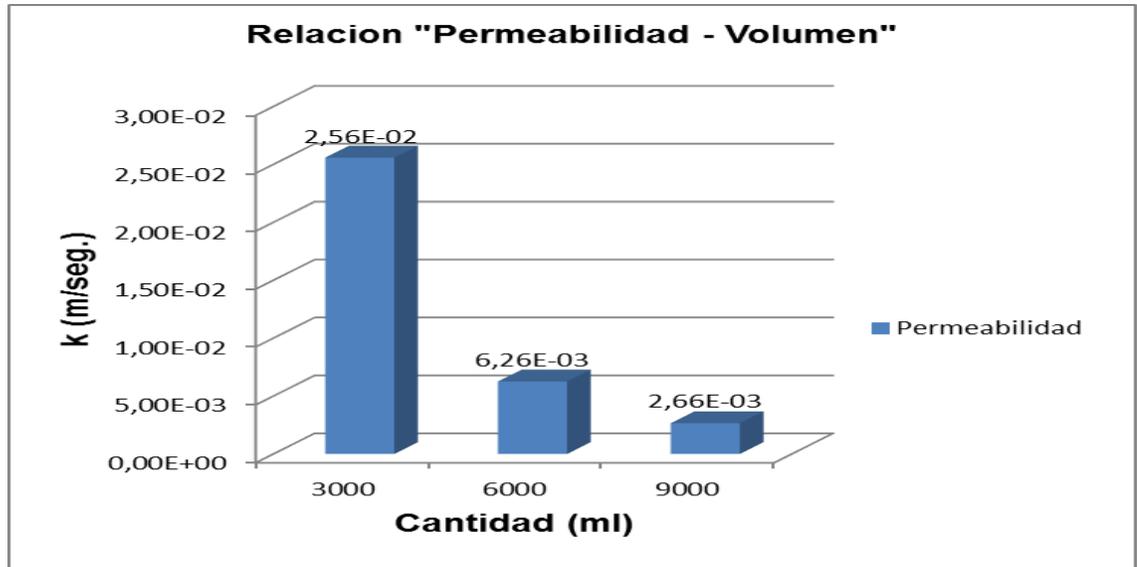
Para el ensayo de permeabilidad a cabeza constante en el modelo a escala se toma piedra de mano con un promedio de 12 cm de diámetro y el volumen de agua en mayor cantidad.

Tabla 12. Permeabilidad piedra de mano con diámetro 12 cm

PERMEABILIDAD PIEDRA DE MANO											
GRAVA (3.5 cm)	Cantidad (ml)	Tiempo (seg)			t (seg)	L (m)	V (m/s)	H (m)	A (m ²)	$K=V^3L/H^3A^3t$ (m/s)	Q (ml/s)
		1	2	3	Tiempo Promedio	Longitud Muestra	Velocidad Promedio	Diferencia de Longitud	Área Transversal	Permeabilidad	Caudal
	3000	8,100	8,250	8,900	8,417	0,350	0,042	1,060	0,064	0,026	356,436
	6000	16,200	17,030	17,800	17,010	0,350	0,021	1,060	0,064	0,006	352,734
9000	25,830	25,920	26,570	26,107	0,350	0,013	1,060	0,064	0,003	344,740	

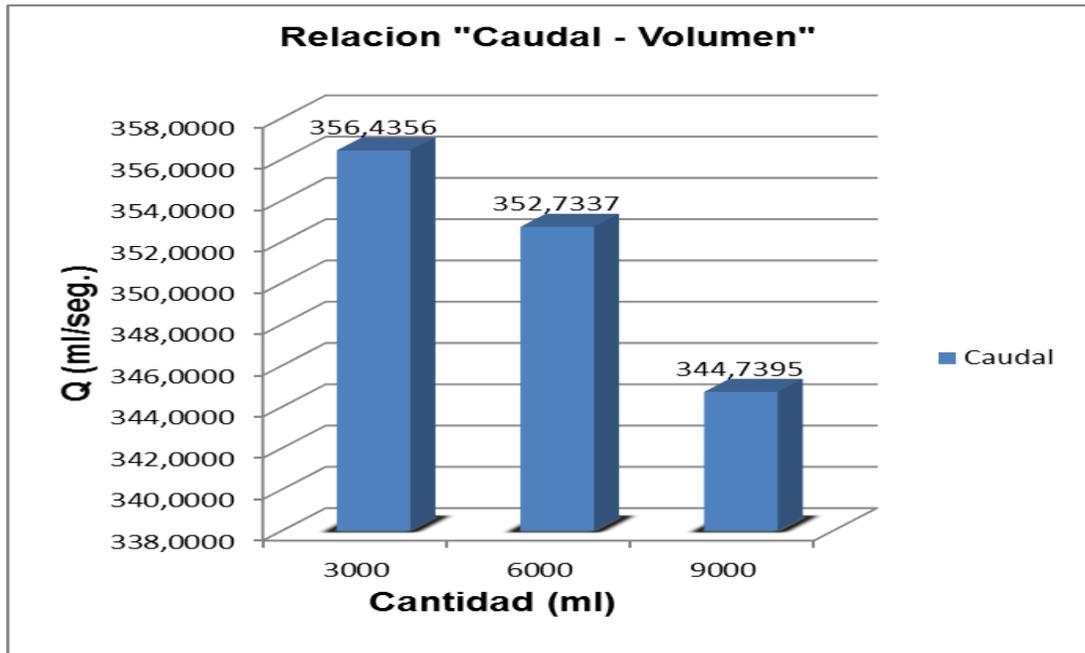
Fuente: Elaboración de los autores, a partir de resultados prueba de laboratorio

Grafico 13 . Permeabilidad piedra de mano de diámetro 12 cm



Fuente: Elaboración de los autores

Grafico 14. Caudal piedra de mano de diámetro 12 cm



Fuente: Elaboración de los autores

8.4.2 Permeabilidad para neumático usado de maquinaria pesada 10cm x 10cm

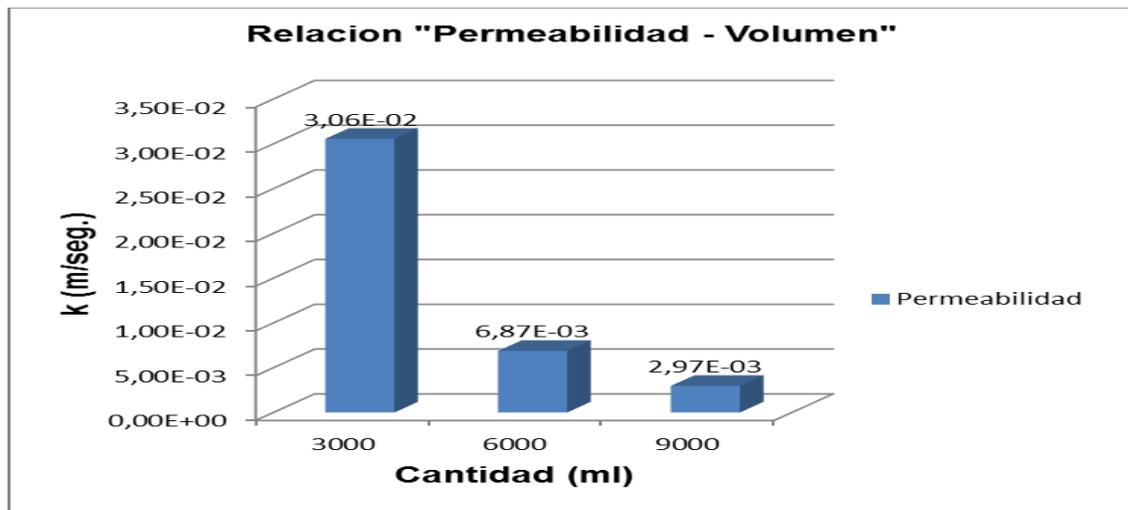
En la siguiente tabla se identifica la permeabilidad y el caudal determinados por el ensayo a cabeza constante usando material de llanta reciclada de maquinaria pesada cortado en trozos de 10cm x 10cm y se ubican en el balde uniformemente.

Tabla 13. Permeabilidad neumático de 10 cm

PERMEABILIDAD NEUMATICO DE MAQUINARIA PESADA										
CANTIDAD (35 cm)	Tiempo (seg)			t (seg)	L (m)	V (m/s)	H (m)	A (m ²)	$K=V*L/H*A*t$ (m/s)	Q (ml/s)
	1	2	3	Tiempo Promedio	Longitud Muestra	Velocidad Promedio	Diferencia de Longitud	Área Transversal	Permeabilidad	Caudal
3000	7,650	7,660	7,750	7,687	0,350	0,046	1,060	0,064	0,031	390,286
6000	16,210	16,230	16,190	16,210	0,350	0,022	1,060	0,064	0,007	370,142
9000	24,630	24,680	24,700	24,670	0,350	0,014	1,060	0,064	0,003	364,816

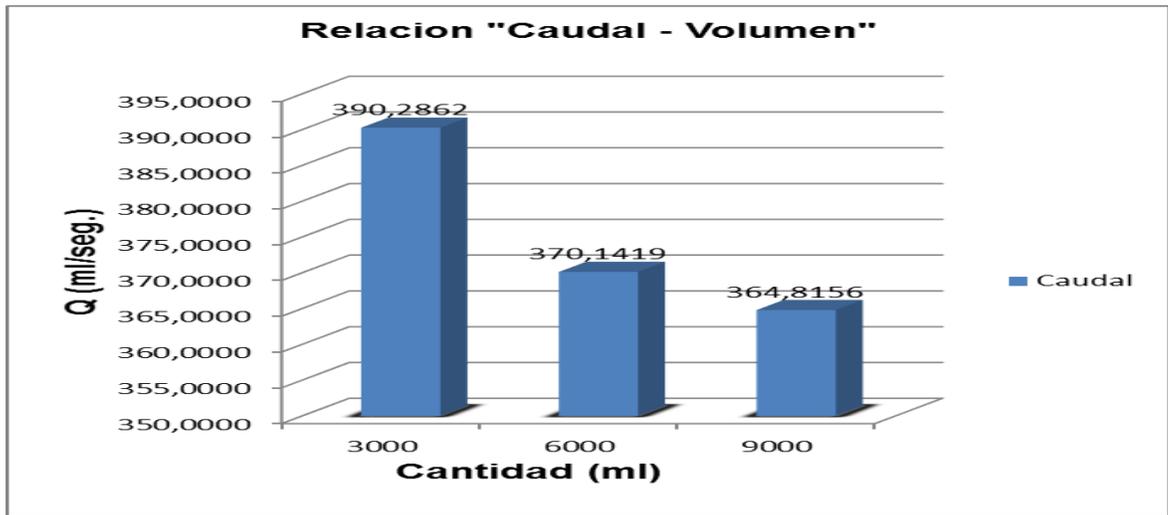
Fuente: Elaboración de los autores, a partir de resultados prueba de laboratorio

Gráfico 15. Permeabilidad neumático maquinaria pesada de 10 cm



Fuente: Elaboración de los autores

Grafico 16. Caudal neumático maquinaria pesada de 10 cm



Fuente: Elaboración de los autores

8.4.3 Permeabilidad mixto (arriba neumático, abajo grava)

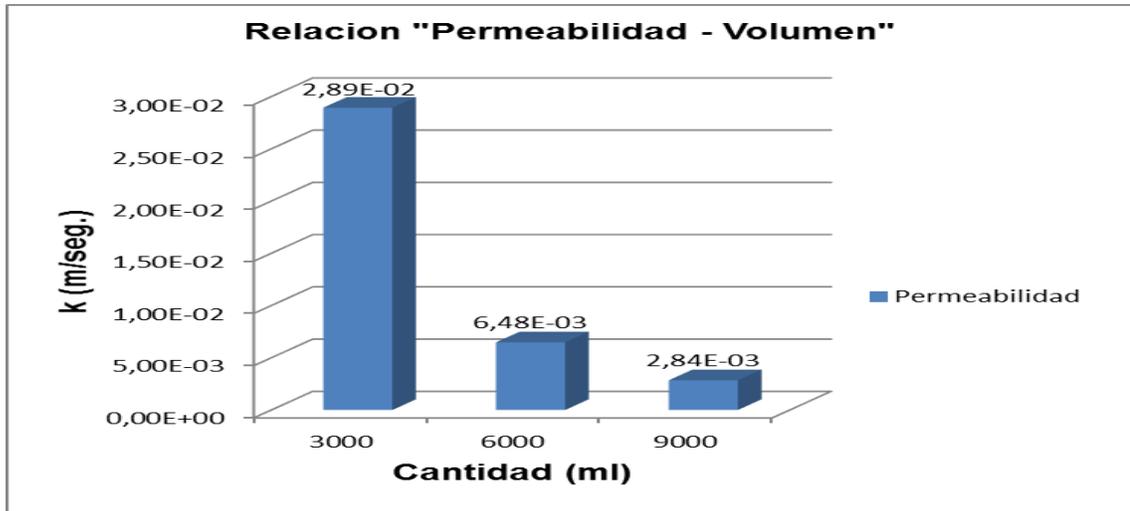
A continuación en la tabla se observa los resultados de permeabilidad y caudal hallados en el ensayo de cabeza constante realizado en el modelo a escala utilizando una combinación entre grava y neumático de maquinaria pesada en el cual se ordena de la siguiente manera: 17,5 cm de grava en la base y 17,5 cm de neumático en la parte superior.

Tabla 14. Permeabilidad de dos materiales (neumático de maquinaria pesada 10 cm, piedra de mano de diámetro 12 cm)

PERMEABILIDAD DE DOS MATERIALES (ARRIBA NEUMATICO DE MAQUINARIA PESADA, ABAJO PIEDRA DE MANO)											
Cantidad (ml)	Tiempo (seg)			t (seg)	L (m)	V (m/s)	H (m)	A (m ²)	K=V*L/H*A*t (m/s)	Q (ml/s)	
	1	2	3	Tiempo Promedio	Longitud Muestra	Velocidad Promedio	Diferencia de Longitud	Área Transversal	Permeabilidad	Caudal	
3000	8,120	7,800	7,780	7,900	0,350	0,044	1,060	0,064	0,029	379,747	
6000	16,980	16,350	16,760	16,697	0,350	0,021	1,060	0,064	0,006	359,353	
9000	24,980	24,860	25,760	25,200	0,350	0,014	1,060	0,064	0,003	357,143	

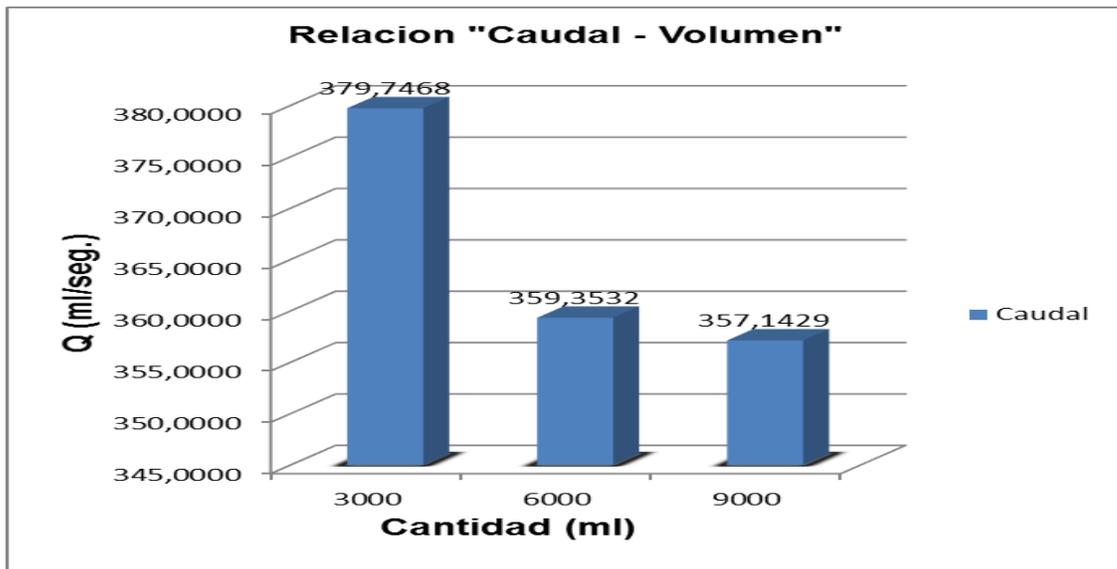
Fuente: Elaboración de los autores, a partir de resultados prueba de laboratorio

Grafico 17. Permeabilidad de dos materiales (neumático de maquinaria pesada 10 cm, piedra de mano de diámetro 12 cm)



Fuente: Elaboración de los autores

Grafico 18. Caudal de dos materiales (neumático de maquinaria pesada 10 cm, piedra de mano de diámetro 12 cm)



Fuente: Elaboración de los autores

8.4.4 Permeabilidad mixto (arriba grava, abajo neumático)

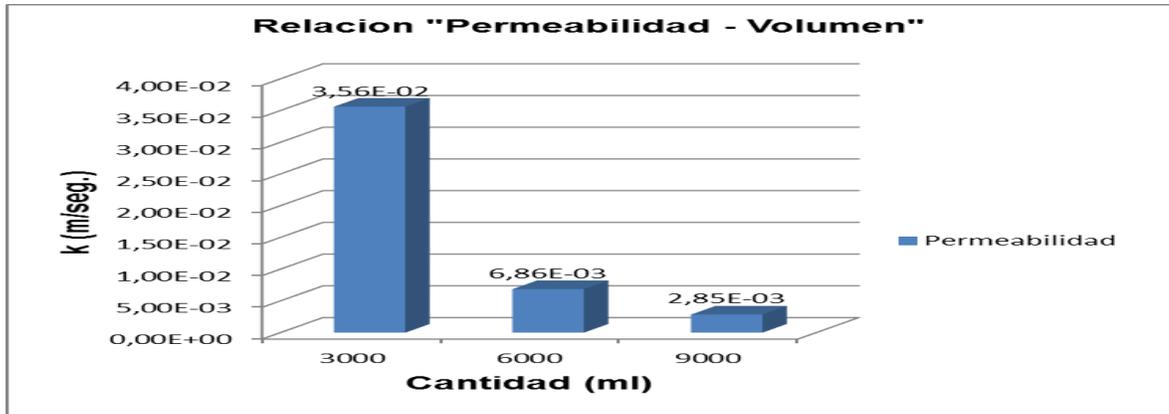
En la siguiente tabla se muestran los resultados de permeabilidad y caudal hallados en el ensayo a cabeza constante realizado en el modelo a escala utilizando una combinación entre grava y neumático de maquinaria pesada en el cual se ordena de la siguiente manera: 17,5 cm de grava en la parte superior y 17,5 cm de neumático en la parte inferior.

Tabla 15. Permeabilidad de dos materiales (piedra de mano de diámetro 12 cm, neumático de maquinaria pesada de 10 cm)

PERMEABILIDAD DE DOS MATERIALES (ABAJO NEUMATICO DE MAQUINARIA PESADA, ARRIBA PIEDRA DE MANO)											
GRAVA (17,5 cm)	Cantidad (ml)	Tiempo (seg)			t (seg)	L (m)	V (m/s)	H (m)	A (m ²)	K=V*L/H*A*t (m/s)	Q (ml/s)
		1	2	3	Tiempo Promedio	Longitud Muestra	Velocidad Promedio	Diferencia de Longitud	Área Transversal	Permeabilidad	Caudal
	NEUMATICO (17,5 cm)	3000	7,100	7,200	7,060	7,120	0,350	0,049	1,060	0,064	0,036
6000	15,610	16,500	16,560	16,223	0,350	0,022	1,060	0,064	0,007	369,838	
9000	25,230	24,970	25,260	25,153	0,350	0,014	1,060	0,064	0,003	357,805	

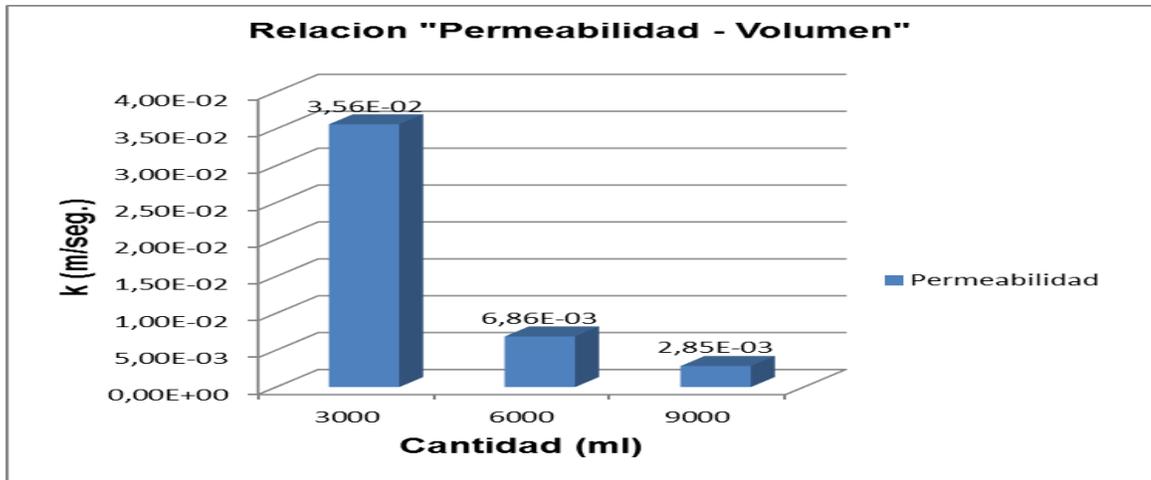
Fuente: Elaboración de los autores, a partir de resultados prueba de laboratorio

Grafico 19. Permeabilidad de dos materiales (piedra de mano de diámetro 12 cm, neumático de maquinaria pesada de 10 cm)



Fuente: Elaboración de los autores

Grafico 20. Caudal de dos materiales (piedra de mano de diámetro 12 cm, neumático de maquinaria pesada de 10 cm)



Fuente: Elaboración de los autores

8.4.5 Permeabilidad por capas (grava, neumático, grava, neumático)

A continuación en la tabla se puede observar los resultados obtenidos por el ensayo del laboratorio a cabeza constante ubicando los materiales de grava y

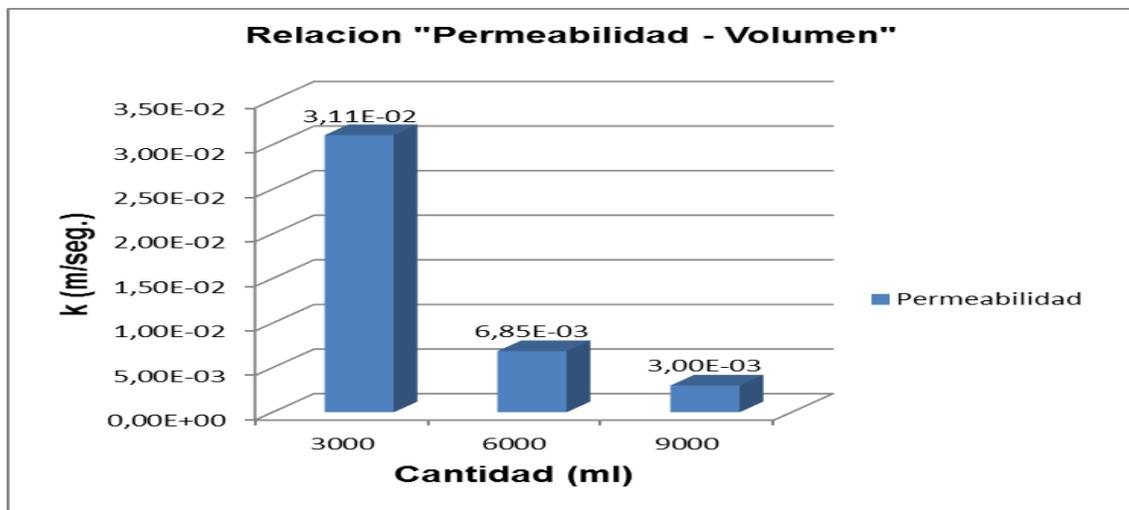
neumático reciclado de maquinaria pesada por capas, en donde se combinan de la siguiente manera: 8,75 cm de grava, 8,75 cm de neumático y se repite el orden de ubicación hasta ocupar el total del volumen del balde.

Tabla 16 . Permeabilidad de dos materiales combinados en capas (piedra de mano de diámetro 12 cm, neumático de maquinaria pesada de 10 cm)

GRAVA (8,75 cm)		PERMEABILIDAD DE DOS MATERIALES COMBINADOS EN CAPAS (NEUMATICO DE MAQUINARIA PESADA, ARRIBA PIEDRA DE MANO)									
NEUMATICO (8,75 cm)	Cantidad (ml)	Tiempo (seg)			t (seg)	L (m)	V (m/s)	H (m)	A (m ²)	$K=V^2L/H^2A^2t$ (m/s)	Q (ml/s)
		1	2	3	Tiempo Promedio	Longitud Muestra	Velocidad Promedio	Diferencia de Longitud	Área Transversal	Permeabilidad	Caudal
GRAVA (8,75 cm)	3000	7,670	7,670	7,530	7,623	0,350	0,046	1,060	0,064	0,031	393,529
NEUMATICO (8,75 cm)	6000	16,320	16,180	16,200	16,233	0,350	0,022	1,060	0,064	0,007	369,610
	9000	24,410	24,600	24,590	24,533	0,350	0,014	1,060	0,064	0,003	366,848

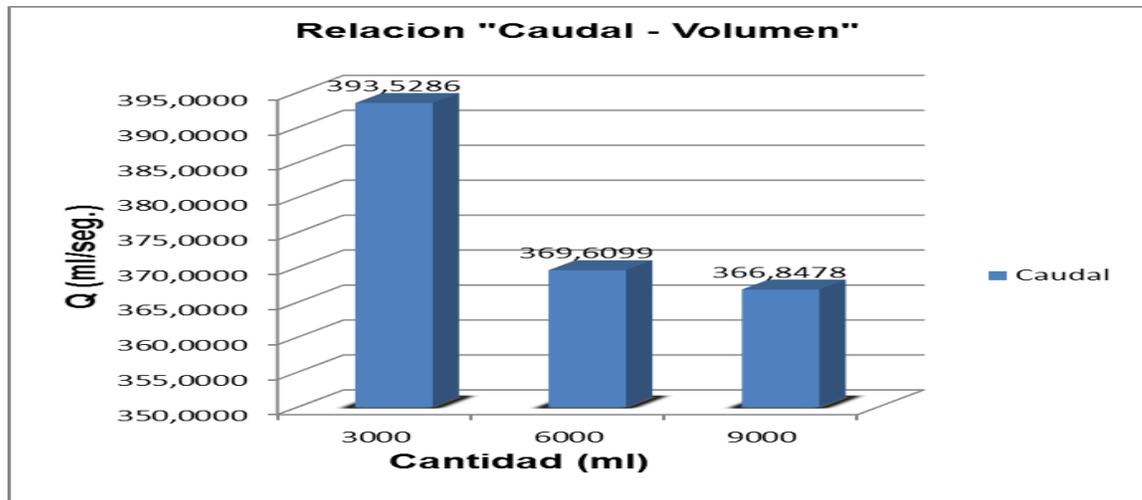
Fuente: Elaboración de los autores, a partir de resultados prueba de laboratorio

Grafico 21. Permeabilidad de dos materiales combinados en capas (piedra de mano de diámetro 12 cm, neumático de maquinaria pesada de 10 cm)



Fuente: Elaboración de los autores

Grafico 22. Permeabilidad de dos materiales combinados en capas (piedra de mano de diámetro 12 cm, neumático de maquinaria pesada de 10 cm)



Fuente: Elaboración de los autores

8.5 APLICACIÓN DE CARGA PARA MEDIR DEFORMACIÓN

Para determinar la deformación de la grava y el neumático usado de maquinaria pesada con medidas de 12 cm y 10 cm respectivamente se procede a aplicar diferentes cargas apoyadas en una figura circular plana de diámetro , las cuales generan un asentamiento que se mide con un deformimetro.

Se empieza con una carga mínima de 5 kg, espérese que pase un ciclo de tiempo y se mide la deformación, se irá aumentando de peso hasta llegar a la carga máxima aplicada de 40 kg.

Si se tiene una carga puntual aplicada en una área conocida, es posible determinar el esfuerzo ` producido por el peso sobre un área determinada.

Nota: Este procedimiento se realizó para cada combinación con la que se ha venido trabajando.

Se aplicó la carga y se midió la para la grava sola y no se encontró deformación alguna.

Tabla 17. Esfuerzo y Deformación del neumático de maquinaria pesada 10 cm

NEUMÁTICO DE MAQUINARIA PESADA	NEUMÁTICO DE MAQUINARIA PESADA							
	P = Carga (Kg)	A = Area Plato de Apoyo (m ²)	Esfuerzo = P/A (Kg/m ²)	Medida de Deformacion	Unidades del Deformimetro (pulg.)	Deformacion (pulg.)	Deformacion (cm)	Deformacion (mm)
	5	0,03	166,7	10	0,001	0,010	0,025	0,254
	10	0,03	333,3	20	0,001	0,020	0,051	0,508
	15	0,03	500,0	34	0,001	0,034	0,086	0,864
	19	0,03	633,3	44,5	0,001	0,045	0,113	1,130
	23	0,03	766,7	55	0,001	0,055	0,140	1,397
	27	0,03	900,0	65	0,001	0,065	0,165	1,651
	31	0,03	1033,3	73,5	0,001	0,074	0,187	1,867
	35	0,03	1166,7	79	0,001	0,079	0,201	2,007
39	0,03	1300,0	84	0,001	0,084	0,213	2,134	
40	0,03	1333,3	86	0,001	0,086	0,218	2,184	

Fuente: Elaboración de los autores, a partir de resultados prueba de laboratorio

Tabla 18. Deformación y Esfuerzo de dos materiales combinados en capas (piedra de mano diámetro 12 cm, neumático de maquinaria pesada 10 cm)

PIEDRA DE MANO	COMBINADO EN CAPAS (Piedra-Neumatico-Piedra-Neumatico)							
	P = Carga (Kg)	A = Area Plato de Apoyo (m ²)	Esfuerzo = P/A (Kg/m ²)	Medida de Deformacion	Unidades del Deformimetro (pulg.)	Deformacion (pulg.)	Deformacion (cm)	Deformacion (mm)
PIEDRA DE MANO	5	0,03	166,7	6	0,001	0,006	0,015	0,152
	10	0,03	333,3	7	0,001	0,007	0,018	0,178
NEUMÁTICO	15	0,03	500,0	10,5	0,001	0,011	0,027	0,267
	19	0,03	633,3	14	0,001	0,014	0,036	0,356
PIEDRA DE MANO	23	0,03	766,7	19	0,001	0,019	0,048	0,483
	27	0,03	900,0	24,5	0,001	0,025	0,062	0,622
	31	0,03	1033,3	31	0,001	0,031	0,079	0,787
NEUMÁTICO	35	0,03	1166,7	39	0,001	0,039	0,099	0,991
	39	0,03	1300,0	47	0,001	0,047	0,119	1,194
	40	0,03	1333,3	49	0,001	0,049	0,124	1,245

Fuente: Elaboración de los autores, a partir de resultados prueba de laboratorio

Tabla 19. Deformación de dos materiales (neumático de maquinaria pesada de 10 cm ubicado en la parte superior, piedra de mano de diámetro 12 cm ubicada en la parte inferior)

		NEUMATICO DE MAQUINARIA PESADA(Arriba)-PIEDRA DE MANO(Abajo)						
NEUMATICO	P = Carga (Kg)	A = Area Plato de Apoyo (m2)	Esfuerzo = P/A (Kg/m2)	Medida de Deformacion	Unidades del Deformimetro (pulg.)	Deformacion (pulg.)	Deformacion (cm)	Deformacion (mm)
	5	0,03	166,7	11	0,001	0,011	0,028	0,279
	10	0,03	333,3	20	0,001	0,020	0,051	0,508
	15	0,03	500,0	22	0,001	0,022	0,056	0,559
	19	0,03	633,3	30	0,001	0,030	0,076	0,762
PIEDRA DE MANO	23	0,03	766,7	41	0,001	0,041	0,104	1,041
	27	0,03	900,0	61	0,001	0,061	0,155	1,549
	31	0,03	1033,3	80	0,001	0,080	0,203	2,032
	35	0,03	1166,7	102	0,001	0,102	0,259	2,591
	39	0,03	1300,0	130	0,001	0,130	0,330	3,302
	40	0,03	1333,3	139	0,001	0,139	0,353	3,531

Fuente: Elaboración de los autores, a partir de resultados prueba de laboratorio

Tabla 20. Deformación de dos materiales (neumático de maquinaria pesada de 10 cm ubicado en la parte inferior, piedra de mano de diámetro 12 cm ubicada en la parte superior)

		NEUMATICO DE MAQUINARIA PESADA (Abajo) - PIEDRA DE MANO (Arriba)						
PIEDRA DE MANO	P = Carga (Kg)	A = Area Plato de Apoyo (m2)	Esfuerzo = P/A (Kg/m2)	Medida de Deformacion	Unidades del Deformimetro (pulg.)	Deformacion (pulg.)	Deformacion (cm)	Deformacion (mm)
	5	0,03	166,7	0	0,001	0,000	0,000	0,000
	10	0,03	333,3	0	0,001	0,000	0,000	0,000
	15	0,03	500,0	1	0,001	0,001	0,003	0,025
	19	0,03	633,3	1,5	0,001	0,002	0,004	0,038
NEUMATICO	23	0,03	766,7	3	0,001	0,003	0,008	0,076
	27	0,03	900,0	5	0,001	0,005	0,013	0,127
	31	0,03	1033,3	10	0,001	0,010	0,025	0,254
	35	0,03	1166,7	30	0,001	0,030	0,076	0,762
	39	0,03	1300,0	55	0,001	0,055	0,140	1,397
	40	0,03	1333,3	61	0,001	0,061	0,155	1,549

Fuente: Elaboración de los autores, a partir de resultados prueba de laboratorio

8.6 MEDIDA DEL PH DE LOS SUELOS EN EL MODELO DE POZO SÉPTICO

Para llevar a cabo la prueba se escogieron tres tipos de suelos diferentes (orgánico, limo, y arena), se pesaron por separado y se diluyeron en tres baldes con agua para un volumen total de 25 litros, al vaciar el líquido se generó una corriente la cual hacía correr el fluido, por lo que se tomó una muestra al inicio y final del modelo de pozo séptico.

Tabla 21. PH de los suelos

ANÁLISIS DE PH		
SUELO	PH ENTRADA	PH SALIDA
Orgánico	6,44	6,41
Limo	7,15	7,04
Arena	6,99	6,99

Fuente: Elaboración de los autores, a partir de resultados prueba de laboratorio

8.7 NEUMÁTICO RECICLADO DE MAQUINARIA PESADA COMO MATERIAL FILTRANTE EN UN SISTEMA DE POZO SÉPTICO

En la siguiente tabla se muestra el peso original de cada suelo con el que se trabajó para ser disuelto en agua y ser corrido por el sistema de pozo séptico, con las muestras de los fluidos tomadas al inicio y final del modelo; se llevaron al horno para poder quitar su contenido de humedad y obtener el peso del material seco, lo cual nos permite determinar los porcentajes que salen al final del modelo y los que se quedan en el mismo.

Tabla 22. Pesos y porcentajes de los suelos retenidos en el modelo de pozo séptico

W DE SUELOS INICIALES (g)		W Tara (g)	W Suelo Seco + Tara (g)	W Suelo Seco (g)	W Retenido en el Modelo de Pozo Septico (g)	% Que Pasa	% Retenido en el Modelo de Pozo Septico
Organico	1600	104	111,08	7,08	1592,92	0,44	99,56
Limo	1300	104	116,59	12,59	1287,41	0,98	99,02
Arena	2800	104	117	13	2787	0,47	99,53

Fuente: Elaboración de los autores, a partir de resultados prueba de laboratorio

Nota: Para cada tipo de suelo se hicieron tres pruebas en el modelo

9. ANÁLISIS DE RESULTADOS

9.1 COMPARACIÓN DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA LOS MATERIALES ESTUDIADOS EN SUS DIVERSAS COMBINACIONES

A continuación en las tablas 23 y 24 se muestra una comparación de los resultados del coeficiente de permeabilidad y caudal obtenidos por los ensayos a cabeza constante en el equipo del laboratorio y el modelo construido a una escala mayor.

Se tuvo en cuenta la dimensión de los materiales, el orden en que los mismos como fueron ubicados y la cantidad de volumen de agua, en donde se puede observar un coeficiente de permeabilidad igual en todos los casos de combinaciones que se analizaron en esta investigación, permitiendo así de una manera funcional el reemplazo del material normalmente utilizado (piedra de mano) por el material estudiado en la investigación (neumático reciclado de maquinaria pesada).

9.1.1 Permeabilidad determinada en el equipo de laboratorio

Tabla 23. Resultados de permeabilidad y caudal a la cabeza constante con el equipo del laboratorio

CANTIDAD (ml)	POSICIONES DE LOS MATERIALES EN EL EQUIPO DE PERMEABILIDAD DEL LABORATORIO									
	GRAVA		NEUMÁTICO DE MAQUINARIA PESADA		COMBINADO (neumático arriba-grava abajo)		COMBINADO (grava arriba-neumático abajo)		COMBINADO (grava-neu.-grava-neu.)	
	Permeabilidad	Caudal	Permeabilidad	Caudal	Permeabilidad	Caudal	Permeabilidad	Caudal	Permeabilidad	Caudal
	$K = V \cdot L / H \cdot A \cdot t$ (m/s)	Cant./t (ml/s)	$K = V \cdot L / H \cdot A \cdot t$ (m/s)	Cant./t (ml/s)	$K = V \cdot L / H \cdot A \cdot t$ (m/s)	Cant./t (ml/s)	$K = V \cdot L / H \cdot A \cdot t$ (m/s)	Cant./t (ml/s)	$K = V \cdot L / H \cdot A \cdot t$ (m/s)	Cant./t (ml/s)
200	0,0040	17,4723	0,0034	17,3360	0,0028	16,9924	0,0031	17,9587	0,0028	17,0891
400	0,0010	17,7200	0,0008	17,2538	0,0007	16,7879	0,0007	17,5029	0,0007	17,0867
500	0,0006	17,6180	0,0005	17,2632	0,0004	16,7560	0,0005	17,5070	0,0005	17,0280
Promedio	0,0019	17,6034	0,0016	17,2843	0,0013	16,8454	0,0014	17,6562	0,0013	17,0679

Fuente: Elaboración de los autores, a partir de resultados prueba de laboratorio

9.1.2 Permeabilidad hallada en el modelo construido a una escala mayor

Tabla 24. Resultados de permeabilidad y caudal a cabeza constante con el modelo construido a una escala mayor

CANTIDAD DE AGUA(ml)	POSICIONES DE LOS MATERIALES EN EL EQUIPO DE PERMEABILIDAD CONSTRUIDO A UNA ESCALA MAYOR									
	GRAVA		NEUMATICO DE MAQUINARIA PESADA		COMBINADO (neumatico arriba-grava abajo)		COMBINADO (grava arriba-neumatico abajo)		COMBINADO (grava-neu-grava-neu.)	
	Permeabilidad	Caudal	Permeabilidad	Caudal	Permeabilidad	Caudal	Permeabilidad	Caudal	Permeabilidad	Caudal
	$K=V*L/H*A*t$ (m/s)	Cant./t (ml/s)	$K=V*L/H*A*t$ (m/s)	Cant./t (ml/s)	$K=V*L/H*A*t$ (m/s)	Cant./t (ml/s)	$K=V*L/H*A*t$ (m/s)	Cant./t (ml/s)	$K=V*L/H*A*t$ (m/s)	Cant./t (ml/s)
3000	0,0256	356,4356	0,0306	390,2862	0,0289	379,7468	0,0356	421,3483	0,0311	393,5286
6000	0,0063	352,7337	0,0069	370,1419	0,0065	359,3532	0,0069	369,8377	0,0069	369,6099
9000	0,0027	344,7395	0,0030	364,8156	0,0028	357,1429	0,0029	357,8055	0,0030	366,8478
Promedio	0,0115	351,3029	0,0135	375,0812	0,0127	365,4143	0,0151	382,9972	0,0137	376,6621

Fuente: Elaboración de los autores, a partir de resultados prueba de laboratorio

9.2 COMPARACIÓN DE LA DEFORMACIÓN DE LOS MATERIALES TRABAJADOS EN LA INVESTIGACIÓN EN SUS DIFERENTES COMBINACIONES

A continuación en la tabla 25 se realiza una comparación de la deformación en milímetros de los dos materiales que fueron objeto de estudio durante la investigación (piedra de mano y neumático reciclado de maquinaria pesada).

Se tomaron tres muestras con una carga diferente en cada combinación con el fin de observar el comportamiento de los materiales al ser ubicados de diversas maneras: al inicio en que se aplica la fuerza, en el intermedio y al final con una carga máxima de 40 kg.

Tabla 25. Comparación de la deformación

MUESTRAS	CARGA (kg)	DEFORMACION (mm)			
		NEUMATICO DE MAQUINARIA PESADA	COMBINADO (PIEDRA DE MANO ARRIBA, NEUMATICO ABAJO)	COMBINADO (PIEDRA DE MANO ABAJO, NEUMATICO ARRIBA)	COMBINADO EN CAPAS (PIEDRA DE MANO - NEUMATICO)
INICIO	5	0,254	0,000	0,279	0,152
INTERMEDIO	23	1,397	0,076	1,041	0,483
FINAL	40	2,184	1,549	3,531	1,245

Fuente: Elaboración de los autores, a partir de resultados prueba de laboratorio

Se pudo observar que la combinación de los dos materiales en un orden de cuatro capas arrojó la menor deformación. Es importante ubicar la piedra de mano en la parte superior donde reciba directamente la carga, realizando un mayor esfuerzo y así poder disminuir los bulbos de presión que llegan al caucho situado abajo de la grava, constatando así la eficacia en la resistencia del neumático reciclado de maquinaria pesada para ser aplicado en filtros longitudinales en vías.

9.3 PH DE LAS MUESTRAS DE LOS SUELOS TOMADOS A LA ENTRADA Y SALIDA DEL MODELO DE POZO SÉPTICO

En la siguiente tabla se muestra los resultados que se obtuvieron en el laboratorio de química de la Universidad Libre Seccional Pereira, donde se midió el PH de cada suelo disuelto en agua al inicio y final del modelo construido de trampa de grasas.

Tabla 26. PH de los suelos

ANÁLISIS DE PH		
SUELO	PH ENTRADA	PH SALIDA
Orgánico	6,44	6,41
Limo	7,15	7,04
Arena	6,99	6,99

Fuente: Elaboración de los autores, a partir de resultados prueba de laboratorio

Se puede observar que la medida del PH para todos los suelos en la entrada es mayor a la medida del PH de la salida, notándose un cambio de color mucho más claro del fluido, lo cual verifica que parte de los desechos quedan retenidos en el modelo de pozo séptico.

Nota: Para este ensayo no se tuvieron en cuenta las propiedades químicas de los fluidos.

9.4 CANTIDAD DE SEDIMENTOS RETENIDOS EN EL MODELO DE POZO SÉPTICO

A continuación en la tabla 27 se muestran los resultados obtenidos de los pesos de los suelos retenidos en el modelo de pozo séptico

Tabla 27. Información de los materiales en el modelo de pozo séptico

W DE SUELOS INICIALES (g)		W Tara (g)	W Suelo Seco + Tara (g)	W Suelo Seco (g)	W Retenido en el Modelo de Pozo Septico (g)	% Que Pasa	% Retenido en el Modelo de Pozo Septico
Organico	1600	104	111,08	7,08	1592,92	0,44	99,56
Limo	1300	104	116,59	12,59	1287,41	0,98	99,02
Arena	2800	104	117	13	2787	0,47	99,53

Fuente: Elaboración de los autores, a partir de resultados prueba de laboratorio

Se puede observar que la mayor parte de los sedimentos quedan retenidos en el diseño de pozo séptico, lo cual indica que el neumático reciclado de maquinaria pesada cumple con la función eficaz de material filtrante.

CONCLUSIONES

- El valor del coeficiente de permeabilidad (k) depende de la forma, el tamaño y la distribución de sus partículas, por lo tanto de esto se infiere que la constante k está dada en función del tamaño de los poros.
- El proceso de granulometría realizada al material influye bastante, esto se debe a que se escogieron partículas con una medida uniforme, por lo tanto se encuentran más vacíos generando un movimiento más rápido del fluido, siendo esto lo ideal para la construcción de filtros.
- La permeabilidad a cabeza constante determinada con el equipo de laboratorio es igual en todos los arreglos que se trabajaron con la grava y el neumático reciclado de maquinaria.
- El arreglo más permeable que se determinó en el modelo construido a una escala mayor es ubicando la grava en la parte superior y el neumático de maquinaria pesada en la parte inferior del recipiente.
- En el modelo de pozo séptico donde se reemplazó el material normalmente utilizado (grava) por el material objeto de investigación (neumático reciclado de maquinaria pesada) cumple de una manera eficiente como material filtrante, lo cual clasifica para ser aplicado en desarenadores.
- El suelo disuelto en agua que queda al final del modelo de pozo séptico queda con un PH menor que el suelo disuelto que se tiene al inicio del sistema.
- El desgaste del neumático reciclado de maquinaria pesada es tan mínimo en la máquina de los Ángeles y por la acción del sulfato de sodio que su valor es despreciable.
- Se recomienda realizar la construcción de una prueba piloto de un filtro para monitorear su desempeño con dimensiones de 0.5 m x 0.5 x 1.0 m de profundidad combinando la grava en la parte superior con el neumático reciclado de maquinaria pesada en la parte inferior.

- Se recomienda construir un sedimentador o desarenador con medidas de 0.5 m x 0.5 m x 1.0 m de profundidad en donde se reemplace el material comúnmente utilizado por los neumáticos reciclados de maquinaria pesada para observar su funcionamiento.
- Se puede concluir que el material objeto de estudio para esta investigación (neumático reciclado de maquinaria pesada), arrojó resultados en todas las pruebas y ensayos de laboratorio igual y en algunos casos superior a la grava, lo que quiere decir que cumple de una manera eficiente como material a usar en filtros longitudinales permitiendo reemplazar el material tradicionalmente utilizado.
- Utilizar neumático de maquinaria pesada en filtros y sistemas de pozo séptico como material filtrante resultaría mucho más económico, debido a que el metro cúbico de grava cuesta aproximadamente 70 mil pesos y las llantas usadas se pueden adquirir de manera gratuita con un costo de triturado que oscila entre los 5 mil pesos y 10 mil pesos.
- El arreglo entre los materiales que arrojó la menor deformación al aplicarse la carga máxima es el combinado por cuatro capas, seguido del arreglo ubicando la grava en la parte superior y el neumático reciclado de maquinaria pesada en la parte inferior del recipiente; se recomienda utilizar esta última opción debido a que su permeabilidad es mayor.
- El transporte de material al lugar de la obra sería mucho más eficiente si se utiliza neumático reciclado de maquinaria pesada ya que su peso específico es mucho menor al peso específico de la piedra; con 930 kg/m^3 y 3000 kg/m^3 respectivamente.

BIBLIOGRAFÍA

- BELTRE N., Sonia Mairene. 2011.** Diseño preliminar de una planta recuperadora, para usos alternos, de los materiales constituyentes de neumáticos usados. *UNIVERSIDAD DE ORIENTE*. [En línea] Julio de 2011. [Citado el: 23 de Mayo de 2015.] <http://ri.biblioteca.udo.edu.ve/bitstream/123456789/2535/1/08-TEISIS.IQ011.B23.pdf>.
- CRUZ CH., Cristian Anibal. 2012.** Plan de negocios llantas usadas como oportunidad de negocios, en la utilización de productos innovadores. *uide.edu.ec*. [En línea] Febrero de 2012. [Citado el: 20 de Abril de 2015.] <http://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/70/1/T-UIDE-59.pdf>.
- BBVA. 2013.** Situación Automotriz: Colombia. [En línea] 2013. [Citado el: 18 de Agosto de 2014.] https://www.bbvaresearch.com/wp-content/uploads/migrados/140410_SituacionAutomotriz_Colombia2013_tcm346-444417.pdf.
- BOTERO, Jorge Hernan, y otros. 1969.** Gomas trituradas: Estado del arte situación actual y posibles usos como materia prima en Puerto Rico. *academic.uprm.edu*. [En línea] 1969. [Citado el: 03 de Agosto de 2014.] <http://academic.uprm.edu/laccei/index.php/RIDNAIC/article/viewFile/93/92>.
- CAMARA DE COMERCIO DE BOGOTÁ. 2006.** Guía para el manejo de llantas usadas: Un sector transporte con operación más limpia. *ambientebogota.gov.co*. [En línea] Septiembre de 2006. [Citado el: 03 de Abril de 2015.] http://www.ambientebogota.gov.co/c/document_library/get_file?uuid=ab80a611-f997-4864-bd6e-7aa0d8680067&groupId=10157.
- CANO S., Encarnación, CEREZO, Lidia y URBINA, Marina. 2008.** Valoración material y energética de uso actualizado. *e-archivo.uc3m.es*. [En línea] Junio de 2008. [Citado el: 29 de Abril de 2015.] http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/2196/NFUs_Actualizacion.pdf?sequence=7.
- CASTRO, Guillermo. 2007.** Reutilización, reciclado y disposición final de neumáticos. *F.I.U.B.A.* [En línea] Diciembre de 2007. [Citado el: 29 de Enero de 2015.] http://campus.fi.uba.ar/file.php/295/Material_Complementario/Reutilizacion_Reciclado_y_Disposicion_final_de_Neumatico.pdf.
- ECONOTICIAS.COM. 2010.** España procesa 314.000 toneladas de neumáticos, un 10% más que la UE. *ECOTICIAS.COM / RED / AGENCIAS*. [En línea] 10 de Mayo de 2010. [Citado el: 26 de Noviembre de 2014.] http://www.ecoticias.com/imprimir_noticia.php?id_noticia=25992.
- GARCIA CABRERA, María Alejandra. 2007.** Factibilidad de sustitución del agregado fino del concreto por fibras de termoplásticos y elastómeros reciclados.

UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR. [En línea] Mayo de 2007. [Citado el: 13 de Mayo de 2015.] <http://159.90.80.55/tesis/000143851.pdf>.

GOMEZ, Wolfgang A. y CASTILLO, Jesus A. 2014. Evaluar la resistencia a compresión de dos diseños de mezcla experimental de concreto utilizando como agregado fin 25% de arena, y 75% de caucho molido y 75% de arena y 25% de caucho molido. *Universidad Nueva Esparta*. [En línea] Junio de 2014. [Citado el: 28 de Mayo de 2015.] <http://miunespace.une.edu.ve/jspui/bitstream/123456789/2357/1/TG5121.pdf>.

HICKMAN, Stormy. Usos de neumáticos triturados. *Universidad de Illinois en Urbana-Champaign*. [En línea] [Citado el: 22 de Septiembre de 2014.] http://www.ehowenespanol.com/usos-neumaticos-triturados-sobre_101783/.

Llantas: Situación actual y oportunidades locales para la ingeniería civil en Puebla, México. **CASOLCO, S. R. , y otros. 2013.** [ed.] INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY. Puebla : s.n., Julio - Diciembre de 2013, Vislumbra, págs. 63-65. ISSN en trámite.

LOPEZ R., Henry Giovanni. 2014. Estudio de factibilidad para la creación de un empresa para el aprovechamiento industrial de llantas usadas en el municipio de Sogamoso. *UNAD*. [En línea] 2014. [Citado el: 18 de Marzo de 2015.] <http://repository.unad.edu.co/bitstream/10596/2681/3/79703139.pdf>.

RUEDA G., Karina Estefanía. 2013. Viabilidad técnico – económica para la implementación de una planta recicladora de neumáticos en el Distrito Metropolitano de Quito. *repositorio.uisek.edu.ec/*. [En línea] Septiembre de 2013. [Citado el: 13 de Enero de 2015.] <http://repositorio.uisek.edu.ec/jspui/handle/123456789/711>.

SÁNCHEZ JUAN, Rocio. 2011. Segunda vida de los neumáticos usados. [En línea] 27 de Diciembre de 2011. [Citado el: 2014 de 27 de Octubre .] <http://www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar/v11n1/sanchez.html>.

VARGAS JIMENEZ, Nelson Eduardo. 2014. Diagnóstico de las condiciones superficiales y evaluación del comportamiento estructural del pavimento de las vías construidas por el instituto de desarrollo urbano con asfalto modificado con caucho reciclado de llanta (GCR), en las localidades de Fontibó. [En línea] 05 de Mayo de 2014. [Citado el: 09 de Marzo de 2015.] repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/12009+&cd=2&hl=es&ct=clnk&gl=co.

YUEFENG, Xie. 2005. Neumáticos viejos pueden emplearse para filtrar aguas residuales. <http://www.solociencia.com/>. [En línea] 06 de Junio de 2005. [Citado el: 03 de Agosto de 2014.] <http://www.solociencia.com/ingenieria/06122005.htm>.

BADILLO, Juárez; RODRÍGUEZ Rico, *Mecánica de los suelos*, Tomo I, (2010), Ed. LIMUSA, Pág. 642.

LAMBE, T; & WHITMAN, R. V (1997). *Mecánica de suelos*. México. Pág. 426

COLOMBIT, *Manual sistema séptico* (2009). Pág. 20

ANEXOS

A continuación se anexan los manuales que muestran el paso a paso de cómo se construyeron los modelos a escala para la determinación de la permeabilidad a cabeza constante y la funcionalidad del neumático de maquinaria pesada como material filtrante en un sistema de pozo séptico

Anexo A. Procedimiento de construcción de equipo para medir permeabilidad a cabeza constante.

En base al equipo de laboratorio de la Universidad Libre Seccional Pereira para medir la permeabilidad a cabeza constante, se buscaron alternativas de elementos que pudieran reemplazar el equipo mencionado para construir un modelo de mayor capacidad de almacenamiento.

Opción 1. Recipiente de Cartón prensado

El siguiente recipiente presenta una altura de 55 cm y un diámetro de 46 cm, lo cual lo convierte en un cilindro con medidas óptimas para transportar y para realizar el ensayo de permeabilidad con materiales de mayor dimensión; pero por ser de cartón no soportaría el contacto con el agua y con materiales duros como la grava y el neumático reciclado de maquinaria pesada mojado. Por esta razón fue descartado.

Figura 15. Altura del recipiente



Figura 16. Diámetro del recipiente



Fuente: Trabajo de campo, autores

Opción 2. Tambor metálico con una capacidad de 55 galones

El siguiente recipiente es para almacenamiento de combustibles y aceites tiene una altura de 88 cm y un ancho de 57 cm por sus características sería ideal para elaborar ensayos con una cantidad considerable de materiales duros como grava y neumático reciclado de maquinaria pesada, pero con un inconveniente para transportarlo ya que ocupa un gran volumen. Sería una buena opción para realizar ensayos más adelante si se considera necesario.

Figura 17. Altura tambor metálico



Figura 18. Diámetro tambor metálico



Fuente: Trabajo de campo, autores

Opción 3. Recipiente plástico de 5 galones

Se buscaron varias alternativas y se determinó que la mejor opción era un balde plástico en el cual se deposita aceite industrial, porque es fácil de transportar y tiene buena resistencia al agua y materiales duros, para una buena cantidad de almacenamiento del material para la investigación.

Figura 19. Altura recipiente plástico



Figura 20. Diámetro de recipiente plástico



Fuente: Trabajo de campo, autores

- Diámetro del recipiente: 24,5 cm
- Altura del recipiente: 34,8 cm

El siguiente proceso fue recopilar los accesorios y ensamblarlos para la entrada y salida de agua del recipiente, los elementos son los siguientes:

- 4 Adaptadores de PVC de $\frac{1}{2}$ "
- 2 Llaves de paso PVC de $\frac{1}{2}$ "
- 1 Frasco de pegante para PVC
- Tubos de 5 cm de largo de PVC de $\frac{1}{2}$ " para colocar las mangueras de entrada y salida de agua
- 2 metros de manguera de $\frac{1}{2}$ ", 1 metro para entrada de agua y 1m para salida de agua.

Se perforaron con taladro dos orificios de $\frac{1}{2}$ ", uno en la tapa y otro a un costado del balde, se colocaron las piezas de acuerdo a la configuración que presentaba el equipo de cabeza constante de la Universidad Libre Seccional Pereira.

Figura 19. Piezas instaladas en el recipiente



Figura 20. Recipiente terminado



Fuente: Trabajo de campo, autores

El resultado es un recipiente óptimo para ser usado con materiales duros como piedra y neumático. En el laboratorio se colocan las mangueras de $\frac{1}{2}$ ", embudo y probeta o recipiente para realizar el respectivo ensayo.

Anexo B. procedimiento para construcción de equipo de trampa de grasas, tanque séptico y filtro anaeróbico.

En base del manual de sistema séptico de Colombit, se ha desarrollado un modelo a escala con elementos de ferretería a un costo razonable para poder analizar el comportamiento del neumático reciclado de maquinaria pesada como material filtrante.

Se desarrolló el modelo a un bajo costo para determinar la viabilidad de utilización del neumático reciclado de maquinaria pesada en sistemas de tratamientos de aguas con partículas de suelos (orgánico, limo y arena).

A continuación se muestra y se describe la cantidad de los elementos empleados para la construcción del sistema de pozo séptico, como se observa en la tabla 28 y figura 23.

Tabla 28. Cantidad y Productos empleados

PRODUCTO	CANTIDAD
Soldadura PVC Conduit y sanitaria 50ml	1
Broca espada 1" Bauker	1
Broca espada 9/16" Bauker	1
Codo 1" presión Pavco	2
Codo ½" presión Pavco	1
Envase plástico capacidad 1 galón	1
Envase plástico capacidad 5 galones	3
Tee 1" presión Pavco	2
Tee ½ " presión Pavco	1
Tubo ½" 1m presión 9-500 Psi Pavco	1
Tubo 1" 1m presión 13.5-315 Psi Pavco	2
Unión 1" presión Pavco	3
Unión ½" presión Pavco	2
Cegueta Incolflex	1
Taladro	1
Unidad métrica	1
Silicona	1
Destapador de cuñetes	1

Fuente: Elaboración de los autores

Figura 21. Materiales que se utilizaron para la construcción del modelo



Fuente: Trabajo de campo, autores

Se chequea el equipo diseñado por Colombit y sus respectivas medidas, para un modelo a escala que se va a fabricar reduciendo el tamaño de las piezas para facilitar la manipulación de los elementos a la hora de realizar las pruebas en el laboratorio y para una mayor comodidad al trasladarse.

Procedimiento de construcción

Con el taladro se perfora los orificios dentro de los baldes a lado y lado que corresponden a la entrada y salida del agua, posteriormente midanse los tubos de 1/2" y de 1" y proceda a cortar las piezas para su ensamble.

Posteriormente acople las piezas dentro de los orificios de los tarros y una los tubos cortados dentro de las uniones, tees y codos para analizar la similitud del sistema fabricado con el modelo de Colombit.

Figura 22. Sistema de pozo séptico construido



Fuente: Trabajo de campo, autores

El sistema construido ofrece la alternativa para tratamiento de aguas residuales donde no se tiene un sistema de alcantarillado y a un precio razonable. Con el neumático reciclado de maquinaria pesada se pretende que al final del sistema el agua salga con menor porcentaje de contaminación debido a la acción de retención del mismo en las partículas del suelo.

Funcionamiento de sistema

Al primer tanque llamado “Trampa de grasas” llegan las aguas de la cocina, lavadero y en el caso de las industrias aguas con aceites, para proteger las quebradas, lagos y ríos donde desembocan estos sistemas es necesario ubicar en la primera sección un tanque pequeño dentro con orificios para que retenga las sustancias grasas, como se muestra en la figura 25.

Figura 23. Elementos del recipiente trampa de grasas



Fuente: Trabajo de campo, autores

Posteriormente las aguas son conducidas a un segundo tanque donde se les hace un tratamiento primario, llamado este “Tanque Séptico” donde se pretende dejar los lodos o natas, como se observa en la figura 26.

Figura 24. Tanque séptico



Fuente: Trabajo de campo, autores

Finalmente las partículas que no pudieron ser tratadas, pasan al tercer tanque “filtro anaeróbico” donde generalmente lleva un material pétreo pero que en este caso se reemplazar por el neumático reciclado de maquinaria pesada para analizar el comportamiento como material filtrante en el sistema, como se muestra en la figura 27.

Figura 25. Tanque anaeróbico



Fuente: Trabajo de campo, autores

Materiales para la construcción del sistema de pozo séptico

Tanque 1 “trampa de grasas”:

-Entrada: 2 tubos de ½” de 10 cm de longitud + 1 codo de ½”.

-Salida: 1 Tee de ½” + 1 tubo de ½” de 15 cm de longitud + 1 unión de ½”.

-En su interior lleva un balde pequeño de 16,5 cm de diámetro y 18,5 cm de altura.

-El tramo que une la trampa de grasas con el tanque séptico lleva 1 tubo de 1” con 30 cm de longitud.

Tanque 2 “Tanque Séptico”:

-Entrada: 1 codo de 1” + 1 tubo de 1” de 10 cm de longitud.

-Salida: 1 Tee de 1” + 1 tubo de 1” de 15 cm de longitud.

-En el tramo 2 que comprende del tanque séptico al filtro anaeróbico lleva 1 tubo de 1” de 50 cm de longitud.

Tanque 3 “Filtro anaeróbico”:

-Entrada: 1 codo de 1” + 1 tubo de 1” de 20 cm de longitud.

-Salida: 1 Tee de 1” + 1 tubo de 1” de 30 cm de longitud.

-En la salida o desembocadura de las aguas se instaló un tubo de 1” de 50 cm de longitud.