

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTAD DE ESTUDIOS A DISTANCIA

PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

**EVALUACIÓN DE LA ADHERENCIA GEO SINTÉTICO – MEZCLA
ASFÁLTICA MEDIANTE LA REALIZACIÓN DEL ENSAYO LEUTNER**

NATALIA SERNA OROZCO

D7302212

JENNY JOHANNA TÉLLEZ SALAS

D7302216

DIRECTOR:

MSC. JAVIER ENRÍQUEZ BRAVO.

OCTUBRE DE 2018

BOGOTA

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTAD DE ESTUDIOS A DISTANCIA

PROGRAMA INGENIERIA CIVIL

NATALIA SERNA OROZCO Y JENNY JOHANNA TÉLLEZ SALAS

TRABAJO DE GRADO DE INGENIERIA CIVIL SOMETIDO AL PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL A DISTANCIA DE LA UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA COMO PARTE DE LOS REQUISITOS NECESARIOS PARA OBTENCIÓN DEL GRADO DE INGENIERO CIVIL.

APROBADO POR:

MSc. JAVIER ENRÍQUEZ BRAVO

(DIRECTOR)

NOMBRE:

(JURADO INTERNO)

NOMBRE:

(JURADO EXTERNO)

FECHA: BOGOTA, octubre de 2018

Resumen

El desarrollo de este trabajo tiene como fin entender y conocer el comportamiento y las propiedades físicas de un geosintético – mezcla asfáltica, evaluando su adherencia a partir de una serie de pruebas parametrizadas por las normas técnicas INVIAS 2013.

Haciendo uso de materiales que se aplican en la cotidianidad en las vías de Pasto, para tener un resultado más próximo a la realidad, se trabajó con material pétreo proveniente de la mina AGRESUR, ubicada en el Municipio de Funes, teniendo el cemento asfáltico de la refinería de Barrancabermeja y los Geosintéticos que en el caso de esta investigación fueron FIBERGASS GRID y FORTGRID ASPHALT de Geomatrix, se realizaron las pruebas tales como la de granulometría y el ensayo de Marshall, en los laboratorios de la Universidad de Nariño en la ciudad de Pasto y en los laboratorios de TEC Ingeniería SAS.

Elaborando 36 briquetas, segmentadas en 3 dosificaciones diferentes (Muestra 1 con 250 gr/m², Muestra 2 con 350 gr/m², Muestra 3 con 550 gr/m²), se pudo realizar el ensayo de Leutner, determinante en este estudio, obteniendo resultados contundentes a la hora de analizar el corte o cizalladura es decir el esfuerzo soportado por el cuerpo de prueba, la deformación y la FCR.

Palabras Clave

Leutner – Marshall- Geo sintético – Adherencia –Mezcla asfáltica – Geo malla - Pavimento flexible - Ingeniería Civil .

Abstract

The development of this document has as its end to know and understand the behavior of the physical properties of a geosynthetic – asphalt mix, evaluating its adherence based on a series of parametrized tests by the technical norms of INVIAS 2013.

Using every day materials on roads in Pasto, to have a closer result to reality, we worked with stony materials brought from the AGRESUR mine, located in the town Funes, having paving asphalt from Barrancabermeja refinery and the geosynthetic that in the case of this research were FIBERGASS GRID and FORTGRID ASPHALT of GEOMATRIS, studies like granulometry and the Marshall test at the University of Nariño Laboratory at Pasto and at TEC Ingeniería SAS Laboratory.

Developing 36 briquette, segmented in 3 different dosage (Sample 1 with 250 gr/m², sample 2 with 350 gr/m², sample with 550 gr/m²), we were able to try the Leutner test, which was determining in this research, after obtaining the defining results at the time of the cut or shear, meaning the effort sustained by the body of the trial and the deformation and the FCR.

Key Words

Leutner – Marshall – Geosynthetic – Adherence – Asphaltic Mix – Geonet – Flexible pavement – Civil Engineering.

CONTENIDO

Introducción.....	13
1. Título del proyecto	
.....	15
2. Definición del problema	
.....	15
2.1. Planteamiento del problema	15
2.2. Formulación del problema	16
3. Justificación	
.....	17
4. Objetivos	
.....	18
4.1. Objetivo General	18
4.2. Objetivos específicos.....	18
5. Marco Referencial	
.....	19
5.1. Marco teórico.....	19
5.1.1. Definición y características de las geo mallas	19
5.2. Pavimentos Asfálticos	28
5.2.1. Geomallas en pavimentos:.....	28
5.3. Adherencia	31
5.3.1. Concepto desde la ingeniería	31
5.3.2. Ensayos adherencia.....	31
5.4. Método Marshall.....	34
5.4.1. Antecedentes del método Marshall.....	34

5.4.2.	Mezclas asfálticas.....	35
6.	..... Hipótesis	
	.....	40
7.	..... Metodología	
	.....	40
7.1.	Pasos metodológicos de investigación:.....	41
7.2.	Materiales utilizados:	42
8.	..... Resultados y Discusión.	
	.....	61
8.1.	Evaluación de la adherencia entre dos capas de mezcla asfáltica con geomalla y diferentes dosificaciones de riego de liga.....	61
8.1.1.	Presentación de resultados obtenidos.....	61
9.	..... Conclusiones	
	.....	79
10.	..... Recomendaciones	
	.....	82
11.	..... Bibliografía	
	.....	83
12.	..... ANEXOS	
	.....	85
	ANEXO No. 1.....	85
	ANEXO No. 2.....	96
	ANEXO No. 3.....	102

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Polímeros para geo sintéticos	20
Tabla 2. Funciones principales de los geo sintéticos.....	22
Tabla 3. Proveedores geo sintéticos	30
Tabla 4. Ajuste granulométrico de agregados pétreos para asfalto.	48
Tabla 7. Propiedades Físicas y Mecánicas.	55
Tabla 8. Resultados de adherencia para cuerpos de prueba de 250 gr/m ² de asfalto residual sin geo sintéticos.....	68
Tabla 9. Resultados de adherencia para cuerpos de prueba de 250 gr/m ² de asfalto residual con geo sintéticos Fiberglass Grid Fv 137	69

Tabla 10. Resultados de adherencia para cuerpos de prueba de 250 gr/m ² de asfalto residual con geo sintéticos Fortgrid Asphalt 160	69
Tabla 11. Resultados de adherencia para cuerpos de prueba de 250 gr/m ² de asfalto residual con geo sintéticos Fiberglass Grid Fv 101	69
Tabla 12. Resultados de adherencia para cuerpos de prueba de 350 gr/m ² de asfalto residual sin geo sintéticos.....	70
Tabla 13. Resultados de adherencia para cuerpos de prueba de 350 gr/m ² de asfalto residual con geo sintéticos Fiberglass Grid Fv 137	70
Tabla 14. Resultados de adherencia para cuerpos de prueba de 350 gr/m ² de asfalto residual con geo sintéticos Fortgrid Asphalt 160	70
Tabla 15. Resultados de adherencia para cuerpos de prueba de 350 gr/m ² de asfalto residual con geo sintéticos Fiberglass Grid Fv 101	71
Tabla 16. Resultados de adherencia para cuerpos de prueba de 550 gr/m ² de asfalto residual sin geo sintéticos.....	71
Tabla 17. Resultados de adherencia para cuerpos de prueba de 550 gr/m ² de asfalto residual con geo sintéticos Fiberglass Grid Fv 137	71
Tabla 18. Resultados de adherencia para cuerpos de prueba de 550 gr/m ² de asfalto residual con geo sintéticos Fortgrid Asphalt 160	72
Tabla 19. Resultados de adherencia para cuerpos de prueba de 550 gr/m ² de asfalto residual con geo sintéticos Fiberglass Grid Fv 101	72
Tabla 20. Resultados de adherencia para cuerpos de prueba de 250, 350 y 550 gr/m ² de asfalto residual sin geosintéticos.	72
Tabla 21. Resultados de adherencia para cuerpos de prueba de 250, 350 y 550 gr/m ² de asfalto residual con geosintético Fiberglass Grid FV 137.....	73

Tabla 22. Resultados de adherencia para cuerpos de prueba de 250, 350 y 550 gr/m2 de asfalto residual con geosintético Fortgrid Asphalt 160.....	73
Tabla 23. Resultados de adherencia para cuerpos de prueba de 250, 350 y 550 gr/m2 de asfalto residual con geosintético Fiberglass Grid FV 101	73
Tabla 24. Consolidado de resultados de adherencia para cuerpos de prueba de 250, 350 y 550 gr/m2 de asfalto residual con y sin geo sintético.....	74
Tabla 25. Resultados de resistencia al esfuerzo cortante para cuerpos de prueba de 250, 350 y 550 gr/m2 de asfalto residual sin geosintéticos.	76
Tabla 26 Resultados de resistencia al esfuerzo cortante para cuerpos de prueba de 250, 350 y 550 gr/m2 de asfalto residual con geosintético Fiberglass Grid FV 137.....	76
Tabla 27. Resultados de resistencia al esfuerzo cortante para cuerpos de prueba de 250, 350 y 550 gr/m2 de asfalto residual con geosintético Fortgrid Asphalt 160.....	76
Tabla 28. Resultados de resistencia al esfuerzo cortante para cuerpos de prueba de 250, 350 y 550 gr/m2 de asfalto residual con geosintético Fiberglass Grid FV 101	77
Tabla 29. Consolidado de resultados de resistencia al esfuerzo cortante para cuerpos de prueba de 250, 350 y 550 gr/m2 de asfalto residual con y sin geo sintético	77

LISTADO DE FIGURAS

Ilustración 1 Vista de geomalla Biaxial	22
Ilustración 2 Geomalla Coextruida Mono-Orientada	25
Ilustración 3 Geomalla Coextruida Bi-Orientada	26
Ilustración 4 Geomalla Fibra de vidrio	27
Ilustración 5 Módulo de elasticidad según curva tensión-deformación	29
Ilustración 6 Sección Transversal con y sin refuerzo de geo sintético	30
Ilustración 7 Ensayo Corte LCB	32
Ilustración 8 Ensayo Leutner	33
Ilustración 9 Contenido óptimo de cemento asfáltico	50

Ilustración 10 Distribución de cantidades de agregados	51
Ilustración 11 Secado de muestras	51
Ilustración 12 Ligante Bituminoso CRL-1	53
Ilustración 13 . Calentamiento Material Pétreo y Mezcla asfáltica	58
Ilustración 14 Compactación Molde de compactación y Compactación de mezcla asfáltica	59
Ilustración 15 Elaboración y desmonte de briquetas.	59
Ilustración 16 Inserción de geosintetico en cuerpos de prueba.....	60
Ilustración 17 Aplicación de riego de liga CRL-1.	60
Ilustración 18 Equipo utilizado para realizar el Ensayo de Leutner en el Laboratorio Integrado de Ingeniería Civil. Laboratorio Tec Ingeniería SAS	62
Ilustración 19 Montaje de cuerpo de prueba con dosificación de 250 gr/m2 de Asfalto residual para realizar el ensayo de Leutner.	64
Ilustración 20 Montaje de cuerpo de prueba con dosificación de 350 gr/m2 de Asfalto residual para realizar el ensayo de Leutner	64
Ilustración 21 Montaje de cuerpo de prueba con dosificación de 550 gr/m2 de Asfalto residual para realizar el ensayo de Leutner	65
Ilustración 22 . Fallamiento de cuerpos de prueba con Ensayo de Leutner, se puede observar geosintetico	65
Ilustración 23 Fallamiento de cuerpos de prueba con Ensayo de Leutner, se puede observar geosintetico.....	66
Ilustración 24 Fallamiento de cuerpos de prueba con Ensayo de Leutner, se puede observar geosintetico - fiberglass grid fv 137	66

Ilustración 25 . Fallamiento de cuerpos de prueba con Ensayo de Leutner, se puede observar cizallamiento Fuente	67
Ilustración 26 Fallamiento de cuerpos de prueba con Ensayo de Leutner, se puede observar geosintético - Fortgrid asphalt 160	67
Ilustración 27 Fallamiento de cuerpos de prueba con Ensayo de Leutner, se puede observar geosintético – fiberglass grid fv 101	68
Ilustración 28 Resultados consolidados de fuerza cortante según dosificación de asfalto residual y tres tipos de geo malla.	74
Ilustración 29 . Resultados consolidados de Resistencia al Esfuerzo cortante según dosificación de asfalto residual y tres tipos de geo malla	78
Ilustración 30 Tasa óptima de aplicación de asfalto residual	78

Introducción

El desarrollo del presente trabajo de grado pretende dar a conocer los resultados del comportamiento de la adherencia geo sintético - mezcla asfáltica específicamente mediante el uso de geo mallas. Para lograr lo anterior, es necesario realizar una revisión bibliográfica con el fin de conocer los diferentes procesos a nivel nacional en donde plasmen los resultados de las diferentes experiencias de construcción de vías en donde se ha utilizado geo sintéticos en pavimentos asfálticos como una de las medidas que permiten mejorar las condiciones de rodadura de las carreteras.

Se considera que en la actualidad el uso de Geo sintéticos promete ser un complemento adecuado para las estructuras de pavimento, esto conlleva a implementar las nuevas tecnologías en el diseño y construcción de dichas estructuras, debiendo utilizar estos materiales de forma racional de acuerdo a su funcionalidad: resistencia, drenaje, separación, impermeabilización entre otros. Además de lo anterior, se entiende que el empleo de geo sintéticos promete un menor consumo de recursos naturales y energía. No obstante, la cuantificación de estos beneficios e impactos en el medio ambiente aun es desconocida y menos aún si esta técnica se aplicara en pavimentos asfálticos dado la connotación de los mismos.

Específicamente, en el caso de una mezcla asfáltica, donde los geo sintéticos son utilizados como elementos de refuerzo y disminución de la reflexión de fisuras, se genera una interfaz entre las dos capas asfálticas, por tanto, se hace necesario adherirlas con emulsiones asfálticas con el fin que la carpeta trabaje como una capa homogénea.

En consecuencia, el geo sintético crea una fase conocida como la interfaz geo sintético – mezcla asfáltica. Inevitablemente se convierte en una parte de debilidad que eventualmente puede generar un plano de falla, debido a problemas relacionados con la adherencia. La dosificación del ligante asfáltico juega un papel importante para adherir los materiales entre sí. El estado de adhesión en las interfaces entre diferentes capas influye seriamente en la distribución de los esfuerzos y la deformación entre las capas de pavimento y, por tanto, afecta el desempeño global de la estructura de pavimento (Mohammad, 2005).

Si bien, a nivel nacional existen algunas experiencias en la construcción de la estructura de pavimento con geo sintético y asfalto, en la ciudad de Pasto estas experiencias corresponden a experimentos, ensayos o pequeños tramos de prueba con el fin de determinar y comprobar las bondades y la importancia económica de esta tecnología.

Por lo expuesto anteriormente, se hace necesario estudiar el comportamiento de los materiales y evaluar la adherencia en la interface mezcla asfáltica – geo sintético, por medio del ensayo Leutner que mide la resistencia de los materiales al corte (cizallamiento) (Ogundipe, 2013), para determinar el rango de porcentaje óptimo de emulsión asfáltica garantizando que la capa de rodadura trabaje simultáneamente la carpeta asfáltica y el geo sintético, tal como fue concebida en el diseño.

1. Título del proyecto

Evaluación de la adherencia geo sintético – mezcla asfáltica mediante la realización del ensayo Leutner.

2. Definición del problema

2.1.Planteamiento del problema

En las vías con pavimento asfáltico ya sea a nivel nacional, departamental o regional el deterioro obedece a que ya cumplieron su vida o debido a factores como la colocación de materiales de mala calidad, malos drenajes o insuficientes y los datos de tráfico erróneos lo cual ocasiona gastos elevados en reparaciones de estas a corto plazo. En busca de darle solución a problemas como estos se hace necesario evaluar las distintas alternativas de rehabilitación y así poder tener una reducción de los costos de construcción para volver funcional una carretera específica

La carpeta asfáltica es concebida como una capa homogénea que aporta resistencia a la estructura de pavimento (Higuera, 2009). Disipa las cargas, soporta esfuerzos y deformaciones ocasionadas por el tránsito durante su vida útil y tiene la capacidad de recuperarse cada vez que sea necesario. Actualmente, se está implementando el uso de geo sintéticos, como medida para reducir la refracción de fisuras y aportar resistencia a la carpeta, manteniendo la capacidad de deformación y recuperación durante el periodo de servicio.

Colombia no cuenta con una especificación de geo mallas para pavimentación, donde se determine el proceso de manejo del material, instalación y dosificación del ligante. En cuanto a la dosificación de la tasa de aplicación del riego de liga para adherir los geotextiles a la mezcla asfáltica, se expone un proceso de prueba en campo: no se encuentra reglamentado un procedimiento a nivel de laboratorio para medir la adherencia y evaluar el comportamiento de la carpeta asfáltica, en consecuencia se aumenta la incertidumbre teniendo en cuenta que: hay variedad de geo sintéticos en el mercado, fabricados con diferentes materiales en efecto tendrán comportamientos diversos, por tanto se requiere cantidad de riego de liga para cada caso específico, con el fin de garantizar adherencia y trabajo del paquete estructural: mezcla asfáltica – geo sintético.

2.2. Formulación del problema

¿La mezcla geo sintético – asfalto permite mejorar la adherencia en un pavimento flexible?

3. Justificación

La presente investigación se justifica al entregar resultados que permiten mejorar la adherencia en el asfalto con la aplicación de un geo sintético. Es importante mencionar que en la actualidad los avances tecnológicos y el aumento del parque automotor en el país, exigen estructuras de pavimento que brinden mayor capacidad de absorción y disipación de las cargas, resultando como diseño espesores de carpeta significativos (mayores de 15 cm), en muchas ocasiones se viabiliza el diseño de estructuras de pavimento reforzadas con geo sintético, para reducir espesor de la carpeta asfáltica y tener mayor resistencia.

El campo de la ingeniería colombiana hay desconocimiento del uso adecuado de los geo sintéticos en carpetas asfálticas y dosificación del riego de liga, estos aspectos técnicos se relacionan con el aporte en adherencia en la interface mezcla asfáltica - geo sintético, que conlleva a desaprovechar potencial o su utilización ineficiente implicando mal desempeño de la carpeta asfáltica. La falta de adherencia entre capas genera una reducción en la vida útil de los pavimentos y la presencia de fallas prematuras, por cuanto la estructura se ve limitada a las capas superiores no adheridas con consecuencias económicas considerables (Ricci L. , 2011).

4. Objetivos

4.1.Objetivo General

Evaluar la adherencia geo sintético – mezcla asfáltica mediante la realización del ensayo Leutner.

4.2.Objetivos específicos.

- Evaluar la adherencia entre dos capas de mezcla asfáltica con geomalla y diferentes dosificaciones de riego de liga.
- Determinar el rango de dosificación óptimo de riego de liga a agregar a tres tipos de geomalla en la interfaz geo sintético – mezcla asfáltica con un porcentaje óptimo de asfalto del 5%.
- Analizar el comportamiento del Módulo de reacción al cizallamiento de los cuerpos de prueba fabricados en laboratorio con y sin geo sintéticos.

5. Marco Referencial

5.1.Marco teórico

5.1.1. Definición y características de las geo mallas

5.1.1.1 Geo sintéticos

Los geo sintéticos son un grupo de materiales fabricados a partir de una transformación industrial donde se mezclan polímeros que normalmente son polietileno, polipropileno, poliéster y PVC, los cuales pasan por unos procesos químicos y mecánicos para convertirse en láminas, fibras, perfiles, tejidos entre otros, esto con el fin de cumplir funciones de refuerzo, filtración, drenaje, separación y barrera de fluidos.

Referenciándonos con CÁRDENAS CUENTAS, J. R., HALLASI, P., & ALFREDO, C. (2015), encontramos que los geo sintéticos normalmente se han usado en la ingeniería para realizar refuerzos, filtraciones, barrera de fluidos, separaciones y drenajes, e igualmente son productos compuestos de fibras naturales combinados con materiales termoplásticos, estos tienen diversas propiedades Hidráulicas, Físicas y Mecánicas, logrando un uso apropiado para distintas obras civiles.

Los geo sintéticos como bien se describen son compuestos que pueden contener polímeros o componentes naturales como fibras de yute y/o algodón entre otros, en el mercado de geo sintéticos los polímeros más frecuentados para desarrollo de los mismos son los mencionados en la Tabla 1, descrita a continuación

POLIMERO	ABREVIATURA	UNIDAD DE REPETICION
Polietileno	PE	$-\text{CH}_2 - \text{CH}_2 -$
Polipropileno	PP	$ \begin{array}{c} -\text{CH}_2 - \text{CH} - \\ | \\ \text{CH}_3 \end{array} $
Poliéster	PS	$-\text{R} - \text{OCO} - \text{R}' - \text{COO} -$
Policloruro de vinilo	PVC	$ \begin{array}{c} -\text{CH}_2 - \text{CH} - \\ | \\ \text{CL} \end{array} $
Poliuretano	PU	$-\text{NH} - \text{COO} - \text{R} - \text{OCO} - \text{NH} - \text{R}' -$

Tabla 1. Polímeros para geo sintéticos. **Fuente.** Cárdenas Cuentas, J. R., HallasI, P., & Alfredo, C. (2015).

Cada geo sintético tiene una función o característica que permite poder especificarlo o no en el proyecto a desarrollar, esto va en las propiedades que se requieran resaltar en este caso de investigación en la adherencia del geo sintético con la mezcla, a continuación, se despliega la información y descripción de los geo sintéticos más usados en la ingeniería civil.

MATERIAL	FUNCIONES
Geotextiles	<ul style="list-style-type: none"> • Impedir contaminación entre capas de la estructura por el efecto de las cargas dinámica y el arrastre del agua • Resistir los esfuerzos de tensión del material disminuyendo los espesores de diseño y los volúmenes de movimiento de tierras • Evitar el taponamiento por contaminación de estructuras de drenaje • Evitar la aparición de grietas por reflexión en la capa de rodadura al actuar con una interfase de separación entre la capa de rodadura nueva y la capa antigua fisurada • Reducir el espesor de las capas estructurales del pavimento o mejorar las especificaciones de las mismas • Reducir la formación de huellas y fallas por esfuerzo cortante y asentamientos diferenciales en el pavimento
Geomallas	<ul style="list-style-type: none"> • Conferir mayor durabilidad de la estructura de pavimento • Mejorar la capacidad portante, resistencia a movimientos y deformaciones de la estructura de pavimento • Evitar la aparición de grietas por reflexión al absorber esfuerzos cortantes y tensiones causadas por efecto de las cargas actuantes sobre el área de influencia de las fisuras del pavimento anterior • Lograr independencia térmica entre la estructura del pavimento y el medio ambiente •
Geobloques	<ul style="list-style-type: none"> • Facilitar métodos constructivos por medio de sus facilidades de instalación y su versatilidad • Reducir empuje sobre la estructura de contención <ul style="list-style-type: none"> a) amortiguando cargas b) reduciendo la densidad del relleno

	<ul style="list-style-type: none"> • Absorber deformaciones por efecto de las cargas estáticas y dinámicas en la estructura del pavimento
Geodrenes	<ul style="list-style-type: none"> • Captar y conducir aguas intersticial de la estructura dirigiéndola hacia los elementos de conducción superficiales • Captar fluidos a grandes profundidades

Tabla 2. Funciones principales de los geo sintéticos. **Fuente.** Cárdenas Cuentas, J. R., HallasI, P., & Alfredo, C. (2015).

5.1.1.2 Geomallas

Definición: Son estructuras tridimensionales pero con la característica de ser mono o bi-orientadas. Están fabricadas en polietileno de alta densidad, utilizando un proceso de extrusión. Tienen una mayor adherencia al terreno y una mayor durabilidad en el medio que los geotextiles. Walter, T. S., & Edson, T. C. (2012)

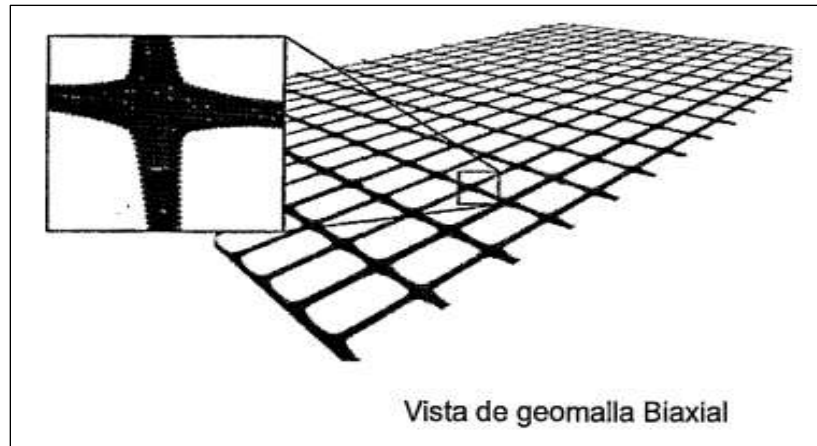


Ilustración 1 Vista de geomalla Biaxial **Fuente.** Walter, T. S., & Edson, T. C. (2012)

5.1.1.2.1 Tipos de Geo mallas :

Existen diversos métodos para aumentar la capacidad de carga de suelos blandos. Uno de estos, antiguo y todavía efectivo, consiste en reforzar el suelo mediante confinamiento lateral de las partículas de material y aumentar su resistencia a la tensión. Tradicionalmente estos efectos se obtenían usando ramas trenzadas o colocando troncos de forma perpendicular. La tecnología actual, permite el uso de productos sintéticos diseñados específicamente para obtener el mismo efecto de confinamiento lateral y resistencia a la tensión, como pueden ser las geo mallas bi-orientadas coextruídas.

Las geo mallas coextruídas son estructuras bidimensionales elaboradas a base de polímeros, que están conformadas por una red regular de costillas conectadas de forma integrada por extrusión, con aberturas de suficiente tamaño para permitir la trabazón del suelo, piedra u otro material geotécnico circundante.

La principal función de las geo mallas coextruídas es indiscutiblemente el refuerzo; el uso del tipo de geomalla esté ligado a la dirección en que los esfuerzos se transmiten en la estructura, por ejemplo, en aplicaciones tales como muros en suelo reforzado o en terraplenes, se utilizan las geo mallas mono-orientadas que son geo mallas con una resistencia y rigidez mayor en el sentido longitudinal que en el transversal. Mientras, que en estructuras en que la disipación de los esfuerzos se realiza de forma aleatoria y en todas las direcciones, como por ejemplo estructuras de pavimento o cimentaciones superficiales, se utilizan geomallas bi-orientadas o bi-direccionales las cuales no tienen una diferencia considerable frente a sus propiedades en los dos sentidos de la grilla.

Las geo mallas coextruídas generan un incremento en la resistencia al corte del suelo. Durante la aplicación de una carga normal al suelo, este es compactado de manera que se produzca una interacción entre las capas de suelo que rodean la geomalla. Con estas condiciones, se requerirá una carga considerablemente mayor para producir un movimiento en el suelo. El compuesto suelo-geomalla reduce la resistencia al movimiento, por lo tanto, el uso de las geo mallas produce una condición de cohesión, inclusive en materiales granulares.

El compuesto combina la resistencia a la compresión del suelo con la tensión de la geomalla, para crear un sistema que presenta una mayor rigidez y estabilidad que un suelo sin ningún elemento que soporte estos esfuerzos. La capacidad que tiene la geomalla para distribuir las fuerzas sobre su superficie incrementan las características de resistencia contra los desplazamientos de la estructura durante el sometimiento de esta a cargas tanto estáticas como dinámicas de Mexichem, G. P. (2009)

Si vamos a la referencia teórica del Manual de diseño de geosintéticos de Mexichem, G. encontramos que se pueden clasificar 2 tipos de geomalla, en las cuales intervienen 3 factores generales

- Material de fabricación
- Función o aplicación
- Orientación de las fibras de la malla

Siendo entonces las geo mallas clasificadas en:

Geo mallas Coextruídas:

a. Geo mallas Coextruídas Mono-Orientadas:

Las geo mallas mono-orientadas, son estructuras bi-dimensionales producidas de polietileno de alta densidad (HDPE) utilizando un proceso de extrusión seguido de un estiramiento mono-direccional. Este proceso permite obtener una estructura monolítica con una distribución uniforme de largas aberturas elípticas, desarrollando así gran fuerza a la tensión y gran módulo de tensión en la dirección longitudinal. La estructura de este tipo de geo mallas provee un sistema de trabazón óptimo con el suelo especialmente de tipo granular.

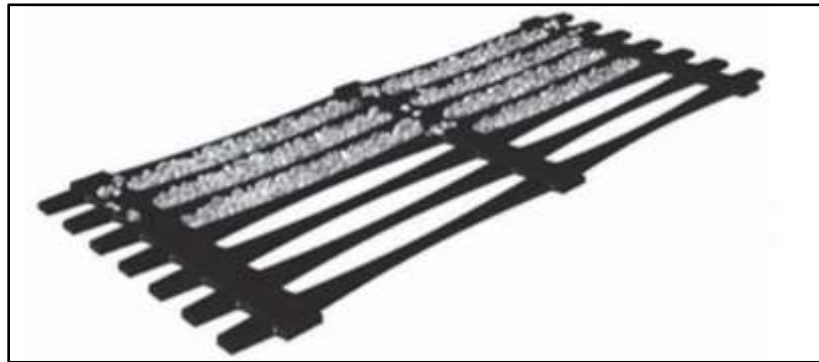


Ilustración 2 Geomalla Coextruida Mono-Orientada Fuente. Walter, T. S., & Edson, T. C. (2012)

Este tipo de geo mallas coextruidas de HDPE, son totalmente inertes a las condiciones químicas o biológicas que se presentan normalmente en el suelo, poseen gran resistencia a los esfuerzos de tensión, soportando hasta 160KN/m aproximadamente. Esto, con la capacidad del suelo de absorber los esfuerzos de compresión, da como resultado el concepto de estructura en suelo reforzado, similar al concepto del concreto y el acero de refuerzo.

Las principales aplicaciones:

- Refuerzo de muros y taludes.
- Refuerzo de terraplenes con taludes pronunciados y diques.

- Estabilización de suelos blandos.
- Reparación de deslizamientos.
- Ampliación de cresta de taludes.
- Reparación de cortes en taludes.
- Estribos, muros y aletas de puentes.
- Muros vegetados o recubiertos con concreto.

b. Geo mallas Coextruídas Bi-Orientadas:

Este tipo de geo mallas son estructuras bi-dimensionales fabricadas de polipropileno, químicamente inertes y con características uniformes y homogéneas, producidas mediante un proceso de extrusión y luego estiradas de forma longitudinal y transversal. Este proceso genera una estructura de distribución uniforme de espacios rectangulares de alta resistencia a la tensión en ambas direcciones y un alto módulo de elasticidad. Así mismo, la estructura de la geomalla permite una óptima trabazón con el suelo. Este tipo de geomallas coextruídas se componen de elementos y nudos rígidos que proveen un gran confinamiento. Son particularmente efectivas para reforzar estructuras de pavimentos rígidos y flexibles.



Ilustración 3 Geomalla Coextruída Bi-Orientada Fuente. Walter, T. S., & Edson, T. C. (2012)

Las principales aplicaciones:

- Terraplenes para caminos y vías férreas.
- Refuerzo en bases de caminos pavimentados y no pavimentados.
- Refuerzo en estructuras de pavimento de pistas de aterrizaje en aeropuertos.
- Refuerzo debajo del balasto de las vías de ferrocarril.
- Como sistema de contención sobre rocas fisuradas.

Geomallas de Fibra de Vidrio:

Las Geomallas de Fibra de Vidrio, son Geomallas flexibles que se utilizan entre capas de concreto asfáltico con el fin de controlar agrietamientos por reflexión, agrietamientos por fatiga y deformaciones plásticas, en los revestimientos de concreto asfáltico que se emplean en vías de alto y bajo tráfico, autopistas, aeropuertos, plataformas y parqueaderos entre otros. Su principal función consiste en aumentar la resistencia a la tracción de la capa asfáltica y de garantizar bajo una carga vertical, la distribución uniforme de los esfuerzos horizontales en una mayor superficie, lo cual se traduce una vía sin grietas por varios años.

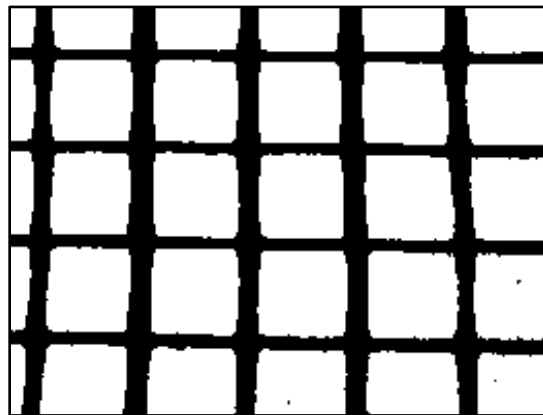


Ilustración 4 Geomalla Fibra de vidrio Fuente. Walter, T. S., & Edson, T. C. (2012)

La Geomalla de fibra de vidrio presenta un alto módulo de elasticidad, el cual es mayor al módulo de elasticidad del asfalto. La Geomalla de fibra de vidrio es más eficiente que otros materiales como refuerzo porque el material de módulo más alto es quien toma sobre sí las cargas. Es un material fácil de reciclar debido a que la fibra es de origen mineral compuesto por arenas de cuarzo y su punto de fusión esta entre 800 y 850 grados centígrados lo cual permite trabajar en conjunto con cualquier tipo de asfalto.

Las principales aplicaciones:

- Control de fisuras de reflexión.
- Control de Ahuellamientos.
- Refuerzo continuo en vías de alto tráfico.
- Pistas de aeropuerto.
- Reparaciones localizadas.
- Refuerzo de carpetas sobre losas de hormigón.
- Incrementar la vida útil de los pavimentos asfálticos al aumentar la resistencia a la fatiga de los materiales bituminosos.
- Como estrategia para disminuir los mantenimientos.

5.2.Pavimentos Asfálticos

5.2.1. Geomallas en pavimentos:

En el momento de aplicar capas de pavimento se ha buscado siempre que estas tengan una mejor respuesta mecánica y comportamiento al uso y al tiempo, con esta necesidad latente se

empezó a ensayar con diferentes fibras naturales y/o sintéticas, según el texto desarrollado por Mejía Flores, I. L. E., & Caro Spinel, M. (2005), fue el departamento de vías de Carolina del Sur , Estados Unidos, el primero en realizar una prueba y una investigación real del uso de fibras sintéticas para el refuerzo de una estructura de pavimentación, en esta se realizó un ensayo con una capa gruesa de algodón que iría sobre la capa base del pavimento flexible y luego se aplicaría el asfalto caliente sobre la fibra, para finalizar con una capa delgada de arena como medida de protección, este ensayo se realizó en 1926 y los resultados se presentaron en 1935 dando como respuesta una reducción de la fallas localizadas y así mismo buenas condiciones en el agrietamiento de la estructura, dando así como pauta que la implementación de fibras en el pavimento asfáltico mejora notoriamente las condiciones y la proyección de vida del mismo.

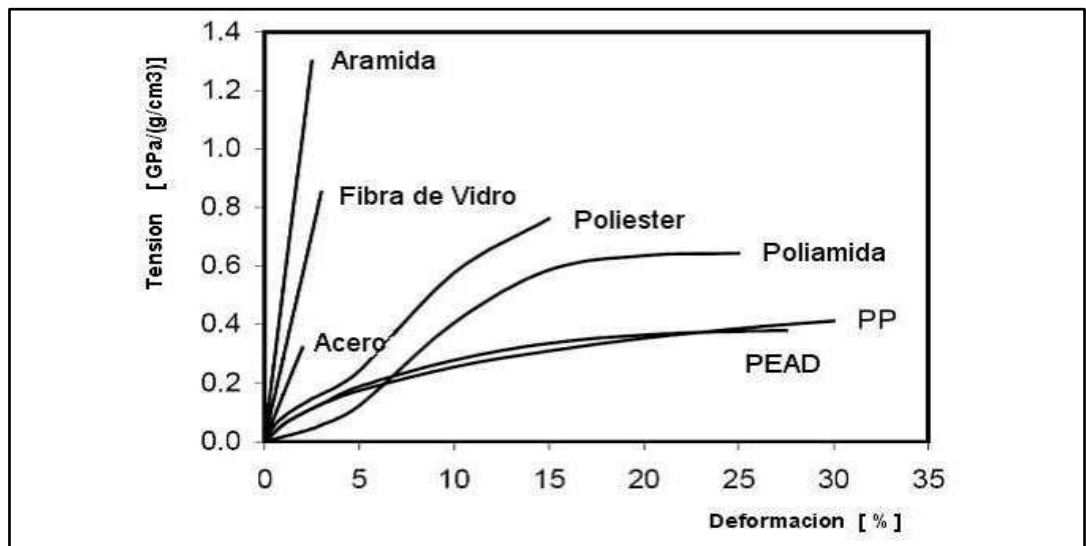


Ilustración 5 Módulo de elasticidad según curva tensión-deformación **Fuente.** Mejía Flores, I. L. E., & Caro Spinel, M. (2005)

En Colombia se empezó a implementar el uso de geo sintéticos para pavimentos al inicio de los 80', el uso de geo sintéticos ha buscado siempre mejorar la sub-rasante y así dar también más vida útil a la capa de rodadura, en zonas donde realmente se requiere un mejor comportamiento, pero va también de la mano del acceso a dichos complementos para el refuerzo en el pavimento aplicado.

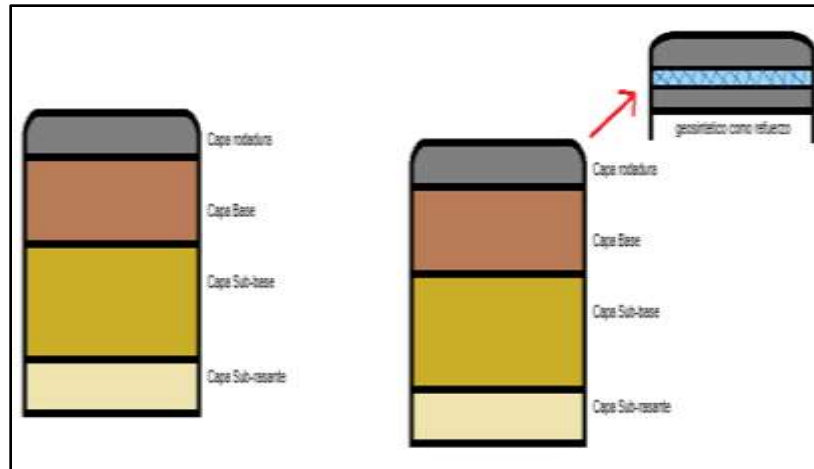


Ilustración 6 Sección Transversal con y sin refuerzo de geo sintético **Fuente.** Este Estudio

En el país contamos con diferentes empresas que han permitido el acceso a los geosintéticos tal como se muestra en la tabla:

GEOSINTETICO	PROVEEDOR
Geotextiles	PAVCO Lafayette Niver Compañía de empaques de Medellín
Geomallas	Geomatrix
Geomembranas	Sintéticos Filmtex Poquinal
Geodrenes	PAVCO

Tabla 3. Proveedores geo sintéticos **Fuente.** Este Estudio

5.3.Adherencia

5.3.1. Concepto desde la ingeniería

La adherencia es la unión que se forma entre dos capas de asfalto, también se conoce el procedimiento de adherencia como riego de liga, según Ontiveros L.R (2013), se deben manejar 2 procesos esenciales para que se dé correctamente:

(a) debe ser muy delgado

(b) debe cubrir uniformemente el área a ser pavimentada de forma que el comportamiento de todas ellas sea lo más parecido a un elemento monolítico.

La adherencia puede estudiarse con mayor profundidad haciendo énfasis en las razones o causas de la unión de las dos superficies: fuerzas de atracción fisicoquímica y fuerzas de entrelazado mecánico. Dentro del conjunto de capas bituminosas unidas en su interfase, el riego de liga es el encargado de producir las fuerzas de atracción físico-química que ocurren por la composición química del asfalto; mientras que las fuerzas de entrelazado mecánico se desarrollan a partir de la rugosidad de las superficies involucradas en la unión, que a su vez se compone de la rugosidad de los agregados representada por la microtextura y de la rugosidad de la mezcla asfáltica cuyo parámetro es la macrotextura (Ricci L. A., 2011).

5.3.2. Ensayos adherencia

Si nos referenciamos con el documento de tesis de Ontiveros L.R (2013), encontramos la descripción de los siguientes ensayos como requerimiento necesario para la comprobación de adherencia.

i. Ensayo de corte LCB

El ensayo de corte LCB (Laboratorio de Caminos de Barcelona), es de ejecución muy sencilla, capaz de medir la resistencia a las tensiones tangenciales provocadas por la aplicación de una fuerza de corte que se producen en la unión de dos capas asfálticas, adheridas o no por un riego de adherencia.

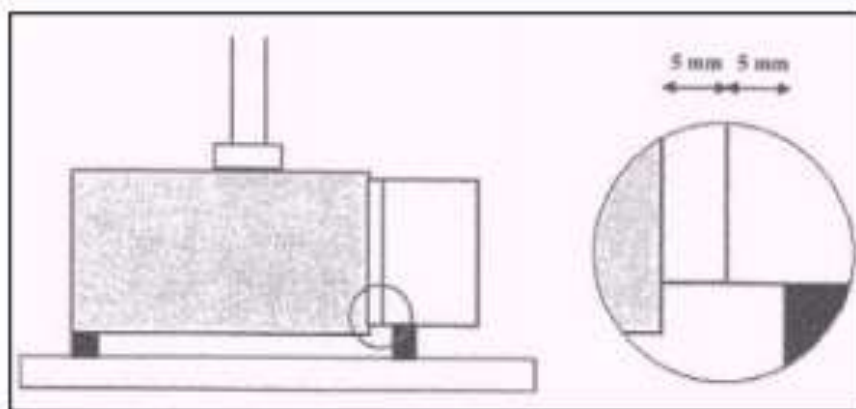


Ilustración 7 Ensayo Corte LCB

También se mide la deformación de una de las capas respecto la otra. Este ensayo permite tanto el control de la calidad alcanzada en obra mediante la rotura de testigos, como la evaluación del efecto de diferentes riegos de adherencia mediante la rotura de probetas fabricadas en el laboratorio.

$$\tau = \frac{P/2}{S}$$

Donde:

t: Tensión tangencial sobre la junta.

P: Carga aplicada.

S: superficie de la sección transversal de la probeta.

ii. Ensayo Pull Off

Según Fernández, V. G., Barrios-Padura, Á., & Molina-Huelva, M. (2017), el ensayo Pull Off también conocido como ensayo de arrancamiento, consiste en la aplicación de una fuerza de tracción normal al plano de ensayo, esto con el objetivo de obtener la tensión de arrancamiento (MPa),

iii. Ensayo Leutner (Leuner Test)

El Leutner test se desarrolló en Alemania a finales de 1970 como un medio sencillo de llevar a cabo una shear test directo sobre el vínculo entre dos capas de asfalto. La prueba se realiza en 150 mm de diámetro de los núcleos que comprenden al menos dos capas tomadas ya sea de un pavimento o fabricado en el laboratorio.

El principio de la prueba consiste en aplicar una velocidad de cizallamiento de desplazamiento constante a través de la interfaz de objeto de investigación y supervisar la fuerza de corte resultante. La fuerza normal se aplica a la muestra cilíndrica. Una velocidad de cizallamiento de desplazamiento estándar de 50 mm / min se utiliza para que Marshall y dispositivos de CBR de carga pueden ser utilizados.

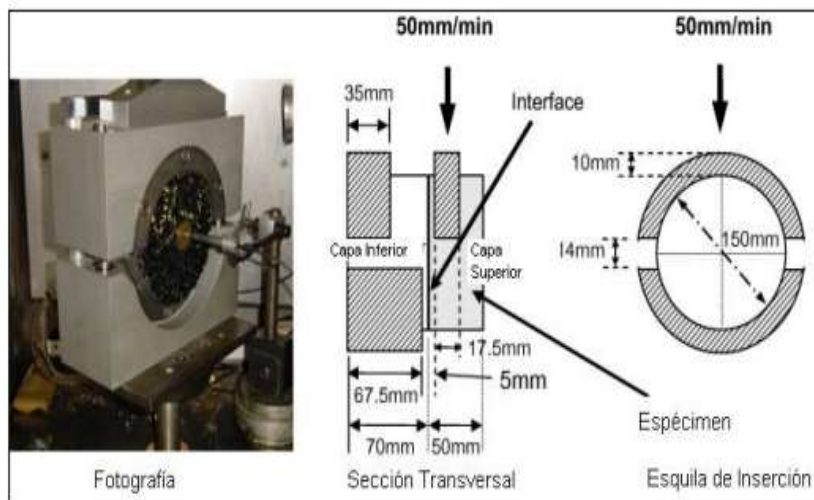


Ilustración 8 Ensayo Leutner

Cabe señalar que, aunque el Leutner Shear Test disposición tiene la ventaja de la simplicidad (en comparación con las pruebas de cizallamiento tipo caja) también sufre de tensiones no uniformes de interfaz de cizallamiento

5.4.Método Marshall

5.4.1. Antecedentes del método Marshall

El Concepto del Método Marshall en el diseño de mezclas para pavimentación fue formulado por Bruce Marshall, ingeniero de asfaltos del Departamento de Autopistas del estado de Mississippi. El cuerpo de ingenieros de Estados Unidos, a través de una extensiva investigación y estudios de correlación, mejoro y adiciono ciertos aspectos al procedimiento de prueba de Marshall, a la vez que desarrollo un criterio de diseño de las mezclas.

El método original únicamente es aplicable a mezclas asfálticas en caliente para pavimentación, que contengan agregados con un tamaño máximo de 25 mm (1”) o menor. El método Marshall modificado se desarrolló para tamaños máximos arriba de 38 mm (1.5”), y está pensado para diseño en laboratorio y control en campo de mezclas asfálticas en caliente, con graduación densa. Debido a que la prueba de estabilidad es de naturaleza empírica, la importancia de los resultados en términos de estimar el comportamiento en campo se pierde cuando se realizan modificaciones a los procedimientos estándar.

El objetivo de los ensayos Marshall es determinar el contenido óptimo de asfalto para un determinado tipo de mezcla asfáltica, en este caso, se consideraron las especificaciones técnicas del Invías, en donde se indican los intervalos permisibles de las propiedades fundamentales para cada tipo de mezcla asfáltica en caliente como lo son: la densidad, la estabilidad, la deformación, el contenido de vacíos en la mezcla y el contenido de vacíos en el agregado mineral.

5.4.2. Mezclas asfálticas.

Generalmente una mezcla es el resultado de la combinación de cemento asfáltico y agregados pétreos en unas proporciones exactas y predeterminadas; se pueden fabricar en caliente o en frío, siendo más usuales las Mezclas densas en caliente. Se conocen una serie de procedimientos para calcular las cantidades de cada material en la mezcla en caliente, siendo el procedimiento Marshall uno de los métodos más usados y confiables.

Sirve como agente cementante que fija los agregados en la posición adecuada para transmitir las cargas aplicado a las capas inferiores. Los agregados son por lo general piedra partida, grava, arenas, etc., se pueden usar combinados o aisladamente.

5.4.2.1. Propiedades de las Mezclas Asfálticas¹.

Una mezcla asfáltica debe desarrollar un conjunto de propiedades, que al estar presentes en la mezcla resulte un comportamiento adecuado en obra. Se debe tener en cuenta que unas de estas son contrapuestas, porque por favorecer una el diseñador puede estar desmejorando otra. El éxito consiste en lograr que el conjunto de estas propiedades estén presentes.

Estabilidad: Es la capacidad para resistir la deformación bajo los efectos de las cargas impuestas por los vehículos. Un pavimento con baja estabilidad es decir inestable sufre ahuellamiento, corrugaciones y ondulaciones.

¹ Propiedades Deseadas de Ingeniería de una Mezcla Asfáltica, Boletín Técnico Instituto Venezolano del Asfalto, Ing Gustavo Corredor M. 1996

La estabilidad de una mezcla depende de la fricción interna, de la cohesión y de la masa (inercia). La fricción interna es aportada por los agregados gruesos; esta depende de la textura superficial, de las formas de las partículas y la granulometría del agregado, así como de la densidad de la mezcla, y la proporción de asfalto de la mezcla. La cohesión es la fuerza aglutinante y corresponde el aporte del ligante de la mezcla. La estabilidad por inercia es proporcional al espesor de la capa asfáltica del pavimento.

Durabilidad: Es la capacidad para resistir la acción de los agentes climáticos y del tránsito. El deterioro debido al clima afecta directamente a las características del asfalto, debido al proceso de envejecimiento (oxidación, volatilización), que determina una alteración en las propiedades a medida que pasa el tiempo. La durabilidad se incrementa aumentando el contenido de asfalto, haciendo películas más gruesas que recubran a los agregados, granulometrías densas y mezclas bien compactadas e impermeables.

Resistencia a la fatiga: Es la resistencia a la flexión repetida bajo las cargas de tránsito. Expresa la capacidad de la mezcla a deformarse repetidamente sin fracturarse, esta sucederá al concluir el periodo de diseño. En este punto no se puede considerar como una falla si no como un proceso natural prevista en el diseño. Entre los factores que aceleran la presencia de fallas tempranas por fatigas son: La acción repetitiva de cargas, mal drenaje de la Subrasante, calidad de la construcción así como el espesor del pavimento.

Resistencia al deslizamiento: Capacidad de proveer suficiente fricción para minimizar el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos, particularmente cuando la superficie está húmeda. Los factores requeridos de los agregados son los mismos para desarrollar una alta estabilidad, destacándose la textura superficial de las partículas. Como

regla son beneficiosa para esta propiedad mezclas abiertas, ya que permiten el rápido escape del agua y de contenido de asfalto relativamente bajos, para evitar la exudación de la superficie del pavimento.

Flexibilidad: Es la capacidad del pavimento para acomodarse sin agrietamientos, a movimientos y asentamientos graduales de la Subrasante. Los asentamientos diferenciales van existir en la capas de soporte de un pavimento, ya que es imposible construir una base, sub-base y sub-rasante con una densidad totalmente uniforme. La flexibilidad esta generalmente asociada con un alto contenido de asfalto y mezclas abiertas, sin embargo cualquier mezcla que alcance valores adecuados de estabilidad, resistencia a la fatiga y durabilidad desarrollara adecuados valores de flexibilidad.

Impermeabilidad: Es la resistencia al paso de aire y agua hacia el interior del pavimento. Aun cuando el porcentaje de vacíos es un factor determinante, es de mayor importancia el carácter de estos. El tamaño, la interconectividad y si están ubicados en la superficie del pavimento, determinan la impermeabilidad. Mezclas ricas en asfalto y bien compactas favorecen esta propiedad. Aun cuando la impermeabilidad es importante, ya que incide en su durabilidad, prácticamente en todas las mezclas en caliente son permeables siempre y cuando cumplan con los límites y las especificaciones en cuanto a granulometría y porcentaje de vacíos.

5.4.2.2. Ensayos realizados a la Mezcla Asfáltica

Elaboración de especímenes Marshall: Con este ensayo se puede determinar la resistencia a la deformación plástica de una briqueta de mezcla bituminosa para pavimentación. El procedimiento puede emplearse tanto para proyecto de diseño de mezclas en el laboratorio como para el control en obra de las mismas. El tipo de material a ensayar son briquetas

cilíndricas de 4” de diámetro por 2 ½” de altura, rompiéndolas posteriormente en la prensa Marshall y determinando su estabilidad y deformación **Norma: INV E-748.**

Peso unitario de la mezcla asfáltica: Con este procedimiento se determina el peso específico aparente y el peso unitario de mezclas asfálticas compactadas de Granulometría densa. El resultado de este ensayo sirve para determinar las características y el porcentaje de vacíos presentes en la mezcla **Norma: INV E-733.**

Peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas: Con este procedimiento se determina el peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas sin compactar. Se define como la relación del peso de un volumen dado de material con respecto a un volumen igual de agua a la misma temperatura. El resultado de este ensayo sirve para determinar las características y el porcentaje de vacíos presentes en la mezcla **Norma: INV E-735.**

Porcentaje de vacíos con aire de mezclas compactadas: Mediante este cálculo se determina el % porcentaje de compactación de las mezclas asfálticas, como la relación entre el peso específico del espécimen (E-733) y el peso específico teórico máximo (E-735) **Norma: INV E-736.**

Estabilidad y Flujo Marshall: Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir para la determinación de la resistencia a la deformación plástica de especímenes cilíndricos de mezclas asfálticas para pavimentación, empleando el aparato Marshall. El procedimiento se puede emplear tanto para el proyecto de mezclas en el laboratorio como para el control en obra de las mismas. El método es aplicable a mezclas elaboradas con cemento asfáltico y agregados pétreos con tamaño máximo menor o igual a 25.4 mm (1”). **Norma: INV E-748.**

Análisis Volumétrico de mezclas asfálticas: Mediante este procedimiento se determina las propiedades volumétricas de la mezcla asfáltica compactada, con el fin de realizar los cálculos pertinentes al diseño Marshall de la mezcla **Norma: INV E-799.**

5.4.2.3. Asfalto Residual

La dosificación, dotación, o tasa de aplicación del ligante se refiere a la cantidad gravimétrica o volumétrica de asfalto residual que debe aplicarse por unidad de superficie sobre la capa a ligar. El asfalto residual es aquel que debe permanecer sobre la superficie de la capa una vez se separe el agua de la fase asfáltica y se evapore. Existen diferentes condiciones superficiales de la capa donde se aplicará el riego, como es el caso de una capa nueva, una antigua o fresada, y en cada condición la dosificación del ligante debe ser distinta para lograr la adherencia entre las capas que garantice una estructura monolítica (Mohammad, y otros, 2012).

En Colombia el Artículo 421–13 de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras precisa una cantidad de doscientos a trescientos gramos de ligante residual por metro cuadrado (200 a 300 g/m²) (Instituto Nacional de Vías, 2013), con lo cual se establece un rango de aplicación para condiciones normales como ahí se indica, sin embargo, no se menciona ningún parámetro cuantitativo o cualitativo para adoptar el valor definitivo a emplear.

Las tasas de aplicación más bajas se recomiendan para capas nuevas, valores intermedios son apropiados para pavimentos existentes con superficies relativamente lisas y los cercanos al límite superior son para pavimentos asfálticos envejecidos o fisurados y pavimentos de concreto hidráulico. Los pavimentos que han sido fresados requieren una cantidad de ligante aún mayor debido a su mayor área de superficie específica (Mohammad, y otros, 2012).

Diversas investigaciones coinciden en afirmar que el exceso de riego de liga produce deslizamiento entre las capas y que la ausencia del mismo reduce cualquier respuesta mecánica de adhesividad, no obstante, algunos hallazgos particulares muestran que bajo ciertas condiciones puede existir una mayor adherencia sin la aplicación de un riego de liga, lo cual puede ser producido por una elevada temperatura de la mezcla asfáltica en el momento de su colocación, favoreciendo la adherencia generada por el bitumen propio de las mezclas; y por superficies de contacto con alto volumen de vacíos que desarrollan fricción por trabazón entre capas (Raposeiras, Castro-Fresno, Vega-Zamanillo, & Rodriguez-Hernandez, 2013).

6. Hipótesis

La dosificación óptima del ligante (emulsión asfáltica) que une la mezcla asfáltica (5% contenido óptimo de asfalto) y las geomallas en estudio, incrementa la adherencia y el Módulo de reacción, haciendo que la carpeta asfáltica reforzada con geo sintético trabaje como una capa durante su periodo de servicio.

7. Metodología

Mediante el desarrollo del presente trabajo se entregarán resultados de la incidencia de la mezcla geo sintético – mezcla asfáltica sobre la adherencia de la carpeta de un pavimento flexible; los cuerpos de prueba elaborados, serán sometidos a esfuerzo de cizallamiento mediante ensayo Leutner. Específicamente, los cuerpos de prueba serán evaluados a temperatura de 25°C y se llevarán hasta la falla a velocidad constante de 50 mm/min, mediante el equipo Leutner, siguiendo las recomendaciones técnicas del auxiliar del laboratorio.

7.1.Pasos metodológicos de investigación:

- **Primer paso - Revisión de información secundaria:** Con el fin de ampliar y aclarar conceptos se realizará una consulta bibliográfica sobre asfalto, emulsiones asfálticas, geo sintéticos, materiales granulares, temas de investigación similar, entre otros.
- **Segundo paso - Recolección de información primaria:** en esta etapa se procederá a organizar los equipos necesarios para el desarrollo de la investigación particularmente se hace relación el equipo Leutner o un equipo similar que tenga un mecanismo de operación idéntico para hacer la adaptación y proceder a hacer los ensayos para este estudio.
- **Tercer paso - Selección y caracterización de los materiales:** se caracterizarán los materiales granulares y asfálticos necesarios para posteriormente realizar el diseño Marshall. El objetivo de los ensayos Marshall es determinar el contenido óptimo de asfalto para un determinado tipo de mezcla asfáltica, en este caso, se consideraron las especificaciones técnicas de la Norma Invías - 2013, en donde se indican los intervalos permisibles de las propiedades fundamentales para cada tipo de mezcla asfáltica en caliente como lo son: la densidad, la estabilidad, la deformación, el contenido de vacíos en la mezcla y el contenido de vacíos en el agregado mineral. Para lograr lo anterior, se debe contar con la disponibilidad de un laboratorio de suelos y/o geotecnia que cuente con el certificado de calibración del equipo Marshall.
- **Cuarto paso: Fabricación de los cuerpos de prueba:** Para realizar esta actividad es necesario contar con los moldes requeridos en el ensayo de Leutner, en los cuales se procederá a realizar los cuerpos a evaluar. Estos cuerpos se dejaran curar y se introducen en una cámara para mantener la temperatura de ensayo de 20 °C. Luego,

se colocarán en las mordazas del equipo Leutner para iniciar el ensayo aplicando carga a velocidad de 50 mm/min, hasta llevar los especímenes a la falla. Finalmente, se registrarán los datos del comportamiento de la probeta durante el ensayo.

- **Quinto paso- Análisis e interpretación de los resultados:** En este paso se realizará una descripción cuantitativa de los resultados obtenidos y posteriormente se realizará la interpretación correspondiente.
- **Sexto Paso – Elaboración y sustentación del informe final:** Finalmente se procederá a organizar la información definitiva en un informe final y se realizará la socialización del trabajo ante los jurados de la Universidad Militar Nueva Granada.

7.2. Materiales utilizados:

Cada día se debe pretender dar un manejo más eficiente de los recursos con que cuentan el Departamento y Municipios para la adecuación de la red vial a su cargo y la necesidad de que las vías secundarias y terciarias vayan fortaleciendo la estructura de la red vial nacional pavimentada; Para promover el desarrollo, la integración, favoreciendo las regiones para la competitividad y reduciendo los costos de transporte de los productos agrícolas hacia los centros de consumo. Todo esto hará que las administraciones territoriales consideren la pavimentación de aquellos tramos de carretera que se muestren más prometedores para sus regiones, desde los puntos de vista económico, social, político y estratégico.

La Ley ha fijado al Instituto Nacional de Vías-INVIAS la responsabilidad de apoyar a los entes territoriales tanto en los aspectos de organización de sus territoriales viales, como en los de transferencia de tecnología. En cumplimiento de este último principio, el Instituto Nacional de Vías presenta una normatividad y requerimientos técnicos en el cual se ofrecen recomendaciones en relación con el diseño de pavimentos a partir de información básica que

resulte accesible a las frecuentemente reducidas posibilidades de los entes viales de los organismos territoriales.

En este aspecto, es importante resaltar que en nuestro medio el método utilizado más comúnmente para el diseño de pavimentos es el método AASHTO (American Association of state Highway and Transportation Officials) y el método aplicado por el Instituto Nacional de Vías –INVIAS. Si bien la propiedad fundamental para caracterizar los materiales que constituyen la sección del pavimento en una carretera es la selección adecuada de los materiales granulares para su óptima aplicación, lo cual garantiza la calidad de los pavimentos acorde a las especificaciones INVIAS, no es muy favorable el hecho de que sobre el material proveniente de las diferentes minas la información sobre sus propiedades físicas es muy escasa y desactualizada conllevando en muchas ocasiones a generar pavimentos de mala calidad y poca durabilidad.

Por tal razón, a continuación, se pretende entregar una información real sobre las características físicas del material pétreo proveniente de la mina AGRESUR, ubicada en el Municipio de Funes, el cual es insumo inicial y necesario para poder realizar el ensayo Marshall y posteriormente determinar si la mezcla asfalto – geo sintético, probado mediante ensayos de laboratorio, incide en la adherencia de la capa asfáltica.

Los materiales utilizados en el presente estudio son los requeridos para mezcla asfáltica en caliente MDC-19, con la aplicación de riego de liga y adición de geo sintéticos. Los materiales pétreos fueron adquiridos en la planta de AGRESUR y posteriormente acopiados en el laboratorio de la Universidad del Cauca para posteriormente construir los cuerpos de prueba requeridos para el estudio. Cabe resaltar que todos los cuerpos de prueba fueron contruidos con materiales que cumplen con las especificaciones técnicas de INVIAS – 2013.

7.2.1. Agregado pétreo

La obtención del agregado procede de la cantera AGRESUR ubicada en el Municipio de Funes, Vereda san José en el Departamento de Nariño, las pruebas al agregado se realizaron de la siguiente forma:

- **Ensayos de Laboratorio Físico Mecánicos a los Materiales:** Se toma una muestra representativa y de cantidad suficiente para la realización de las pruebas necesarias.
- **Ensayos de Granulometría (INV E 123-13):** Tiene por objetivo la separación por tamaño de las partículas de suelo para su posterior utilización. La granulometría consiste en tomar una muestra representativa de material que vamos a utilizar en la fabricación del concreto asfáltico, la cual debe estar seca para que esta no forme grumos, antes de empezar se pesa el material y luego se hace pasar por una serie de tamices o mallas que están ordenadas de mayor a menor abertura, con una relación de aberturas de 1 a 2 con la abertura del siguiente tamiz, se coloca el material en la pila de tamices y se lo agita para que el material pueda pasar hasta el fondo, al terminar la tamizada se empieza a pesar el material retenido en cada tamiz y se anota en el respectivo formato, esto se realiza tanto para la grava como para la arena. Las curvas Granulométricas son una representación gráfica de la distribución de los tamices del material; la gráfica está compuesta del porcentaje que pasa en cada tamiz en las ordenadas (escala aritmética) y el tamaño del tamiz en las abscisas (en escala logarítmica). Con esta gráfica fue posible saber sobre la gradación de los tamaños del material

- **Desgaste Máquina de los Ángeles (INV E 218-13/219-13):** Su objetivo es determinar la resistencia de las partículas del agregado grueso al desgaste. Este ensayo ha servido como referente y un indicador de la calidad relativa o a la competencia de diferentes fuentes de agregados pétreos de similares composiciones, los resultados nos brinda comparaciones entre fuentes de origen, composición o estructura.
- **Desgaste Máquina Microdeval (INV E – 238 – 13):** Su objetivo es determinar la resistencia a la abrasión y durabilidad de los agregados pétreos, por la acción combinada de la molienda y la abrasión con bolas de acero en presencia de agua ya que muchos de los agregados son más débiles húmedos que secos, gracias a esto podemos utilizar esta información útil para juzgar la resistencia desgaste/abrasión y durabilidad/solidez y acción de desintegración con el medio ambiente cuando no existe información de este tipo de comportamiento.
- **Ensayo de Durabilidad -Perdidas en el ensayo de solidez en sulfato de sodio o magnesio (INV E 236-13):** Determina la resistencia a la desintegración de los agregados, por la acción de soluciones saturadas de sulfato de sodio o magnesio, seguido por un secado al horno para deshidratar completa o parcialmente la sal que se encuentra en los poros permeables del material, gracias a esto se puede obtener información para determinar la calidad de los agregados en condiciones atmosféricas fuertes.

La sanidad se refiere a la capacidad de los agregados para soportar cambios de volumen por la acción del intemperismo esta capacidad depende de la forma, textura, procedencia, granulometría y porosidad.

Con este ensayo se pretende reproducir rápidamente los procesos de calentamiento, enfriamiento, humedecimiento, secado, congelamiento y deshielo.

El objeto de utilizar sulfato en este ensayo fue para que se llene en los poros y en el momento de evaporarse cristaliza el agua por el secado, creando presiones internas que se asemejan a la acción del congelamiento del agua

- **Ensayo de caras fracturadas (INV E 123-13):** Uno de los propósitos de este requisito es incrementar la resistencia al corte incrementando la fricción entre partículas en mezcla del agregado ligadas o no ligadas, otro propósito es dar estabilidad a los agregados y proporcionar mayor fricción y textura para agregados usados en capas superficiales de pavimento.
- **Ensayo de partículas planas y alargadas (INVE 230-13):** Este método determina el porcentaje de partículas planas y alargadas o planas y alargadas, en un agregado grueso, esto con el fin de no tener proporciones elevadas de esta clase de material por que pueden interferir en la compactación y dificultar la colocación del material. Se mide partículas individuales de agregado de una fracción de tamaño específico de tamiz para determinar las relaciones de ancho/espesor, longitud/ancho ó longitud /espesor.
- **Equivalente de arena (INVE 133-13).** Este ensayo produce un valor empírico de la cantidad relativa, finura y carácter del material arcilloso presente en la muestra de agregado fino. Este ensayo se realizó adicionando a un volumen determinado de suelo

una pequeña cantidad de solución floculante, mezclándolos en un cilindro plástico graduado, y agitándolos para que las partículas de arena pierdan su cobertura arcillosa. La muestra es entonces irrigada, usando una cantidad adicional de solución, para forzar al material arcilloso a quedar en suspensión encima de la arena. Después de un periodo de sedimentación se determinan las alturas de las arcillas floculadas y de la arena en el cilindro. El equivalente de arena es la relación entre la altura de la arena y la altura de la arcilla, expresada en porcentaje

- **Gravedad específica y absorción (INVE - 223-13/ NTC 176):** Con estos métodos se determina la gravedad específica bulk, bulk saturada y superficialmente seca y aparente así como la absorción de agregado fino y grueso después de que los agregados han estado sumergidos en agua durante 15 horas.
- **Contenido de Impurezas (INV E 121-13):** Este procedimiento se realizó para determinar la limpieza superficial de los agregados, con tamaños superiores a 4.75 mm (n° 4) utilizados en la construcción de vías. Este proceso se realiza separando mediante lavado en un tamiz (500 μ m n° 35) las partículas de 0.5 mm adheridas a la superficie de los agregados gruesos, las cuales se las considera como impurezas. Se las lava hasta que el agua salga clara se debe tener en cuenta que no haya perdidas de material por fuera del tamiz, la cantidad retenida en el tamiz de lavado se recupera y se seca al horno a una temperatura de 110+- 5° C hasta la masa constante de 1gr, se vuelve a pasar por el tamiz durante 1 min, recuperando la totalidad del material retenido y se determina la masa pesándola.

En los Anexos 1 y 2 del presente estudio se relacionan los resultados del ajuste granulométrico. A partir de los resultados obtenidos se vio la necesidad de realizar el ajuste granulométrico del material utilizado para proceder a realizar el ensayo Marshall y obtener la fórmula de trabajo con la cual será posible elaborar las briquetas necesarias con asfalto óptimo del 5%, además de aplicar o no la geomalla a utilizar.

Con los datos obtenidos anteriormente se procedió a realizar el ajuste granulométrico para la mezcla asfáltica, los cálculos obtenidos se presentan en el Anexo 3 del presente estudio.

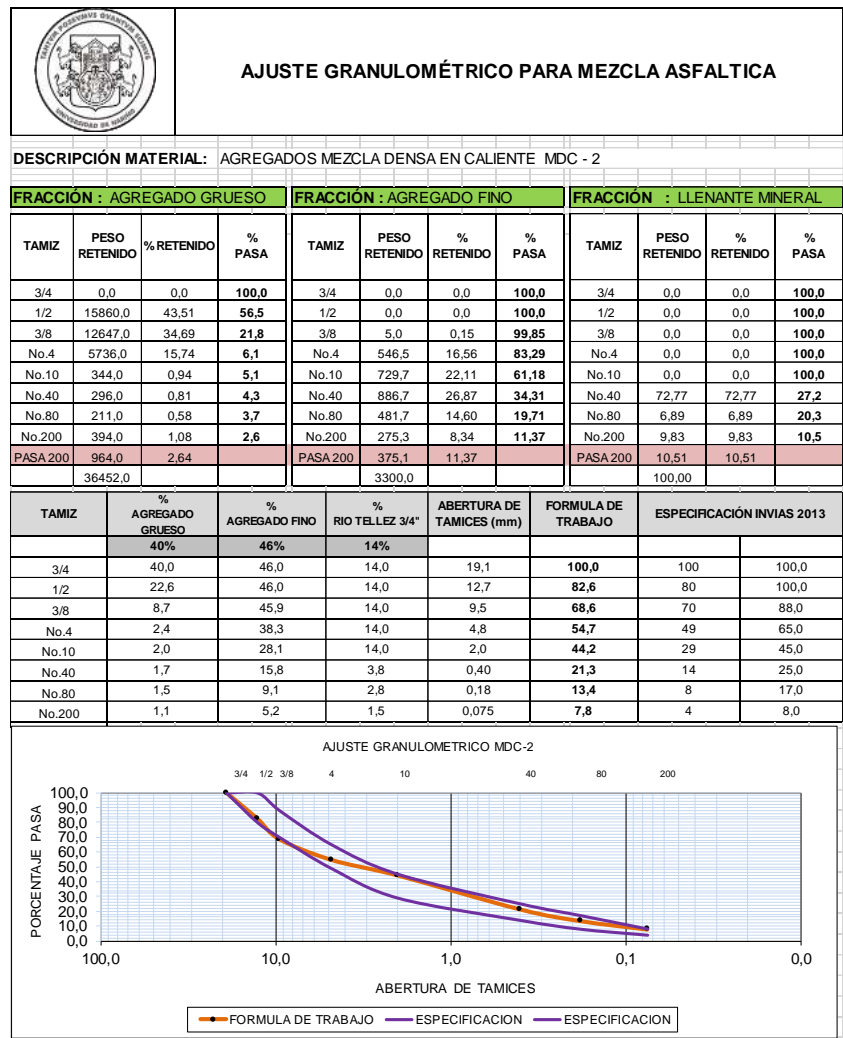


Tabla 4. Ajuste granulométrico de agregados pétreos para asfalto. Fuente: Este Estudio.

7.2.2. Cemento Asfáltico

El cemento asfáltico es proveniente de la refinería de Barrancabermeja, el cual se adiciona en una proporción de 5.0% en masa total de la mezcla según el diseño Marshall. Además, según la variación de la viscosidad del cemento asfáltico en función de la temperatura, para llevar a cabo la mezcla con los agregados pétreos la temperatura es de $149\pm 1^{\circ}\text{C}$ y la de compactación en laboratorio es de $139\pm 1^{\circ}\text{C}$. Entre los ensayos de caracterización realizados a este material se destaca la curva reológica. En la **referencia. 5** se presentan los resultados de los ensayos de caracterización.

Propiedad	Norma de ensayo	Resultado	Unidad	Requisito
Viscosidad a 60°C	ASTM D 4402	242000	cP	Reportar
Viscosidad a 80°C	ASTM D 4402	20375	cP	Reportar
Viscosidad a 100°C	ASTM D 4402	3450	cP	Reportar
Viscosidad a 135°C	ASTM D 4402	355	cP	Reportar
Viscosidad a 150°C	ASTM D 4402	176.1	cP	Reportar
Ductilidad	INV E-702-13	140	cm	≥ 100
Gravedad API	ASTM D 4052	6.9	Grados API	Reportar
Densidad a 15°C	ASTM D 4052	1021.7	kg/m^3	Reportar
Penetración 25°C	INV E-706-13	64	0.1 mm	60 – 70
Índice de penetración	-	-7		Reportar
Pérdida de masa (RTFOT)	INV E-720-13	0.329	$\text{g}/100\text{g}$	≤ 1.0
Punto ablandamiento	INV E-712-13	49.4	$^{\circ}\text{C}$	45 – 55
Punto de inflamación	ASTM D 92	276	$^{\circ}\text{C}$	≥ 232
Solubilidad en tricloroetileno	INV E-713-13	99.9	%	≥ 99

Tabla 5. Resultados de caracterización del cemento asfáltico

7.2.3. Mezcla Asfáltica.

En la presente investigación se utilizó mezcla asfáltica en caliente tipo MDC – 19, que conforma las dos capas adheridas es una mezcla densa en caliente tipo MDC-19, cuyas proporciones se obtuvieron mediante ajuste granulométrico anteriormente descrito..

Estimación óptima de asfalto: Se estableció con anterioridad que el porcentaje óptimo de asfalto es de 5% La estimación del porcentaje óptimo de asfalto es de una gran ayuda, y se realizó utilizando la relación propuesta por el instituto del asfalto, ya que proporciona un valor de asfalto óptimo teórico.

Como se puede observar en la ilustración 9 el contenido óptimo de cemento asfáltico es del 5% el cual se determinó a partir del ensayo Marshall partiendo del valor promedio de dichos vacíos que es 5% de vacíos, con este valor son comprobadas todos los parámetros.

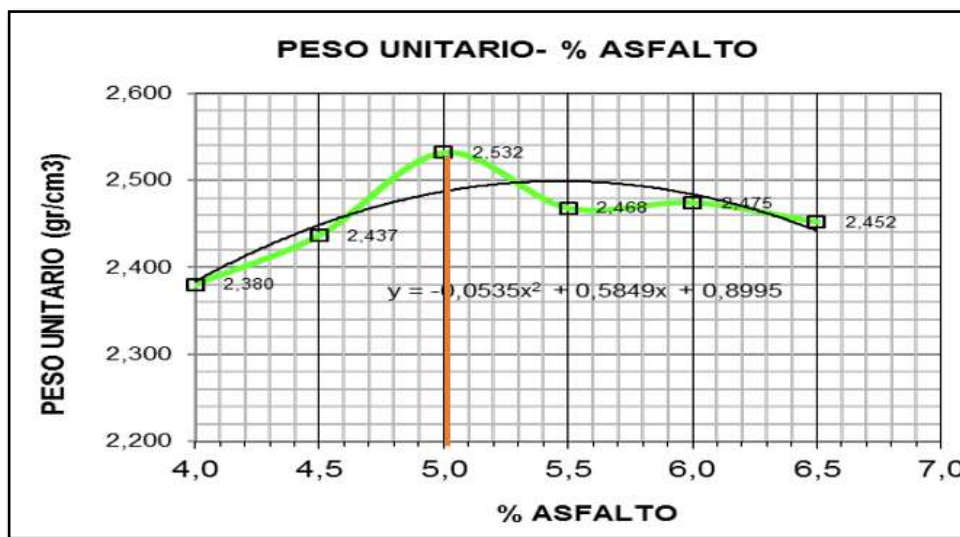


Ilustración 9 Contenido óptimo de cemento asfáltico Fuente. Este Estudio

En la construcción de los cuerpos de prueba se realizó inicialmente el tamizado de los materiales por separado y secado al horno utilizando los laboratorios de TEC Ingeniería SAS y de la Universidad de Nariño en la Ciudad de Pasto.



Ilustración 10 Distribución de cantidades de agregados Fuente. Este Estudio



Ilustración 11 Secado de muestras. Fuente. Este Estudio

En el desarrollo del trabajo de grado fue necesario acoger de manera exacta lo establecido en el método de Diseño para mezclas asfálticas Marshall mediante el cual se emplean una serie de briquetas cilíndricas normalizadas que se elaboran según el procedimiento de la norma.

Para este caso en particular se elaborarán treinta y seis (36) briquetas, con los porcentajes o combinación de agregados de la fórmula de trabajo siguiendo las especificaciones para mezclas asfálticas en caliente densas. Para la combinación de agregados formula de trabajo, se elaboraron especímenes con contenidos de asfalto del 5,0%.

El propósito y objetivos de este método es realizar un análisis de densidad, vacío y la determinación de la estabilidad y el flujo de cada briketa elaborada.

La estabilidad Marshall se define como la máxima carga en libras que puede resistir la briketa normalizada a 60 °C, ensayada bajo las condiciones definidas por el ensayo. Por su parte, el flujo Marshall es el movimiento o deformación total que se produce en la briketa desde el comienzo hasta la carga máxima durante el ensayo de estabilidad, expresado normalmente en centésimas de pulgada.

La norma INVIAS 748-13, describe el procedimiento que se debe seguir para la determinación de la resistencia a la deformación plástica de especímenes cilíndricos de mezclas asfálticas para pavimentación, empleando el aparato Marshall. El procedimiento se puede emplear tanto para el proyecto de mezclas en el laboratorio como para el control en obra de las mismas. El método es aplicable a mezclas elaboradas con cemento asfáltico y agregados pétreos con tamaño máximo menor o igual a 25.4 mm (1”).

7.2.4. Riego de liga.

En la construcción de los cuerpos de prueba se trabajó con ligante bituminoso como riego de liga que corresponde a una emulsión catiónica de rotura lenta CRL-1 en dosis única para todas las briquetas. (Figura 12).



Ilustración 12 Ligante Bituminoso CRL-1Fuente. Este Estudio

En la tabla 6 se presenta la caracterización de la emulsión utilizada

Propiedad	Norma de ensayo INV	Resultado	Unidad	Requisito INV Art. 411-13
Viscosidad Saybolt Furol a 25°C	E-763	27.67	s	20 – 200
Contenido volumétrico de agua	E-761	38.52	%	≤ 43
Estabilidad en almacenamiento (24 horas)	E-764	0.9	%	≤ 1
Sedimentación a los 5 días		4.53	%	≤ 5
Destilación				
Contenido de asfalto residual	E-762	60.13	%	≥ 57
Contenido de disolventes		0.0	%	-
Tamizado				
Retenido tamiz n.º 20	E-765	0.0270	%	≤ 0.10
pH	E-768	2.43		≤ 6
Ensayos sobre residuo de destilación				
Penetración (25°C, 100 g, 5 s)	E-706	64.7	0.1 mm	60 – 100
Ductilidad (25°C, 5 cm/min)	E-702	>100	cm	≥ 40
Solubilidad en tricloroetileno	E-713	99.99	%	≥ 97.5

Tabla 6. Caracterización de emulsión CRL-1. **Fuente.** Empresa Humberto Quintero O y Cía. SCA

7.2.5. Uso de Geo sintético.

Las geo mallas son productos adaptados a la ingeniería civil, delgadas, continuas estancas a los líquidos. Generalmente las geo mallas están hechas de polietileno, de alta y de baja densidad (HDPE, VFPE), de elastómero bituminoso, de polipropileno (PP) o en cloruro de polivinilo (PVC). Generalmente se almacenan en forma de rodillos de longitud y altura diferentes que oscilan entre 1 m por 10 m para las geo mallas bituminosas a 7,5 m por 200 m para las geo mallas de polietileno.

En el desarrollo de la presente investigación se trabajó con las siguientes geo mallas FIBERGLASS GRID FV 137, FORTGRID ASPHALT 160. 3.80 m y FIBERGLASS GRID FV 101, las cuales se caracterizan por ser geo mallas de alta resistencia ideal para vías de tráfico NT3.

Estas Geo mallas presentan propiedades mecánicas y físicas exclusivas las cuales se relacionan a continuación:

Las Geo mallas utilizadas para el presente estudio son **FIBERGLASS GRID** y **FORTGRID ASPHALT**, las cuales se describen a continuación:

FIBERGLASS GRID:

FIBERGLASS GRID son geo mallas biaxiales de fibra de vidrio, diseñadas para reforzar y controlar el reflejo de agrietamientos en capas de concreto asfáltico. Cuentan con un revestimiento bituminoso que las hace compatibles con el asfalto y facilitan su adherencia. El tamaño de sus aberturas permite una adecuada interacción con el agregado que compone la mezcla y el contacto directo entre las superficies involucradas.

Las propiedades físicas y mecánicas de estas geo mallas se describen a continuación:

PROPIEDADES MECÁNICAS		NORMA DE ENSAYO	UNIDAD	DATOS MARV	
				FV 101	FV 137
Factor de eficiencia para control de reflejo de agrietamiento GEF TM		AASHTO T321		1,01	1,37
Propiedades de retracción @200 C después de 15 minutos		Medido	%	<0,5	
PROPIEDADES FÍSICAS					
Material		Fibra de vidrio			
Resistencia a altas temperaturas (punto de ablandamiento)		ASTM D 276	°C	>650 fibra >218 recubrimiento	
Tamaño de abertura	MD TD TM	Medido	mm	20 22	18 14
Porcentaje de área abierta		Medido	%	67	40
PRESENTACIÓN ROLLO					
Ancho TM		Medido	m	3,9	
Largo		Medido	m	50	
Área		Medido	m ²	195	

Tabla 5. Propiedades Físicas y Mecánicas. **Fuente.** Geomatrix S.A.

Las geo mallas FIBERGLASS GRID se caracterizan por:

- Resisten las altas temperaturas.
- No afectan la reciclabilidad del concreto asfáltico
- Ofrecen facilidad de instalación
- Aportan refuerzo a la tensión en la capa asfáltica
- A través de sus aberturas permiten el contacto directo entre las capas asfálticas involucradas
- Constituyen un refuerzo que controla el envejecimiento de las capas asfálticas y evitan el reflejo de agrietamientos.

FORTGRID ASPHALT: Es una geomalla utilizada en ingeniería para refuerzo de carpetas asfálticas y control del reflejo de discontinuidades existentes. Son geo mallas elaboradas con el exclusivo Multifilamento G5, hecho de poliéster de alta tenacidad PET, que presenta característicamente alta resistencia a la tensión, resisten las altas temperaturas (punto de ablandamiento > 240 °) y baja deformación plástica. Las correas o ribs de las geo mallas se recubren con un material bituminoso, que las hace compatibles con el asfalto e incrementa su adherencia. Las geomallas FORTGRID® ASPHALT se caracterizan por:

- Presentan una alta vida de fatiga por carga cíclica tanto en tensión como en corte
- Presentan una alta relación resistencia a la tensión – deformación (alto módulo mecánico)
- Sus fibras e intersecciones admiten la presión del agregado sin deteriorarse y son suficientemente fuertes y estables para permitir la penetración de las partículas a través de sus aberturas.
- Resisten las altas temperaturas. (Punto de ablandamiento superior a 240o C)
- Tienen afinidad con el asfalto.
- Por su estructura presentan baja susceptibilidad al daño por instalación.
- No alteran la reciclabilidad del concreto asfáltico
- Pueden utilizarse con mezclas asfálticas en caliente o frío

Estas geo mallas son utilizadas como refuerzo de carpetas asfálticas dado que:

- Absorben y distribuyen los esfuerzos de tensión que ocurren en el plano inferior de la carpeta asfáltica
- Aumentan la capacidad de soportar cargas dinámicas y el comportamiento a la fatiga

- Retardan la aparición de grietas asociadas al reflejo de discontinuidades en la superficie de pavimento existente, o de los provenientes del agrietamiento natural de las bases granulares estabilizadas, manteniendo la condición de impermeabilidad por más tiempo
- Extienden los intervalos entre mantenimientos periódicos

7.2.5.1.Elaboración de las briquetas o cuerpos de prueba

Procedimiento de elaboración de briquetas: El procedimiento utilizado para la realización de las briquetas fue el recomendado por laboratoristas de la universidad de Nariño y consistió en:

- Separación de agregados en recipientes separados por cada tamaño, del tamiz $\frac{3}{4}$ " hasta el No 200.
- De cada tamaño se toma una porción de agregados de acuerdo a los pesos retenidos y calculados en cada una de las tablas de acuerdo al porcentaje de asfalto que se vaya a utilizar para la fabricación de cada probeta.
- Posteriormente se procede a calentar los agregados a una temperatura de 173 °C (28°C por encima la temperatura de asfalto.)
- Se deposita los agregados en un recipiente de mezclado donde se mezclan en seco,
- Posteriormente se vierte la cantidad de asfalto óptimo de 5% y se realizó la mezcla hasta obtener una mezcla completa y homogénea.
- Aplicando la fórmula para calcular el porcentaje de cemento asfáltico, en la cual influyen variables como el peso del árido más peso del cemento asfalto que para el caso en particular es de 1200 kg, para un porcentaje óptimo de asfalto de 5% se

despejo el peso del cemento asfáltico con lo cual se tiene la cantidad de cemento a utilizar en cada formula a trabajar.

$$\% \text{ cemento asfáltico} = \frac{\text{peso cemento asfáltico}}{\text{peso árido} + \text{peso cemento asfáltico}}$$



Ilustración 13 . Calentamiento Material Pétreo y Mezcla asfáltica **Fuente:** Este Estudio

La mezcla se vierte en caliente en el molde y se aplica 75g golpes para posteriormente retirar el molde de la base y colocar papel filtrante invirtiéndolo de tal manera que la cara superficial se encuentre abajo. El collar del molde fue reemplazado y se fijó junto con la base en el pedestal aplicando el número de golpes igual que en la cara anterior.

Una vez realizada la compactación se removió la base y se colocó el molde sobre el extractor de muestra. Con el molde y el collar de extensión hacia arriba en la máquina de ensayo, se aplicó presión y se forzó el espécimen dentro del collar de extensión, levantando el collar del espécimen. Cuidadosamente transferiremos el espécimen a una superficie plana, dejándolo de pie para que repose 24 horas a temperatura ambiente, identificando las probetas con números.



Ilustración 14 Compactación Molde de compactación y Compactación de mezcla asfáltica Fuente Este Estudio



Ilustración 15 Elaboración y desmonte de briquetas Fuente este estudio.



Ilustración 16 Inserción de geosintetico en cuerpos de prueba. **Fuente.** Este Estudio.



Ilustración 17 Aplicación de riego de liga CRL-1. **Fuente.** Este Estudio

8. Resultados y Discusión.

8.1. Evaluación de la adherencia entre dos capas de mezcla asfáltica con geomalla y diferentes dosificaciones de riego de liga.

8.1.1. Presentación de resultados obtenidos.

Para evaluar la adherencia entre dos capas de mezcla asfáltica se realizó el ensayo de Leutner a cada uno de los especímenes fabricados a partir de una misma mezcla bituminosa y tres tipos de riego de liga. Las tasas de aplicación se escogieron teniendo en cuenta el requisito presente en la especificación INV Art. 421-13 que establece una dosificación de ligante residual mínimo de 250 g/m² a 350 g/m² con lo cual se escogió dicho valor junto con dos valores adicionales superiores de 350 y 550 g/m².

El ensayo Leutner se desarrolló en Alemania a finales de 1970 como un medio sencillo de llevar a cabo un test directo sobre el vínculo entre dos capas de asfalto. La prueba se realiza en 150 mm de diámetro de los núcleos que comprenden al menos dos capas tomadas ya sea de un pavimento o fabricado en el laboratorio (Ontiveros L.R (2013).

El principio de la prueba consiste en aplicar una velocidad de cizallamiento de desplazamiento constante a través de la interfaz de objeto de investigación y supervisar la fuerza de corte resultante. La fuerza normal se aplica a la muestra cilíndrica. Una velocidad de cizallamiento de desplazamiento estándar de 50 mm / min se utiliza el equipo Marshall y dispositivos de anillo de carga de carga pueden ser utilizados. (Figura No. 8). Cabe señalar que, aunque el Ensayo Leutner tiene la ventaja de la simplicidad (en comparación con las pruebas de cizallamiento tipo caja) también sufre de tensiones no uniformes de interfaz de cizallamiento.



Ilustración 18 Equipo utilizado para realizar el Ensayo de Leutner en el Laboratorio Integrado de Ingeniería Civil.

Laboratorio Tec Ingeniería SAS Fuente. Este Estudio.

Para llevar a cabo el ensayo de Leutner, en la presente investigación se fabricaron los siguientes especímenes:

- **Muestra 1** (250 gr/m²) de asfalto residual (3 especímenes)
- **Muestra 2** (350 gr/m²) de asfalto residual (3 especímenes)
- **Muestra 3** (550 gr/m²) de asfalto residual (3 especímenes)

- **Briqueta 1** (250 gr/m²) de asfalto residual con geomalla 1 (Fiberglass Grid Fv 137) (3 especímenes).
- **Briqueta 2** (250 gr/m²) de asfalto residual con geomalla 2 (FORTGRID ASPHALT 160. 3.80 M) (3 especímenes)

- **Briqueta 3** (250 gr/m²) de asfalto residual con fibra de vidrio (Fiberglass Grid FV 101), (3 especímenes)
- **Briqueta 1** (350 gr/m²) de asfalto residual con geomalla 1 (Fiberglass Grid Fv 137) (3 especímenes).
- **Briqueta 2** (350 gr/m²) de asfalto residual con geomalla 2 (Fortgrid Asphalt 160. 3.80 m) (3 especímenes)
- **Briqueta 3** (350 gr/m²) de asfalto residual con fibra de vidrio (Fiberglass Grid FV 101), (3 especímenes)
- **Briqueta 1** (550 gr/m²) de asfalto residual con geomalla 1 (Fiberglass Grid Fv 137) (3 especímenes).
- **Briqueta 2** (550 gr/m²) de asfalto residual con geomalla 2 (Fortgrid Asphalt 160. 3.80 m) (3 especímenes)
- **Briqueta 3** (550 gr/m²) de asfalto residual con fibra de vidrio (Fiberglass Grid FV 101), (3 especímenes)



Ilustración 19 Montaje de cuerpo de prueba con dosificación de 250 gr/m² de Asfalto residual para realizar el ensayo de Leutner. . Fuente. Este Estudio.



Ilustración 20 Montaje de cuerpo de prueba con dosificación de 350 gr/m² de Asfalto residual para realizar el ensayo de Leutner Fuente. Este Estudio.



Ilustración 21 Montaje de cuerpo de prueba con dosificación de 550 gr/m² de Asfalto residual para realizar el ensayo de Leutner Fuente. Este Estudio.

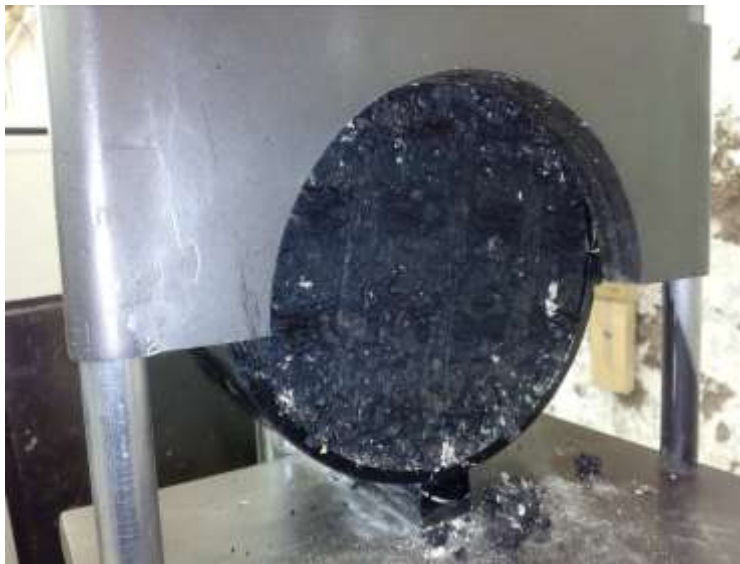


Ilustración 22 . Fallamiento de cuerpos de prueba con Ensayo de Leutner, se puede observar geosintético Fuente. Este Estudio.



Ilustración 23 Fallamiento de cuerpos de prueba con Ensayo de Leutner, se puede observar geosintético **Fuente.** Este Estudio.



Ilustración 24 Fallamiento de cuerpos de prueba con Ensayo de Leutner, se puede observar geosintético - fiberglass grid *fy 137* **Fuente.** Este Estudio.



*Ilustración 25 . Fallamiento de cuerpos de prueba con Ensayo de Leutner, se puede observar cizallamiento **Fuente.** Este Estudio.*



*Ilustración 26 Fallamiento de cuerpos de prueba con Ensayo de Leutner, se puede observar geosintético - Fortgrid asphalt 160 **Fuente** Este Estudio.*



Ilustración 27 Fallamiento de cuerpos de prueba con Ensayo de Leutner, se puede observar geosintético – fiberglass grid
fv 101 **Fuente.** Este Estudio.

8.1.1.1 Fuerza Cortante de Rotura (KN)

Como ya se mencionó anteriormente, se realizaron 36 briquetas o cuerpos de prueba con los cuales se procedió a realizar cálculos para determinar la fuerza cortante de rotura y la resistencia al esfuerzo cortante. La fuerza cortante de rotura (FCR) se calculó como la mitad de la máxima carga ejercida por el pistón de la prensa sobre el dispositivo durante el ensayo. Las Tablas desde la 8 hasta la 19 muestran los resultados individuales obtenidos para cada cuerpo de prueba.

Ensayos con 250 gr/m² de asfalto residual.

	Espécimen	La fuerza cortante de rotura (FCR) (KN)	Deformación Unitaria (%)
Muestra 1 250 gr/m² de asfalto residual	1.	10.29	4.40
	2	11.37	3.39
	3	10.24	4.06

Tabla 6. Resultados de adherencia para cuerpos de prueba de 250 gr/m² de asfalto residual sin geo sintéticos. **Fuente.**

	Espécimen	La fuerza cortante de rotura (FCR) (KN)	Deformación Unitaria (%)
Briqueta 1 250 gr/m2 de asfalto residual con geomalla 1 con Fiberglass Grid Fv 137	1.	11.24	3.39
	2	11.69	3.73
	3	11.92	3.30

Tabla 7. Resultados de adherencia para cuerpos de prueba de 250 gr/m2 de asfalto residual con geo sintéticos Fiberglass

Grid Fv 137 . **Fuente.** Este Estudio

	Espécimen	La fuerza cortante de rotura (FCR) (KN)	Deformación Unitaria (%)
Briqueta 2 250 gr/m2 de asfalto residual con geomalla 2 con FORTGRID ASPHALT 160	1.	12.68	7.20
	2	12.82	6.18

Tabla 8. Resultados de adherencia para cuerpos de prueba de 250 gr/m2 de asfalto residual con geo sintéticos Fortgrid

Asphalt 160 **Fuente.** Este Estudio

	3	12.55	3.30
	Espécimen	La fuerza cortante de rotura (FCR) (KN)	Deformación Unitaria (%)
Briqueta 3 250 gr/m2 de asfalto residual con fibra de vidrio - Fiberglass Grid FV 101	1.	10.29	3.81
	2	13.27	4.06
	3	12.55	4.06

Tabla 9. Resultados de adherencia para cuerpos de prueba de 250 gr/m2 de asfalto residual con geo sintéticos Fiberglass

Grid Fv 101 . **Fuente.** Este Estudio

Ensayos con 350 gr/m2 de asfalto residual

	Espécimen	La fuerza cortante de rotura (FCR) (KN)	Deformación Unitaria (%)
Testigo 2 350 gr/m2 de asfalto residual	1.	12.10	4.06
	2	12.14	4.06
	3	12.95	4.74

Tabla 10. Resultados de adherencia para cuerpos de prueba de 350 gr/m2 de asfalto residual sin geo sintéticos. **Fuente.**

Este Estudio

	Espécimen	La fuerza cortante de rotura (FCR) (KN)	Deformación Unitaria (%)
Briqueta 1 350 gr/m2 de asfalto residual con geomalla 1 con Fiberglass Grid Fv 137	1.	12.91	5.50
	2	12.91	5.50
	3	11.28	4.74

Tabla 11. Resultados de adherencia para cuerpos de prueba de 350 gr/m2 de asfalto residual con geo sintéticos Fiberglass

Grid Fv 137 . **Fuente.** Este Estudio

	Espécimen	La fuerza cortante de rotura (FCR) (KN)	Deformación Unitaria (%)
Briqueta 2 350 gr/m2 de asfalto residual con geomalla 1 con FORTGRID ASPHALT 160	1.	14.90	8.21
	2	14.49	7.45
	3	14.13	3.30

Tabla 12. Resultados de adherencia para cuerpos de prueba de 350 gr/m2 de asfalto residual con geo sintéticos Fortgrid

Asphalt 160 **Fuente.** Este Estudio

	Espécimen	La fuerza cortante de rotura (FCR) (KN)	Deformación Unitaria (%)
Briqueta 3 350 gr/m2 de asfalto residual con fibra de vidrio - Fiberglass Grid FV 101	1.	12.46	6.43
	2	12.91	7.11
	3	12.73	6.77

Tabla 13. Resultados de adherencia para cuerpos de prueba de 350 gr/m2 de asfalto residual con geo sintéticos Fiberglass

Grid Fv 101 . **Fuente.** Este Estudio

Ensayos con 550 gr/m2 de asfalto residual

	Espécimen	La fuerza cortante de rotura (FCR) (KN)	Deformación Unitaria (%)
Testigo 3 550 gr/m2 de asfalto residual	1.	11.73	7.79
	2	11.60	7.79
	3	11.78	6.77

Tabla 14. Resultados de adherencia para cuerpos de prueba de 550 gr/m2 de asfalto residual sin geo sintéticos. **Fuente.**

Este Estudio

	Espécimen	La fuerza cortante de rotura (FCR) (KN)	Deformación Unitaria (%)
Briqueta 1 550 gr/m2 de asfalto residual con geomalla 1 con Fiberglass Grid Fv 137	1.	11.19	6.77
	2	11.51	6.10
	3	11.78	8.55

Tabla 15. Resultados de adherencia para cuerpos de prueba de 550 gr/m2 de asfalto residual con geo sintéticos Fiberglass

Grid Fv 137 . **Fuente.** Este Estudio

	Espécimen	La fuerza cortante de rotura (FCR) (KN)	Deformación Unitaria (%)
Briqueta 2 550 gr/m2 de asfalto residual con geomalla 1 con FORTGRID ASPHALT 160	1.	13.27	7.11
	2	11.06	9.14
	3	11.83	7.79

Tabla 16. Resultados de adherencia para cuerpos de prueba de 550 gr/m2 de asfalto residual con geo sintéticos Fortgrid Asphalt 160 **Fuente.** Este Estudio

	Espécimen	La fuerza cortante de rotura (FCR) (KN)	Deformación Unitaria (%)
Briqueta 3 550 gr/m2 de asfalto residual con fibra de vidrio - Fiberglass Grid FV 101	1.	11.69	7.45
	2	11.78	6.10
	3	11.42	4.06

Tabla 17. Resultados de adherencia para cuerpos de prueba de 550 gr/m2 de asfalto residual con geo sintéticos Fiberglass Grid Fv 101 . **Fuente.** Este Estudio

Con el fin de determinar el comportamiento de la FCR se consolidaron los resultados por cada combinación y se obtuvieron los promedios para todas las briquetas. A continuación, se presentan los resultados obtenidos:

FUERZA CORTANTE DE ROTURA (KN)			
Asfalto Residual (gr/m2)	250	350	550
FCR (KN)	10,29	12,10	11,73
	11,37	12,14	11,60
	10,24	12,95	11,78
PROMEDIO	10,64	12,40	11,70

Tabla 18. Resultados de adherencia para cuerpos de prueba de 250, 350 y 550 gr/m2 de asfalto residual sin geosintéticos. **Fuente.** Este Estudio

FUERZA CORTANTE DE ROTURA (KN) CON FIBERGLASS GRID FV 137			
Asfalto Residual (gr/m2)	250	350	550
FCR (KN)	11,24	12,91	11,19
	11,69	12,91	11,51
	11,92	11,28	11,78
PROMEDIO	11,61	12,37	11,49

Tabla 19. Resultados de adherencia para cuerpos de prueba de 250, 350 y 550 gr/m2 de asfalto residual con geosintético Fiberglass Grid FV 137. **Fuente.** Este Estudio

FUERZA CORTANTE DE ROTURA (KN) CON FORTGRID ASPHALT 160			
Asfalto Residual (gr/m2)	250	350	550
FCR (KN)	12,68	14,90	13,27
	12,82	14,49	11,06
	12,55	14,13	11,83
PROMEDIO	12,68	14,51	12,05

Tabla 20. Resultados de adherencia para cuerpos de prueba de 250, 350 y 550 gr/m2 de asfalto residual con geosintético Fortgrid Asphalt 160. **Fuente.** Este Estudio

FUERZA CORTANTE DE ROTURA (KN) CON FIBERGLASS GRID FV 101			
Asfalto Residual (gr/m2)	250	350	550
FCR (KN)	10,29	12,46	11,69
	13,27	12,91	11,78
	12,55	12,73	11,42
PROMEDIO	12,04	12,70	11,63

Tabla 21. Resultados de adherencia para cuerpos de prueba de 250, 350 y 550 gr/m2 de asfalto residual con geosintético Fiberglass Grid FV 101 **Fuente.** Este Estudio

Para una mayor comprensión de los resultados obtenidos se grafican a continuación teniendo en cuenta los promedios de cada combinación:

FUERZA CORTANTE DE ROTURA (KN)			
Asfalto Residual (gr/m2)	250	350	550
SIN GEOSINTETICO	10,64	12,40	11,70
CON FIBERGLASS GRID FV 137	11,61	12,37	11,49
CON FORTGRID ASPHALT 160	12,68	14,51	12,05
CON FIBERGLASS GRID FV 101	12,04	12,70	11,63

Tabla 22. Consolidado de resultados de adherencia para cuerpos de prueba de 250, 350 y 550 gr/m2 de asfalto residual con y sin geo sintético **Fuente.** Este Estudio

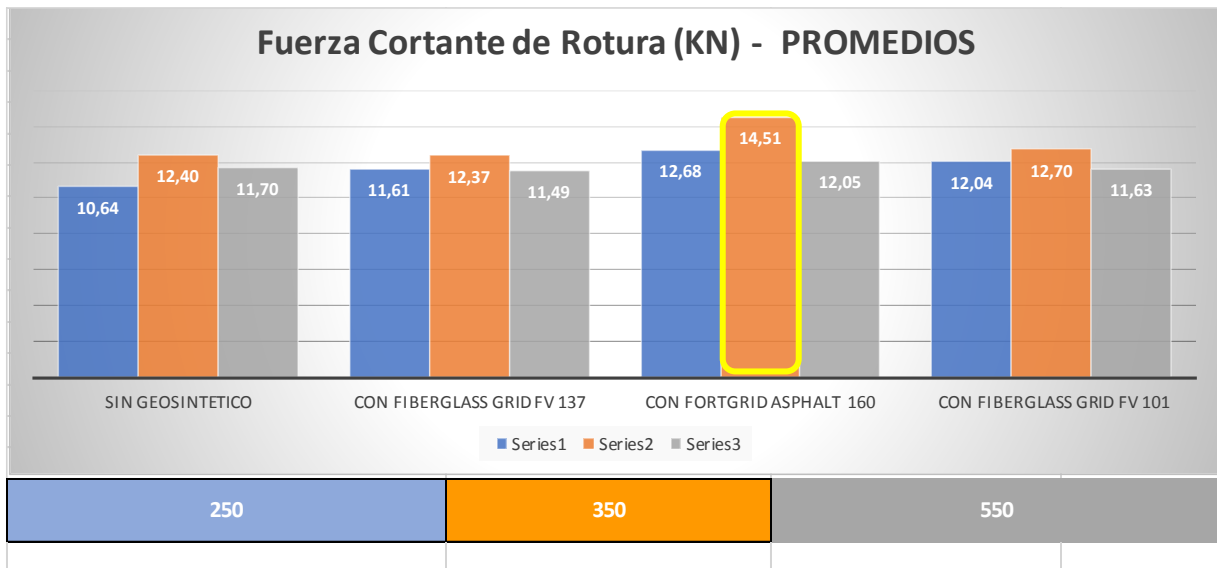


Ilustración 28 Resultados consolidados de fuerza cortante según dosificación de asfalto residual y tres tipos de geo malla. **Fuente.** Este Estudio.

De los resultados anteriormente relacionados se puede observar que la cortadura o cizalladura, la cual se considera como el esfuerzo que soporta el cuerpo de prueba al aplicar una determinada carga, se presentó las mayores cargas sobre las briquetas construidas con 350 gr/m2 de asfalto; y, en este grupo fueron las briquetas construidas con de geomalla Fortgrid Asphalt 160, las que alcanzaron los mayores valores de FCR con un valor de 14.51 KN .

Lo anterior, indica que la dosificación de 350 gr/m² de asfalto residual es considerada como la dosificación óptima ya que permite unir la mezcla asfáltica (5% contenido óptimo de asfalto) con la geomalla Fortgrid Asphalt 160 incrementando la adherencia y el Módulo de reacción, haciendo que la carpeta asfáltica reforzada con geosintético trabaje como una capa durante su periodo de servicio.

8.1.1.2 Resistencia al esfuerzo Cortante (Mpa).

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el cálculo de fuerza cortante de rotura (FCR), se procede a determinar la resistencia al esfuerzo cortante que se genera de manera exacta en la unión, para lo cual se aplicó la siguiente ecuación:

$$REC = FCR/S$$

Donde,

- REC = Resistencia al esfuerzo cortante
- FCR = Fuerza cortante de rotura
- S = Área de la sección transversal

Teniendo en cuenta el área de la sección transversal de las briquetas que corresponde a 0.375 metros y los resultados FCR, se obtuvo la resistencia al esfuerzo cortante que se produce en cada caso. Los resultados se muestran en las Tablas desde la 25 hasta la 29.

RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE			
Asfalto Residual (gr/m2)	250	350	550
REC (Mpa)	0,027	0,032	0,031
	0,030	0,032	0,031
	0,027	0,035	0,031
PROMEDIO	0,028	0,033	0,031

Tabla 23. Resultados de resistencia al esfuerzo cortante para cuerpos de prueba de 250, 350 y 550 gr/m2 de asfalto residual sin geosintéticos. **Fuente.** Este Estudio

RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE CON FIBERGLASS GRID FV 137			
Asfalto Residual (gr/m2)	250	350	550
REC (Mpa)	0,030	0,034	0,030
	0,031	0,034	0,031
	0,032	0,030	0,031
PROMEDIO	0,031	0,033	0,031

Tabla 24 Resultados de resistencia al esfuerzo cortante para cuerpos de prueba de 250, 350 y 550 gr/m2 de asfalto residual con geosintético Fiberglass Grid FV 137. **Fuente.** Este Estudio

RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE CON FORTGRID ASPHALT 160			
Asfalto Residual (gr/m2)	250	350	550
REC (Mpa)	0,034	0,040	0,035
	0,034	0,039	0,029
	0,033	0,038	0,032
PROMEDIO	0,034	0,039	0,032

Tabla 25. Resultados de resistencia al esfuerzo cortante para cuerpos de prueba de 250, 350 y 550 gr/m2 de asfalto residual con geosintético Fortgrid Asphalt 160. **Fuente.** Este Estudio

RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE CON FIBERGLASS GRID FV 101			
Asfalto Residual (gr/m2)	250	350	550
REC (Mpa)	0,027	0,033	0,031
	0,035	0,034	0,031
	0,033	0,034	0,030
PROMEDIO	0,032	0,034	0,031

Tabla 26. Resultados de resistencia al esfuerzo cortante para cuerpos de prueba de 250, 350 y 550 gr/m2 de asfalto residual con geosintético Fiberglass Grid FV 101 **Fuente.** Este Estudio

Para una mayor comprensión de los resultados obtenidos se grafican a continuación teniendo en cuenta los promedios de cada combinación:

RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE (Mpa)			
Asfalto Residual (gr/m2)	250	350	550
SIN GEOSINTETICO	0,028	0,038	0,031
CON FIBERGLASS GRID FV 137	0,031	0,033	0,031
CON FORTGRID ASPHALT 160	0,034	0,039	0,032
CON FIBERGLASS GRID FV 101	0,032	0,034	0,031

Tabla 27. Consolidado de resultados de resistencia al esfuerzo cortante para cuerpos de prueba de 250, 350 y 550 gr/m2 de asfalto residual con y sin geo sintético **Fuente.** Este Estudio

Los resultados obtenidos permiten evidenciar que la dosificación de asfalto residual de 350 gr/m2 con presencia de geomalla FortGrid Asphalt 160, presentan la mayor resistencia al esfuerzo cortante o sea que la geomalla FortGrid Asphalt 160, genera un efecto positivo sobre la superficie de adherencia en la unión de los dos contenidos de asfalto residual.

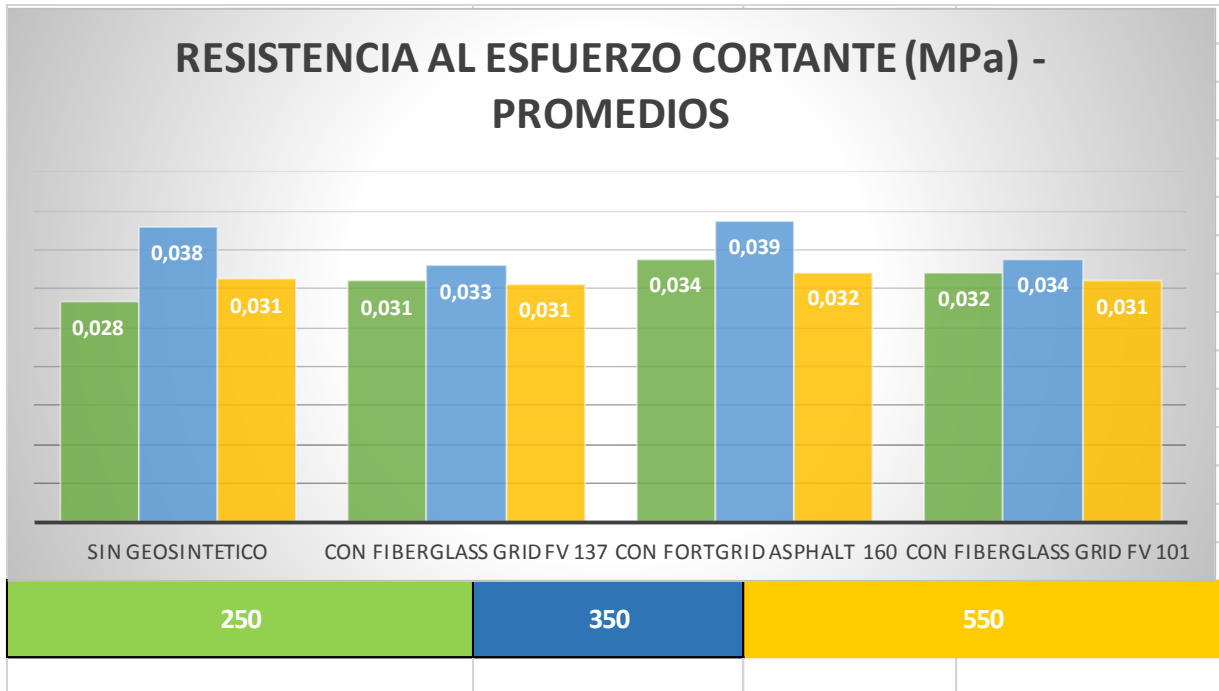


Ilustración 29 . Resultados consolidados de Resistencia al Esfuerzo cortante según dosificación de asfalto residual y tres tipos de geomalla **Fuente**. Este Estudio.

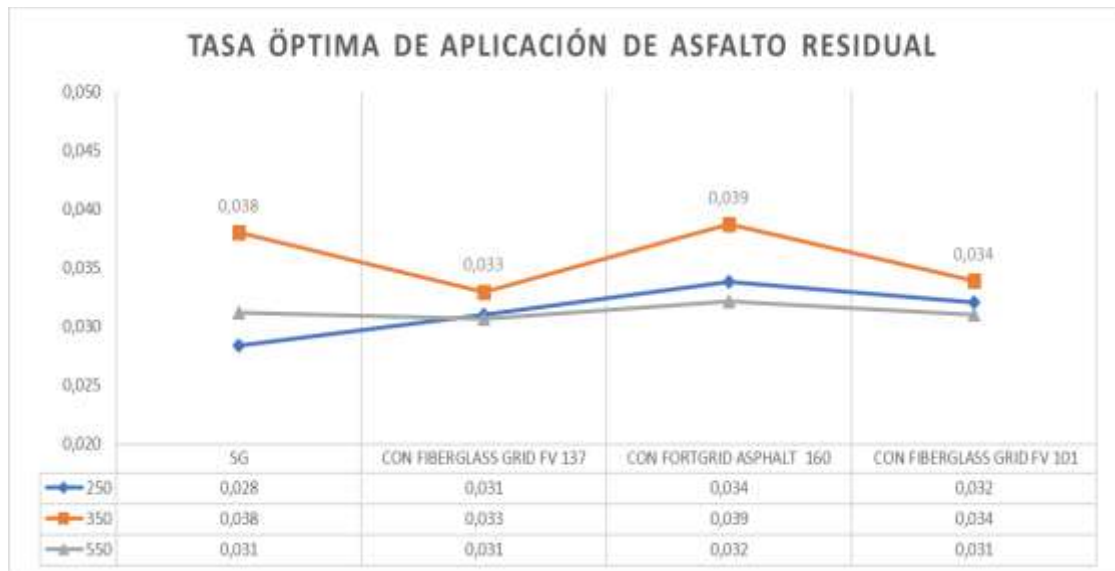


Ilustración 30 Tasa óptima de aplicación de asfalto residual **Fuente**. Este Estudio.

9. Conclusiones

- El desarrollo del presente trabajo de grado se enfocó a determinar, mediante trabajo de investigación en laboratorio, la incidencia que tienen los geos sintéticos en la adherencia en las mezclas asfáltica con la aplicación de riego de liga optimo, y tres tipos de geosinteticos.
- Para determinar la adherencia en las mezclas asfálticas fue necesario procesar toda la información obtenida en laboratorio y calcular el esfuerzo cortante y la resistencia al esfuerzo cortante para cada uno de los cuerpos de prueba fabricados.
- El material utilizado para realizar el ensayo Marshall y la posterior elaboración de las briquetas es proveniente de la cantera AGRESUR, ribera del río Téllez en el municipio de Funes, la cual se consolida como la más grande en el Departamento de Nariño. Las características físico mecánicas de los materiales provenientes de la cantera Agresur, son de alta calidad y cumplen con los parámetros exigidos técnicamente y acorde a las especificaciones técnicas de construcción de carreteras INVIAS 2013, los cuales permitieron trabajar con un porcentaje óptimo de asfalto para una mezcla con asfalto normal de 5.0 %.
- El asfalto utilizado en la presente investigación fue adquirido en la planta de asfalto de Barrancabermeja - Santander, para tráfico alto – NT3 y una penetración de 60- 70 según lo establece las especificaciones técnicas de construcción de carreteras. Se utilizó la emulsión asfáltica convencional CRL-1 y su aplicación se realizó como dosificación única.

- Los geo sintéticos utilizados en el presente estudio fueron adquiridas en la empresa Geomatrix S:A, la cual se especializa en el desarrollo, producción y comercialización de geosintéticos de alto desempeño para aplicaciones en proyectos de infraestructura. Los geo sintéticos utilizados fueron Fiberglass Grid FV 137, Fortgrid Asphall 160 y Fiberglass Grid FV 101 que son geomallas biaxiales de fibra de vidrio, diseñadas para reforzar y controlar el reflejo de agrietamientos en capas de concreto asfáltico, impregnadas con una solución bituminosa que las hace compatibles con el asfalto y facilitan su adherencia a las capas asfálticas; el tamaño de sus aberturas permite una alta interacción con el agregado que compone la mezcla y el contacto directo entre las superficies involucradas.
- Se realizaron en total 36 briquetas o cuerpos de prueba para determinar los parámetros de esfuerzo cortante y resistencia al esfuerzo cortante con y sin la aplicación de geo sintéticos en tres dosificaciones de asfalto residual. La tasa de aplicación de asfalto residual genera un importante efecto sobre la resistencia al esfuerzo cortante que desarrolla la interface adherida de las capas asfálticas. Teniendo en cuenta lo establecido en la especificación INVIAS Art, 421-13, se determinó utilizar una dosificación de asfalto residual mínimo de 250 g/m² a 350 g/m² junto con un valor adicional superior de 550 g/m²
- Los resultados obtenidos en los parámetros de fuerza cortante de rotura (FCR) y Resistencia a la Fuerza Cortante (RFC), sobre los cuerpos de prueba con y sin geo sintético permiten concluir que la aplicación de geo sintéticos favorece la adherencia y el módulo de reacción sobre los cuerpos de prueba. Lo anterior, teniendo en cuenta que los resultados de FCR y RFC más bajos están sobre los cuerpos de prueba de 250

gr/m², 350 gr/m² y 550 gr/m² sin adición de geo sintético. Por el contrario, los cuerpos de prueba de 350 gr/m² con adición de los tres geo sintéticos utilizados presentaron los mayores valores de FCR y RFC .

- Al procesar los datos obtenidos, tras la realización del ensayo de Leutner, se puede observar que el rango de dosificación óptimo de asfalto residual es de 350 gr/ m² ya que al aplicar esta dosificación con la adición de geo sintético se puede observar que esta dosificación resistió las mayores cargas.
- Los resultados obtenidos por los cuerpos de prueba a los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante permiten evidenciar que la dosificación de asfalto residual de 350 gr/m² con presencia de geomalla FortGrid Asphalt 160, presentan la mayor resistencia al esfuerzo cortante o sea que la geomalla FortGrid Asphalt 160, genera un efecto positivo sobre la superficie de adherencia en la unión de los dos contenidos de asfalto residual incrementando la adherencia y el Módulo de reacción, haciendo que la carpeta asfáltica reforzada con geosintético trabaje como una capa durante su periodo de servicio.

10. Recomendaciones

- Teniendo en cuenta los resultados alcanzados en la presente investigación se puede recomendar a los profesionales de la Ingeniería Civil y especialistas en pavimentos y vías, el uso de geomallas para garantizar una mayor adherencia entre capas de asfalto con unas características físico mecánicas aceptables.
- Importante sería dar continuidad a estas investigaciones evaluando el comportamiento de otro tipo de dosificaciones de asfalto residual y con otros geosintéticos a fin de determinar el comportamiento de estos materiales a la resistencia al corte.
- En el mismo contexto se recomienda estudiar otro tipo de mezclas de asfalto ya sean semidensas y gruesas y de alto modulo ya que los resultados expuestos en la presente investigación se ven influenciados por la calidad de materiales exclusivos para mezclas densas en caliente MDC – 19.
- Se recomienda complementar esta investigación mediante la comparación de los resultados con tramos de prueba en campo con el fin de conocer el comportamiento real del pavimento tras la aplicación de los ejes equivalentes respectivos dependiendo del tipo de vía con el fin de poder evaluar de manera más real el comportamiento de la adherencia geo sintético – mezcla asfáltica.

11. Bibliografía

1. CÁRDENAS CUENTAS, J. R., HALLASI, P., & ALFREDO, C. (2015). CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE GEOTEXILES DE POLIPROPILENO NO TEJIDO MEDIANTE ENSAYOS DE TRACCIÓN Y ELONGACIÓN NORMALIZADOS EN UNA MAQUINA UNIVERSAL PARA POLÍMEROS.
2. Ricci, L. A. (2011). *Evaluación de la Adherencia entre Capas Asfálticas con Intercapa de Geosintético*. Tesis de Maestría, La Plata.
3. Walter, T. S., & Edson, T. C. (2012). Comportamiento del pavimento flexible con el uso de geomalla en el distrito de Ircay km 0+ 010 camino a Ocopa Departamento de Huancavelica.
4. Gavilanes Dávila, N. E. (2012). *Diseño de la estructura del pavimento con reforzamiento de geosintéticos aplicado a un tramo de la carretera Zumbahua-La Maná* (Bachelor's thesis, Pontificia Universidad Católica del Ecuador).
5. Mejía Flores, I. L. E., & Caro Spinel, M. (2005). Factores que determinan el uso de geosintéticos en proyectos de pavimentación en Colombia. *E-mail Educativo; Vol. 1 (2005): TECNOLOGÍA Y PROCESOS DE ENSEÑANZA APRENDIZAJE 0123-4897*.
6. de Mexichem, G. P. (2009). Manual de Diseño con Geosintéticos. *Departamento de Ingeniería*.


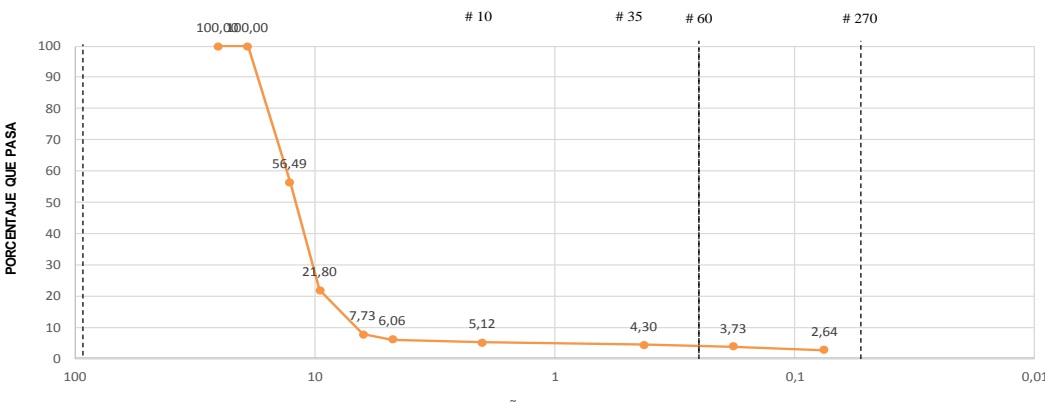
7. Ontiveros L.R (2013). Evaluación de la adherencia entre capas de pavimento empleando diferentes emulsiones asfálticas. Tesis Universidad Nacional Autónoma de México.
8. Fernández, V. G., Barrios-Padura, Á., & Molina-Huelva, M. (2017). Aplicaciones de las técnicas no destructivas Pull-Off y ultrasonidos en el control de calidad del refuerzo con materiales compuestos en estructuras de concreto. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*,
9. Villagrán, S. E. VII. Sistemas de captación y uso integral del agua. *Autogestión productiva y sustentabilidad agraria*.

12. ANEXOS


ANEXO No. 1

Resultados de Laboratorio Agregado Grueso.


Granulometría

	UNIVERSIDAD DE NARIÑO					1.CODIGO
	SECCION DE LABORATORIOS					2.PAGINA
	ENSAYO DE GRANULOMETRIA					3.VERSIÓN
	INV E-213					4.VIGENTE A PARTIR DE:
OBRA	TRABAJO DE GRADO UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA				MUESTRA No	1
DESCRIPCIÓN:	AGREGADO GRUESO				FUENTE	CANTERA AGRESUR LTDA
SOLICITANTE	JENNY TELLEZ SALAS - NATALIA SERNA					
GRADACIÓN						
Peso inicial	36452		Peso lavado	35527		
Tamiz	Tamiz mm	Peso Retenido	% Retenido	% Ret Acum	% Pasa	
1	25,4	0,00	0,00	0,00	100,00	
3/4	19,05	0,00	0,00	0,00	100,00	
1/2	12,7	15860,00	43,51	43,51	56,49	
3/8	9,525	12647,00	34,69	78,20	21,80	
1/4	6,3	5128,00	14,07	92,27	7,73	
4	4,75	608,00	1,67	93,94	6,06	
10	2	344,00	0,94	94,88	5,12	
40	0,425	296,00	0,81	95,70	4,30	
80	0,18	211,00	0,58	96,27	3,73	
200	0,075	394,00	1,08	97,36	2,64	
P-200		964,0	2,64	100,00	0,00	
						$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} = 1,5522388$
						$Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \cdot D_{60}} = 1,4639782$
TAMICES						
						
OBSERVACIONES:						
8. DATOS DE ELABORACIÓN						
25.1. ELABORADO POR:		25.1. REVISADO POR:		25.2. APROBADO POR:		
CARGO: Técnico Laboratorio de Suelos		CARGO: Técnico Laboratorio de Suelos		CARGO: Director de Dependencia		
NOMBRE:		NOMBRE:		NOMBRE:		
FIRMA:		FIRMA:		FIRMA:		


Desgaste en la máquina de los Ángeles

		UNIVERSIDAD DE NARIÑO				1.CODIGO		
		SECCIÓN DE LABORATORIOS				2.PAGINA		
		DESGASTE EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES				3.VERSIÓN		
		INV E-218 Y INV E-219				4.VIGENTE APARTIR DE		
OBRA	TRABAJO DE GRADO UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA				MUESTRA:	1		
DESCRIPCIÓN:	AGREGADO GRUESO							
SOLICITANTE	JENNY TELLEZ SALAS - NATALIA SERNA				FUENTE	CANTERA AGRESUR LTDA		
ENSAYO No								
Gradación utilizada			B					
No de revoluciones			500					
Peso de la muestra inicial (gr)	Pi	5000	5000					
Peso de la muestra después (gr)	Pf	3930	4130					
% Desgaste =	$\{(Pi - Pf) / Pi\} * 100$		21,40		17,4			
Coeficiente de uniformidad			1,55					
Observaciones	Muestra del material traída al laboratorio por el interesado.							
Datos sobre Gradación, carga abrasiva y Revoluciones								
Tamiz		A	B	C	D	1	2	3
Pasa	Retenido	fracciones de agregado a pesar en gramos						
3	2 1/2					2500 ± 50		
2 1/2	2					2500 ± 50		
2	1 1/2					5000 ± 50	5000 ± 50	
1 1/2	1	1250 ± 25					5000 ± 25	5000 ± 25
1	3/4	1250 ± 25						5000 ± 25
3/4	1/2	1250 ± 25	2500 ± 10					
1/2	3/8	1250 ± 25	2500 ± 10					
3/8	1/4			2500 ± 10				
1/4	No 4			2500 ± 10				
No 4	No 8				5000 ± 10			
Peso total de muestra (gr)		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	10000 ± 100	10000 ± 75	10000 ± 50
No de esferas		12	11	8	6	12	12	
peso de esferas (gr)		5000 ± 25	4584 ± 25	3330 ± 20	2500 ± 15	5000 ± 25	5000 ± 25	5000 ± 25
No de Revoluciones		500	500	500	500	1000	1000	1000
8. DATOS DE ELABORACIÓN								
	25.1. ELABORADO POR:	25.1. REVISADO POR:			25.2. APROBADO POR:			
CARGO:	Técnico Laboratorio de Suelos	Técnico Laboratorio			Director de Dependencia			
NOMBRE:								
FIRMA:								


Desgaste en microdevall

	UNIVERSIDAD DE NARIÑO				1.CODIGO
	SECCIÓN DE LABORATORIOS				2.PAGINA
	DESGASTE EN MICRO-DEVAL				3.VERSIÓN
	INV E-238				4.VIGENTE APARTIR DE:
OBRA	TRABAJO DE GRADO UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA			MUESTRA:	1
DESCRIPCIÓN:	AGREGADO GRUESO				
SOLICITANTE	JENNY TELLEZ SALAS - NATALIA SERNA			FUENTE	CANTERA AGRESUR LTDA
Gradacion Tabla 1	Pasante Tamiz	Retenido Tamiz	Masa g		
	3/4"	5/8"	375,1		
	5/8"	1/2"	375,4		
	1/2"	3/8"	750,1	1500,6	
ENSAYO No					
Gradación utilizada		TABLA 1			
No de revoluciones		12000 ± 100			
Peso de la muestra inicial (gr)	Pi	1500,6			
Peso de la muestra después (gr)	Pf	1344,6			
% Desgaste =	$\{(Pi - Pf) / Pi\} * 100$		10,40		
Coefficiente de uniformidad					
Observaciones					
8. DATOS DE ELABORACIÓN					
	25.1. ELABORADO POR:	25.1. REVISADO POR:	25.2. APROBADO POR:		
CARGO:	Técnico Laboratorio de Suelos	Técnico Laboratorio	Director de Dependencia		
NOMBRE:					
FIRMA:					


Ensayo De Durabilidad Agregado Grueso con sulfato de sodio

	UNIVERSIDAD DE NARIÑO					1.CODIGO	
	SECCIÓN DE LABORATORIOS					2.PAGINA	
	ENSAYO DE DURABILIDAD AGREGADO GRUESO CON SULFATO DE SODIO					3.VERSIÓN	
	INV E - 220					4.VIGENTE APARTIR DE:	
OBRA	TRABAJO DE GRADO UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA					MUESTRA	1
DESCRIPCIÓN:	AGREGADO GRUESO					FUENTE	AGRESUR LTDA
SOLICITANTE	JENNY TELLEZ SALAS - NATALIA SERNA						
ANALISIS CUANTITATIVO							
Fracciones		Peso inicial	Peso final	% Perdida	Granulometria	% Perdida	
Pasa	Retenido	P1 (gr)	P2 (gr)	$\{(P1-P2)/P1\} * 100$	original	Corregida	
3/4"	1/2"	670	632,1	5,7	43,51	2,46	
1/2"	3/8"	330	286,7	13,1	34,69	4,55	
3/8"	No 4	300	274,4	8,5	15,74	1,34	
Perdida total corregida:					Σ	8,36	
ANALISIS CUALITATIVO							
Fracciones		No inicial de	Numero de particulas despues del ensayo				
Pasa	Retenido	particulas	Enteras	Partidas	Porosas	Foliadas	Agrietadas
2 1/2"	1 1/2"						
1 1/2"	3/4"						
Otras Fracciones				Si _____ No _____	Si _____ No _____	Si _____ No _____	Si _____ No _____
Solución Utilizada:				No de Ciclos			
Observaciones							
Fracciones a ensayar y cantidades a pesar en gramos							
Fracción No 1		Fracción No 2		Fracción No 3		Fracción No 4	
2 1/2" - 2"	3000 ± 300	1 1/2" - 1"	1000 ± 50	3/4" - 1/2"	670 ± 10	3/8" - No 4	300 ± 5
2" - 1 1/2"	2000 ± 200	1" - 3/4"	500 ± 30	1/2" - 3/8"	330 ± 5		
8. DATOS DE ELABORACIÓN							
	25.1. ELABORADO POR:		25.1. REVISADO POR:		25.2. APROBADO POR:		
CARGO:	Técnico Laboratorio de Suelos		Técnico Laboratorio de Suelos		Director de Dependencia		
NOMBRE:							
FIRMA:							


Ensayo De Durabilidad Agregado Grueso Con Sulfato De Magnesio

	UNIVERSIDAD DE NARIÑO						1.CODIGO	
	SECCIÓN DE LABORATORIOS						2.PAGINA	
	ENSAYO DE DURABILIDAD AGREGADO GRUESO CON SULFATO DE MAGNESIO						3.VERSIÓN	
	INV E - 220						4.VIGENTE APARTIR DE:	
OBRA	TRABAJO DE GRADO UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA						MUESTRA	1
DESCRIPCIÓN:	AGREGADO GRUESO						FUENTE	AGRESUR LTDA
SOLICITANTE	JENNY TELLEZ SALAS - NATALIA SERNA							
ANALISIS CUANTITATIVO								
Fracciones		Peso inicial	Peso final	% Perdida	Granulometria	% Perdida		
Pasa	Retenido	P1 (gr)	P2 (gr)	$\frac{(P1-P2)}{P1} \times 100$	original	Corregida		
3/4"	1/2"	672,5	656,1	2,4	43,51	1,06		
1/2"	3/8"	330	301,5	8,6	34,69	3,00		
3/8"	No 4	300	291,6	2,8	15,74	0,44		
Perdida total corregida:					Σ	4,50		
ANALISIS CUALITATIVO								
Fracciones		No inicial de	Numero de particulas despues del ensayo					
Pasa	Retenido	particulas	Enteras	Partidas	Porosas	Foliadas	Agrietadas	
2 1/2"	1 1/2"							
1 1/2"	3/4"							
Otras Fracciones				Si _____ No _____	Si _____ No _____	Si _____ No _____	Si _____ No _____	
Solución Utilizada:				No de Ciclos				
Observaciones								
Fracciones a ensayar y cantidades a pesar en gramos								
Fracción No 1		Fracción No 2		Fracción No 3		Fracción No 4		
2 1/2" - 2"	3000 ± 300	1 1/2" - 1"	1000 ± 50	3/4" - 1/2"	670 ± 10	3/8" - No 4	300 ± 5	
2" - 1 1/2"	2000 ± 200	1" - 3/4"	500 ± 30	1/2" - 3/8"	330 ± 5			
8. DATOS DE ELABORACIÓN								
	25.1. ELABORADO POR:		25.1. REVISADO POR:		25.2. APROBADO POR:			
CARGO:	Técnico Laboratorio de Suelos		Técnico Laboratorio de Suelos		Director de Dependencia			
NOMBRE:								
FIRMA:								


Ensayo De Caras Fracturadas

	UNIVERSIDAD DE NARIÑO				1.CODIGO																																														
	SECCIÓN DE LABORATORIOS				2.PAGINA																																														
	ENSAYO DE CARAS FRACTURADAS				3.VERSIÓN																																														
	INV E - 227/02				4.VIGENTE APARTIR DE:																																														
OBRA TRABAJO DE GRADO UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA MUESTRA N 1																																																			
DESCRIPCIÓN: AGREGADO GRUESO FUENTE AGRESUR LTDA																																																			
SOLICITANTE JENNY TELLEZ SALAS - NATALIA SERNA																																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" rowspan="2">TAMIZ</th> <th>PESO DE LA</th> <th>PESO MATERIAL</th> <th>PORCENT. CON</th> <th>PORCENT. RETENIDO</th> <th rowspan="2">CÁLCULO FINAL</th> </tr> <tr> <th>MUESTRA</th> <th>CON CARAS FRAC.</th> <th>CARAS FRACTUR.</th> <th>GRADAC. ORIGINAL</th> </tr> <tr> <th>PASA</th> <th>RETENIDO</th> <th>(Grs)</th> <th>(Grs)</th> <th>(B/A X 100)</th> <th>(%)</th> <th>(C X D)</th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> <th>D</th> <th>E</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3/4"</td> <td>1/2"</td> <td style="text-align: center;">1.200,0</td> <td style="text-align: center;">1.085,0</td> <td style="text-align: center;">90,4</td> <td style="text-align: center;">56,49</td> <td style="text-align: center;">5.107,7</td> </tr> <tr> <td>1/2"</td> <td>3/8"</td> <td style="text-align: center;">300,0</td> <td style="text-align: center;">253,0</td> <td style="text-align: center;">84,3</td> <td style="text-align: center;">21,80</td> <td style="text-align: center;">1.838,1</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">TOTAL</td> <td style="text-align: center;">1.500,0</td> <td style="text-align: center;">1.338,0</td> <td style="text-align: center;">174,8</td> <td style="text-align: center;">78,3</td> <td style="text-align: center;">6.945,8</td> </tr> </tbody> </table>						TAMIZ		PESO DE LA	PESO MATERIAL	PORCENT. CON	PORCENT. RETENIDO	CÁLCULO FINAL	MUESTRA	CON CARAS FRAC.	CARAS FRACTUR.	GRADAC. ORIGINAL	PASA	RETENIDO	(Grs)	(Grs)	(B/A X 100)	(%)	(C X D)			A	B	C	D	E	3/4"	1/2"	1.200,0	1.085,0	90,4	56,49	5.107,7	1/2"	3/8"	300,0	253,0	84,3	21,80	1.838,1	TOTAL		1.500,0	1.338,0	174,8	78,3	6.945,8
TAMIZ		PESO DE LA	PESO MATERIAL	PORCENT. CON	PORCENT. RETENIDO			CÁLCULO FINAL																																											
		MUESTRA	CON CARAS FRAC.	CARAS FRACTUR.	GRADAC. ORIGINAL																																														
PASA	RETENIDO	(Grs)	(Grs)	(B/A X 100)	(%)	(C X D)																																													
		A	B	C	D	E																																													
3/4"	1/2"	1.200,0	1.085,0	90,4	56,49	5.107,7																																													
1/2"	3/8"	300,0	253,0	84,3	21,80	1.838,1																																													
TOTAL		1.500,0	1.338,0	174,8	78,3	6.945,8																																													
<table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 40%;">PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS =</td> <td style="width: 20%; text-align: center;">TOTAL E</td> <td style="width: 40%; text-align: center;">88,7 %</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">TOTAL D</td> <td></td> </tr> </table>						PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS =	TOTAL E	88,7 %		TOTAL D																																									
PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS =	TOTAL E	88,7 %																																																	
	TOTAL D																																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="3" style="width: 30%;">ESPECIFICACIÓN</th> <th style="width: 30%;">BASE GRANULAR</th> <th style="width: 40%;">50% MÍNIMO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MEZCLA ASFÁLTICA</td> <td>75% MÍNIMO</td> </tr> <tr> <td>CONCRETO</td> <td>60% MÍNIMO</td> </tr> </tbody> </table>						ESPECIFICACIÓN	BASE GRANULAR	50% MÍNIMO	MEZCLA ASFÁLTICA	75% MÍNIMO	CONCRETO	60% MÍNIMO																																							
ESPECIFICACIÓN	BASE GRANULAR	50% MÍNIMO																																																	
	MEZCLA ASFÁLTICA	75% MÍNIMO																																																	
	CONCRETO	60% MÍNIMO																																																	
OBSERVACIONES: 																																																			
8. DATOS DE ELABORACIÓN																																																			
CARGO:	25.1. ELABORADO POR: Técnico Laboratorio de Suelos	25.1. REVISADO POR: Técnico Laboratorio de Suelos	25.2. APROBADO POR: Director de Dependencia																																																
NOMBRE:																																																			
FIRMA:																																																			


Índices De Alargamiento Y Aplanamiento De Agregados

	UNIVERSIDAD DE NARIÑO			1.CODIGO		
	SECCIÓN DE LABORATORIOS			2.PAGINA		
	INDICES DE ALARGAMIENTO Y APLANAMIENTO DE AGREGADOS			3.VERSIÓN		
	INV E-230 Y 240 (5:1)			4.VIGENTE A PARTIR DE:		
OBRA	TRABAJO DE GRADO UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA		MUESTRA No	1		
DESCRIPCIÓN:	AGREGADO GRUESO		FUENTE	AGRESUR LTDA		
SOLICITANTE	JENNY TELLEZ SALAS - NATALIA SERNA					
INDICE DE ALARGAMIENTO						
TAMAÑO DEL AGREGADO		PESO MUESTRA	PESO MATERIAL Part. Alargadas	PORCENTAJE Part. Alargadas	% RETENIDO Gradación Original	CÁLCULO FINAL
PASA TAMIZ	RET. TAMIZ	A (g)	B (g)	C= (B/Ax100)	D	E= (Cx D)
2"	1-1/2"	0	0	0,0	0,0	0,0
1-1/2"	1"	0	0,0	0,0	0,0	0,0
1"	3/4"	0	0,0	0,0	0,0	0,0
3/4"	1/2"	1285,2	516,3	40,2	43,51	1747,9
1/2"	3/8"	443	232,7	52,5	34,69	1822,5
3/8"	1/4"	94,1	60,0	63,8	14,07	897,0
TOTAL		1822,3	809,0	156,5	92,3	4467,3
ÍNDICE DE ALARGAMIENTO =			TOTAL E / TOTAL D		48 %	
INDICE DE APLANAMIENTO						
TAMAÑO DEL AGREGADO		PESO MUESTRA	PESO MATERIAL Part. Aplanadas	PORCENTAJE Part. Aplanadas	% RETENIDO Gradación Original	CÁLCULO FINAL
PASA TAMIZ	RET. TAMIZ	A (g)	B (g)	C= (B/Ax100)	D	E =(Cx D)
2"	1-1/2"	0	0	0,0	0,0	0,0
1-1/2"	1"	0	0	0,0	0,0	0,0
1"	3/4"	0	0	0,0	0,0	0,0
3/4"	1/2"	1285,2	330,7	25,7	43,51	1119,6
1/2"	3/8"	443	128,3	29,0	34,69	1004,8
3/8"	1/4"	94,1	25,5	27,1	14,07	381,2
TOTAL		1822,3	484,5	81,8	92,3	2505,6
ÍNDICE DE APLANAMIENTO =			TOTAL E / TOTAL D		27 %	
INDICE DE PARTICULAS PLANAS Y ALARGADAS						
TAMAÑO DEL AGREGADO		PESO MUESTRA	CANTIDAD MATERIAL Part. Aplanadas y alargadas	PORCENTAJE Part. Aplanadas y alargadas		
PASA TAMIZ	RET. TAMIZ	A (Und)	B (Und)	C= (B/Ax100)		
3/4"	1/2"	100,0	4	4,0		
1/2"	3/8"	100,0	9	9,0		
PORCENTAJE DE PARTICULAS PLANAS Y ALARGADAS (1:5)				6,5		
OBSERVACIONES:	NO SE RECOMIENDA PARA TRATAMIENTO SUPERFICIAL SIMPLE Y DOBLE					
8. DATOS DE ELABORACIÓN						
	25.1. ELABORADO POR:		25.1. REVISADO POR:		25.2. APROBADO POR:	
CARGO:	Técnico Laboratorio de Suelos		Técnico Laboratorio de Suelos		Director de Dependencia	
NOMBRE:						
FIRMA:						

Ensayo De Equivalente De Arena

	UNIVERSIDAD DE NARIÑO						1.CODIGO	
	SECCIÓN DE LABORATORIOS						2.PAGINA	
	ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA						3.VERSIÓN	
	INV E - 133/07						4.VIGENTE APARTIR DE:	
OBRA		TRABAJO DE GRADO UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA				MUESTRA No		1
DESCRIPCIÓN:		AGREGADO GRUESO						
SOLICITANTE		JENNY TELLEZ SALAS - NATALIA SERNA			FUENTE		AGRESUR LTDA	
ENSAYO N°			1			2		
PROBETA	No.	1	2	3	1	2	3	
LECTURA ARCILLA	(mm)	136,0	144,0	135,0	129,0	145,0	133,0	
LECTURA ARENA	(mm)	78,0	98,0	86,0	76,0	85,0	79,0	
EQUIVALENTE DE ARENA	(%)	57	68,1	64	59	58,6	59	
PROMEDIO	(%)	63			59			
Condiciones de la arena para el ensayo								
Húmeda		Seca al aire x			Seca al horno			
Observaciones								
8. DATOS DE ELABORACIÓN								
	25.1. ELABORADO POR:		25.1. REVISADO POR:		25.2. APROBADO POR:			
CARGO:	Técnico Laboratorio de Suelos		Técnico Laboratorio de Suelos		Director de Dependencia			
NOMBRE:								
FIRMA:								

Gravedad Específica Y Absorción De Agregados Gruesos

	UNIVERSIDAD DE NARIÑO					1.CODIGO	
	SECCIÓN DE LABORATORIOS					2.PAGINA	
	GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS					3.VERSIÓN	
	INV E - 223					4.VIGENTE APARTIR DE:	
OBRA TRABAJO DE GRADO UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA							
DESCRIPCIÓN: AGREGADO GRUESO						MUESTRA No 1	
SOLICITANTE JENNY TELLEZ SALAS - NATALIA SERNA						FUENTE AGRESUR LTDA	
ENSAYO No							
			1	2	3		Promedio
Temperatura de ensayo		°C	-	-	-	-	
Peso de la muestra sss	W _{sss}	gr	1096,4	1284,4	920,4	1351,6	
Peso de la muestra en el agua	W _a	gr	708,9	820,7	590,7	873	
Peso de la muestra seca	W _s	gr	1084,3	1271,8	908,4	1336,7	
W _s - W _a		gr	375,4	451,1	317,7	463,7	
W _{sss} - W _a		gr	387,5	463,7	329,7	478,6	
Densidad Nominal	= W _s / W _s -W _a	gr/cm ³	2,888	2,819	2,859	2,883	2,856
Densidad Aparente	= W _s / W _{sss} - W _a	gr/cm ³	2,798	2,743	2,755	2,793	2,772
Densidad Aparente SSS	= W _{sss} / W _{sss} - W _a	gr/cm ³	2,829	2,770	2,792	2,824	2,804
Absorción	= (W _{sss} - W _s / W _s) * 100	%	1,116	0,991	1,387	1,115	1,152
Peso canastilla		gr	137	139,5	138,1	143	
peso canastilla + muestra sss		gr	1233,4	1423,9	1058,5	1494,6	
peso muestra sss		gr	1096,4	1284,4	920,4	1351,6	
peso canastilla + muestra en el agua		gr	757	868,8	638,8	921,1	
Peso canastilla en el agua		gr	48,1	48,1	48,1	48,1	
Peso muestra en el agua		gr	708,9	820,7	590,7	873	
Peso muestra seca + recipiente		gr	1221,3	1411,3	1046,5	1479,7	
Peso recipiente		gr	137	139,5	138,1	143	
Peso muestra seca		gr	1084,3	1271,8	908,4	1336,7	
Observaciones							
8. DATOS DE ELABORACIÓN							
	25.1. ELABORADO POR:	25.1. REVISADO POR:	25.2. APROBADO POR:				
CARGO:	Técnico Laboratorio de Suelos	Técnico Laboratorio de Suelos	Director de Dependencia				
NOMBRE:							
FIRMA:							


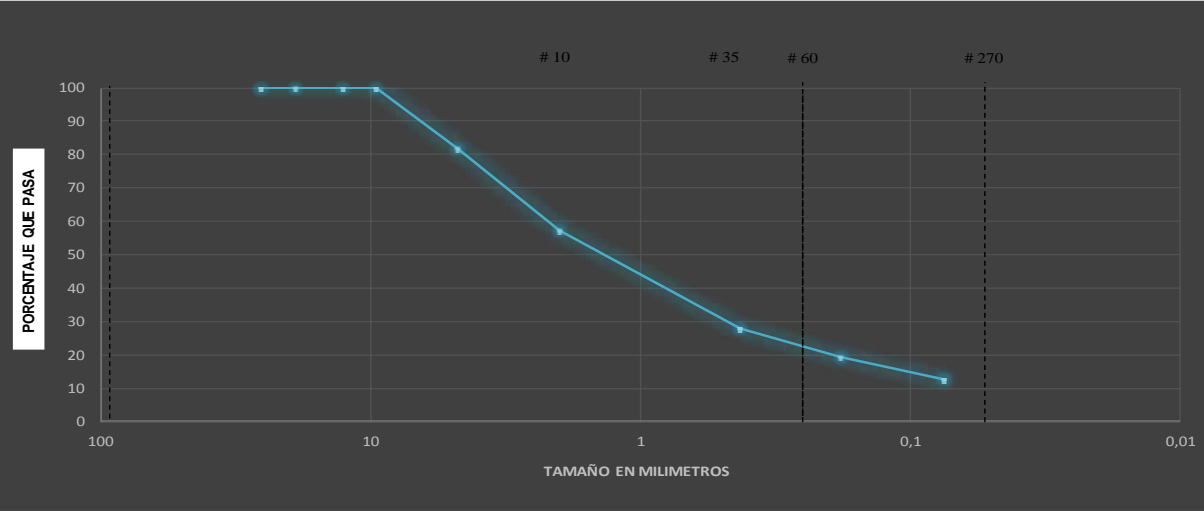
Determinación De La Limpieza Superficial De Las Partículas De Agregado Grueso

	UNIVERSIDAD DE NARIÑO			1.CODIGO
	SECCIÓN DE LABORATORIOS			2.PAGINA
	DETERMINACION DE LA LIMPIEZA SUPERFICIAL DE LAS PARTICULAS DE AGREGADO GRUESO			3.VERSIÓN
	INV E - 237			4.VIGENTE APARTIR DE:
OBRA TRABAJO DE GRADO UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA				
DESCRIPCIÓN: AGREGADO GRUESO		MUESTRA No		1
SOLICITANTE JENNY TELLEZ SALAS - NATALIA SERNA		FUENTE		AGRESUR LTDA
ENSAYO No				
		1	2	3
Peso de la muestra para humedad inicial	Mh	gr	2094	
Peso de la muestra para humedad final	Ms	gr	2066,2	
Peso de la muestra para ensayo inicial	Mhe	gr	1906	
Peso de la muestra para ensayo final	M	gr	1793,5	
Humedad de la muestra	$w = \frac{Mh - Ms}{Ms}$	gr/cm ³	0,013	
Cantidad de Masa seca	$Mse = \frac{Mhe}{(1 + w)}$	gr/cm ³	1880,696	
Impurezas	$= Mse - M$	gr/cm ³	87,196	
Coef. De impurezas	$= \frac{Mse - M}{Mse} * 100$	%	4,636	
Observaciones El material debe lavarse antes de implementarlo a la mezcla.				
8. DATOS DE ELABORACIÓN				
	25.1. ELABORADO POR:	25.1. REVISADO POR:	25.2. APROBADO POR:	
CARGO:	Técnico Laboratorio de Suelos	Técnico Laboratorio de Suelos	Director de Dependencia	
NOMBRE:				
FIRMA:				

ANEXO No. 2

Resultados de Laboratorio Agregado Fino.

Ensayo De Granulometría

	UNIVERSIDAD DE NARIÑO				1.CODIGO	
	SECCIÓN DE LABORATORIOS				2.PAGINA	
	ENSAYO DE GRANULOMETRIA				3.VERSIÓN	
	INV E-213				4.VIGENTE A PARTIR DE:	
OBRA		TRABAJO DE GRADO UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA		MUESTRA No		1
DESCRIPCIÓN:		AGREGADO FINO		FUENTE		CANTERA AGRESUR LTDA
SOLICITANTE JENNY TELLEZ SALAS - NATALIA SERNA						
GRADACIÓN						
Peso inicial	3000		Peso lavado	2628,4		
Tamiz	Tamiz mm	Peso Retenido	% Retenido	% Ret Acum	% Pasa	
1	25,4	0,00	0,00	0,00	100,00	
3/4	19,05	0,00	0,00	0,00	100,00	
1/2	12,7	0,00	0,00	0,00	100,00	
3/8	9,525	5,00	0,17	0,17	99,83	
4	4,75	546,50	18,22	18,38	81,62	
10	2	729,70	24,32	42,71	57,29	
40	0,425	886,70	29,56	72,26	27,74	
80	0,18	251,70	8,39	80,65	19,35	
200	0,075	205,30	6,84	87,50	12,50	
P-200		375,1	12,50	100,00	0,00	
				Cu=	$\frac{D_{60}}{D_{10}}$	= 3,666667
				Cc=	$\frac{(D_{30})^2}{D_{10} \cdot D_{60}}$	= 0,1818933
TAMICES						
						
OBSERVACIONES:						
8. DATOS DE ELABORACIÓN						
25.1. ELABORADO POR:		25.1. REVISADO POR:		25.2. APROBADO POR:		
CARGO: Técnico Laboratorio de Suelos		CARGO: Técnico Laboratorio de Suelos		CARGO: Director de Dependencia		
NOMBRE:		NOMBRE:		NOMBRE:		
FIRMA:		FIRMA:		FIRMA:		

Ensayo De Granulometría – Llenante de mineral



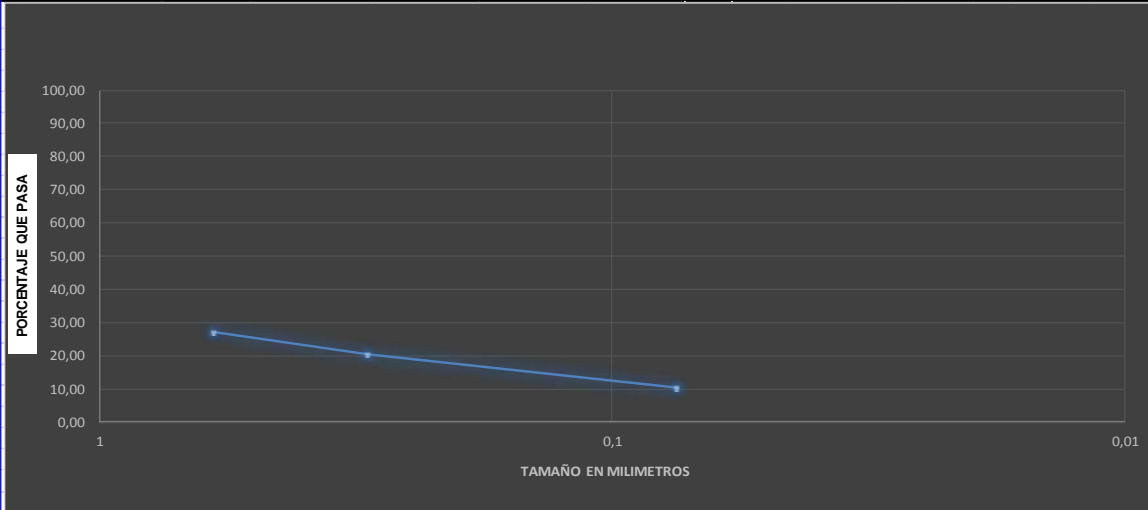
UNIVERSIDAD DE NARIÑO
SECCION DE LABORATORIOS
ENSAYO DE GRANULOMETRIA
INV E-213

1.CODIGO
2.PAGINA
3.VERSIÓN
4.VIGENTE APARTIR DE:

OBRA	TRABAJO DE GRADO UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA	MUESTRA No	1
DESCRIPCIÓN:	MATERIAL FINO AGRESUR LTDA.	FUENTE	CANTERA AGRESUR LTDA
SOLICITANTE	JENNY TELLEZ SALAS - NATALIA SERNA		

GRADACIÓN					
Peso inicial	100	Peso lavado	89,49		
Tamiz	Tamiz mm	Peso Retenido	% Retenido	% Ret Acum	% Pasa
30	0,6	72,77	72,77	72,77	27,23
50	0,3	6,89	6,89	79,66	20,34
200	0,075	9,83	9,83	89,49	10,51
P-200		10,51	10,51	100,00	0,00

TAMICES




OBSERVACIONES:


8. DATOS DE ELABORACIÓN

CARGO:	25.1. ELABORADO POR:	25.1. REVISADO POR:	25.2. APROBADO POR:
	Técnico Laboratorio de Suelos	Técnico Laboratorio de Suelos	Director de Dependencia
NOMBRE:			
FIRMA:			


Ensayo De Durabilidad Agregado Fino Por sulfato De Sodio

	UNIVERSIDAD DE NARIÑO			1.CODIGO		
	SECCIÓN DE LABORATORIOS			2.PAGINA		
	ENSAYO DE DURABILIDAD AGREGADO FINO PORSULFATO DE SODIO			3.VERSIÓN		
	INV E-220			4.VIGENTE A PARTIR DE:		
OBRA	TRABAJO DE GRADO UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA		MUESTRA No 1			
DESCRIPCIÓN:	AGREGADO FINO		CANTERA AGRESUR LTDA			
SOLICITANTE	JENNY TELLEZ SALAS - NATALIA SERNA					
ANALISIS CUANTITATIVO						
Fracciones		Peso inicial	Peso final	% Perdida	Granulometria	% Perdida
Pasa	Retenido	P1 (gr)	P2 (gr)	$\{(P1-P2)/P1\} * 100$	original	Corregida
3/8"	No 4	100	83,7	16,3	18,22	3,4
No 4	No 8	100	92,1	7,9	24,32	2,2
No 8	No 16	100	92	8	29,56	2,7
No 16	No 30	100	90,3	9,7	8,39	0,9
No 30	No 50	100	95,5	4,5	6,84	0,4
PERDIDA TOTAL CORREGIDA						9,6
SOLUCIÓN UTILIZADA:					Sulfato de Sodio	
OBSERVACIONES						
8. DATOS DE ELABORACIÓN						
	25.1. ELABORADO POR:	25.1. REVISADO POR:	25.2. APROBADO POR:			
CARGO:	Técnico Laboratorio de Suelos	Técnico Laboratorio de Suelos	Director de Dependencia			
NOMBRE:						
FIRMA:						

Gravedad Especifica Y Absorción De Agregados Finos


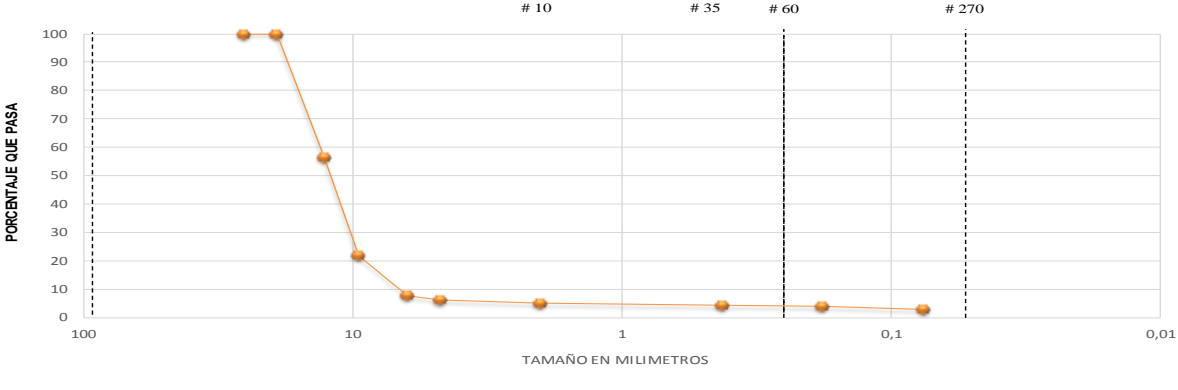
	UNIVERSIDAD DE NARIÑO				1.CODIGO	
	SECCIÓN DE LABORATORIOS				2.PAGINA	
	GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS				3.VERSIÓN	
	INV E - 222				4.VIGENTE APARTIR DE:	
OBRA TRABAJO DE GRADO UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA						
DESCRIPCIÓN: AGREGADO FINO		MUESTRA No 1				
SOLICITANTE JENNY TELLEZ SALAS - NATALIA SERNA		FUENTE AGRESUR LTDA				
ENSAYO No						
		1	2	3	Promedio	
Temperatura de ensayo	°C	22	23	21		
Peso de la muestra sss	Wsss	gr	250	250	250	
Peso matraz + agua	Wma	gr	649,8	646,5	653,2	
Peso matraz + agua + muestra	Wmam	gr	811,3	807,9	814,8	
Peso muestra seca	Ws	gr	248,7	248,2	249,2	
Densidad Nominal = $Ws / (Ws + Wma - Wmam)$		gr/cm ³	2,852	2,859	2,845	2,8521
Densidad Aparente = $Ws / (Wsss + Wma - Wmam)$		gr/cm ³	2,810	2,801	2,819	2,8102
Densidad Aparente SSS = $Wsss / (Wsss + Wma - Wmam)$		gr/cm ³	2,825	2,822	2,828	2,8249
Absorción = $(Wsss - Ws / Ws) * 100$		%	0,523	0,725	0,321	0,5230
Peso muestra seca + recipiente		gr	392,8	391,8	393,9	
Peso recipiente		gr	144,1	143,6	144,7	
Peso muestra seca		gr	248,7	248,2	249,2	
8. DATOS DE ELABORACIÓN						
	25.1. ELABORADO POR:	25.1. REVISADO POR:	25.2. APROBADO POR:			
CARGO:	Técnico Laboratorio de Suelos	Técnico Laboratorio de Suelos	Director de Dependencia			
NOMBRE:						
FIRMA:						
Observaciones						

Ensayo De Durabilidad Agregado Fino Por sulfato De Magnesio

	UNIVERSIDAD DE NARIÑO			1.CODIGO		
	SECCIÓN DE LABORATORIOS			2.PAGINA		
	ENSAYO DE DURABILIDAD AGREGADO FINO PORSULFATO DE MAGNESIO			3.VERSIÓN		
	INV E-220			4.VIGENTE APARTIR DE:		
OBRA	TRABAJO DE GRADO UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA		MUESTRA No	1		
DESCRIPCIÓN:	AGREGADO FINO		FUENTE	CANTERA AGRESUR LTDA		
SOLICITANTE	JENNY TELLEZ SALAS - NATALIA SERNA					
ANALISIS CUANTITATIVO						
Fraciones		Peso inicial	Peso final	% Perdida	Granulometria	% Perdida
Pasa	Retenido	P1 (gr)	P2 (gr)	$\{(P1-P2)/P1\} * 100$	original	Corregida
3/8"	No 4	100	94	6	18,22	1,3
No 4	No 8	100	98,1	1,9	24,32	0,5
No 8	No 16	100	97	3	29,56	1,0
No 16	No 30	100	91,4	8,6	8,39	0,8
No 30	No 50	100	93,8	6,2	6,84	0,5
PERDIDA TOTAL CORREGIDA						4,1
SOLUCIÓN UTILIZADA:					Sulfato de magnesio	
OBSERVACIONES						
8. DATOS DE ELABORACIÓN						
	25.1. ELABORADO POR:	25.1. REVISADO POR:	25.2. APROBADO POR:			
CARGO:	Técnico Laboratorio de Suelos	Técnico Laboratorio de Suelos	Director de Dependencia			
NOMBRE:						
FIRMA:						

ANEXO No. 3

Resultados de ajuste granulométrico.

	UNIVERSIDAD DE NARIÑO					1. CODIGO	
	SECCIÓN DE LABORATORIOS					2. PAGINA	
	ENSAYO DE GRANULOMETRIA					3. VERSION	
	INV E-123					4. VIGENTE A PARTIR DE	
OBRA	TRABAJO DE GRADO JENNY TÉLÉZ - NATALIA SERNA				MUESTRA No	1	
DESCRIPCIÓN:	MATERIAL GRUESO				FUENTE	CANTERA AGRESUR	
GRADACIÓN							
Peso inicial	36452		Peso lavado	35527			
Tamiz	Tamiz mm	Peso Retenido	% Retenido	% Ret Acum	% Pasa		
1	25,4	0,00	0,00	0,00	100,00	Limite líquido (L.L)	
3/4	19,05	0,00	0,00	0,00	100,00	Limite plástico (L.P)	
1/2	12,7	15860,00	43,51	43,51	56,49	Indice plasticidad (I.P)	
3/8	9,525	12647,00	34,69	78,20	21,80	Calsificación AASHTO	
1/4	6,3	5128,00	14,07	92,27	7,73	Clasificación U.S.C	
4	4,75	608,00	1,67	93,94	6,06	MODULO DE FINURA	
10	2	344,00	0,94	94,88	5,12	% Grava	
40	0,425	296,00	0,81	95,70	4,30	% Arena	
80	0,18	211,00	0,58	96,27	3,73	% pasa No 200	2,6
200	0,075	394,00	1,08	97,36	2,64		
P-200		964,0	2,64	100,00	0,00		
						Cu= $\frac{D_{60}}{D_{10}}$	= 9,1071429
						Cc= $\frac{(D_{30})^2}{D_{10} \cdot D_{60}}$	= 3,3215686
TAMICES							
							
OBSERVACIONES:							
8. DATOS DE ELABORACIÓN							
	25.1. ELABORADO POR:		25.1. REVISADO POR:		25.2. APROBADO POR:		
CARGO:	Técnico Laboratorio de Suelos		Técnico Laboratorio de Suelos		Director de Tesis		
NOMBRE:							
FIRMA:							



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
SECCIÓN DE LABORATORIOS
ENSAYO DE GRANULOMETRIA
INV E-123

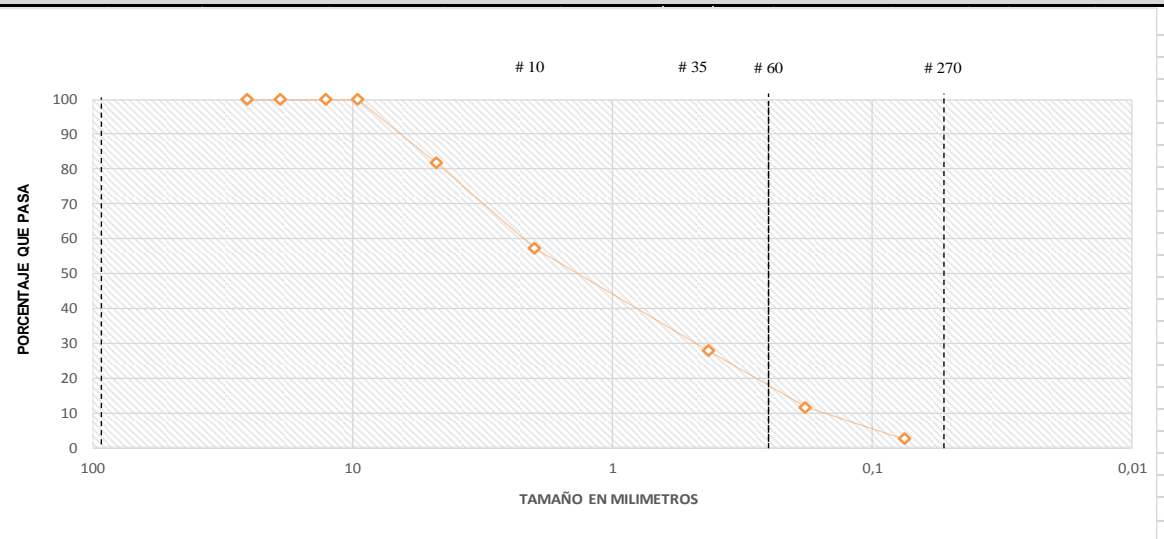
1. CODIGO
2. PAGINA
3. VERSION
4. VIGENTE APARTIR DE:

OBRA	TRABAJO DE GRADO JENNY TÉLLEZ - NATALIA SERNA	MUESTRA No	1
DESCRIPCIÓN:	MATERIAL FINO	FUENTE	CANTERA AGRESUR

GRADACIÓN					
Peso inicial	3000		Peso lavado		
			2628,4		
Tamiz	Tamiz mm	Peso Retenido	% Retenido	% Ret Acum	% Pasa
1	25,4	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4	19,05	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2	12,7	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8	9,525	5,00	0,17	0,17	99,83
4	4,75	546,50	18,22	18,38	81,62
10	2	729,70	24,32	42,71	57,29
40	0,425	886,70	29,56	72,26	27,74
80	0,18	481,70	16,06	88,32	11,68
200	0,075	275,30	9,18	97,50	2,50
P-200		375,1	12,50	110,00	-10,00

Limite líquido (L.L)	
Limite plástico (L.P)	
Indice plasticidad (I.P)	
Calsificación AASHTO	
Clasificación U.S.C	
MODULO DE FINURA	
% Grava	
% Arena	
% pasa No 200	
Cu= $\frac{D_{60}}{D_{10}}$	= 32,5
Cc= $\frac{(D_{30})^2}{D_{10} \cdot D_{60}}$	= 2,03125

TAMICES



OBSERVACIONES:

8. DATOS DE ELABORACIÓN

	25.1. ELABORADO POR:	25.1. REVISADO POR:	25.2. APROBADO POR:
CARGO:	Técnico Laboratorio de Suelos	Técnico Laboratorio de Suelos	Director de Tesis
NOMBRE:			
FIRMA:			



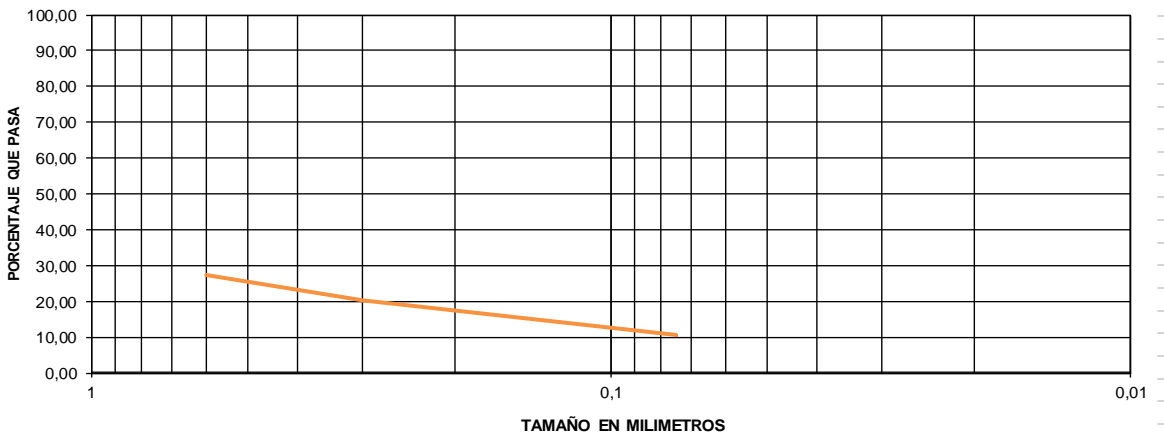
UNIVERSIDAD DE NARIÑO
SECCIÓN DE LABORATORIOS
ENSAYO DE GRANULOMETRIA
INV E-123

1. CODIGO
2. PAGINA
3. VERSIÓN
4. VIGENTE A PARTIR DE

OBRA: TRABAJO DE GRADO JENNY TÉLLEZ - NATALIA SERNA MUESTRA No 1
 DESCRIPCIÓN: Material fino FUENTE: CANTERA AGRESUR


GRADACIÓN					
Peso inicial	100	Peso lavado	89,49		
Tamiz	Tamiz mm	Peso Retenido	% Retenido	% Ret Acum	% Pasa
30	0,6	72,77	72,77	72,77	27,23
50	0,3	6,89	6,89	79,66	20,34
200	0,075	9,83	9,83	89,49	10,51
P-200		10,51	10,51	100,00	0,00


TAMICES



OBSERVACIONES:

8. DATOS DE ELABORACIÓN			
25.1. ELABORADO POR:	Técnico Laboratorio de Suelos	25.1. REVISADO POR:	Técnico Laboratorio de Suelos
25.2. APROBADO POR:	Director de Tesis		
CARGO:			
NOMBRE:			
FIRMA:			

	UNIVERSIDAD DE NARIÑO					1. CODIGO	
	SECCIÓN DE LABORATORIOS GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS INV E - 223					2. PAGINA	
						3. VERSIÓN	
	4. VIGENTE APARTIR DE:						
OBRA	TRABAJO DE GRADO JENNY TÉLLEZ - NATALIA SERNA				MUESTRA No	1	
DESCRIPCIÓN:	Material Grueso				FUENTE	CANTERA AGRESUR	
ENSAYO No							
			1	2	3	Promedio	
Temperatura de ensayo	°C	-	-	-	-		
Peso de la muestra sss	Wsss	gr	1096,4	1284,4	920,4	1351,6	
Peso de la muestra en el agua	Wa	gr	708,9	820,7	590,7	873	
Peso de la muestra seca	Ws	gr	1084,3	1271,8	908,4	1336,7	
Ws - Wa		gr	375,4	451,1	317,7	463,7	
Wsss - Wa		gr	387,5	463,7	329,7	478,6	
Densidad Nominal	= Ws / Ws-Wa	gr/cm ³	2,888	2,819	2,859	2,883	2,856
Densidad Aparente	= Ws / Wsss - Wa	gr/cm ³	2,798	2,743	2,755	2,793	2,772
Densidad Aparente SSS	= Wsss / Wsss - Wa	gr/cm ³	2,829	2,770	2,792	2,824	2,804
Absorción	= (Wsss - Ws / Ws) * 100	%	1,116	0,991	1,387	1,115	1,152
Peso canastilla	gr	137	139,5	138,1	143		
peso canastilla + muestra sss	gr	1233,4	1423,9	1058,5	1494,6		
peso muestra sss	gr	1096,4	1284,4	920,4	1351,6		
peso canastilla + muestra en el agua	gr	757	868,8	638,8	921,1		
Peso canastilla en el agua	gr	48,1	48,1	48,1	48,1		
Peso muestra en el agua	gr	708,9	820,7	590,7	873		
Peso muestra seca + recipiente	gr	1221,3	1411,3	1046,5	1479,7		
Peso recipiente	gr	137	139,5	138,1	143		
Peso muestra seca	gr	1084,3	1271,8	908,4	1336,7		
Observaciones							
6. DATOS DE ELABORACIÓN							
	25.1. ELABORADO POR:	25.1. REVISADO POR:	25.2. APROBADO POR:				
CARGO:	Técnico Laboratorio de Suelos	Técnico Laboratorio de Suelos	Director de Tesis				
NOMBRE:							
FIRMA:							

	UNIVERSIDAD DE NARIÑO			1. CODIGO		
	SECCIÓN DE LABORATORIOS			2. PAGINA		
	GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS			3. VERSION		
	INV E - 222 -13			4. VIGENTE APARTIR DE		
OBRA	ABAJO DE GRADO JENNY TÉLÉZ - NATALIA SERI			MUESTRA N°	1	
DESCRIPCIÓN:	Material Fino			FUENTE	CANTERA AGRESUR	
ENSAYO No			1	2	3	Promedio
Temperatura de ensayo		°C	22	23	21	
Peso de la muestra sss	Wsss	gr	250	250	250	
Peso matraz + agua	Wma	gr	649,8	646,5	653,2	
Peso matraz + agua + muestra	Wmam	gr	811,3	807,9	814,8	
Peso muestra seca	Ws	gr	248,7	248,2	249,2	
Densidad Nominal	$= Ws / (Ws + Wma - Wmam)$	gr/cm ³	2,852	2,859	2,845	2,8521
Densidad Aparente	$= Ws / (Wsss + Wma - Wmam)$	gr/cm ³	2,810	2,801	2,819	2,8102
Densidad Aparente SSS	$= Wsss / (Wsss + Wma - Wmam)$	gr/cm ³	2,825	2,822	2,828	2,8249
Absorción	$= (Wsss - Ws / Ws) * 100$	%	0,523	0,725	0,321	0,5230
Peso muestra seca + recipiente		gr	392,8	391,8	393,9	
Peso recipiente		gr	144,1	143,6	144,7	
Peso muestra seca		gr	248,7	248,2	249,2	
Observaciones						
8. DATOS DE ELABORACIÓN						
	25.1. ELABORADO POR:		25.1. REVISADO POR:		25.2. APROBADO POR:	
CARGO:	Técnico Laboratorio de Suelos		Técnico Laboratorio de Suelos		Director de Tesis	
NOMBRE:						
FIRMA:						

