

	GESTIÓN DE SERVICIOS ACADÉMICOS Y BIBLIOTECARIOS		CÓDIGO	FO-GS-15	
			VERSIÓN	02	
	ESQUEMA HOJA DE RESUMEN			FECHA	10/10/2023
				PÁGINA	1 de 1
ELABORÓ		REVISÓ	APROBÓ		
Jefe División de Biblioteca		Equipo Operativo de Calidad	Líder de Calidad		

RESUMEN TRABAJO DE GRADO

AUTOR(ES): NOMBRES Y APELLIDOS COMPLETOS

NOMBRE(S) Guiselle Andrea APELLIDOS: Suárez Velandia

FACULTAD: Ingeniería

PLAN DE ESTUDIOS: Ingeniería Civil

DIRECTOR(A):

NOMBRE(S): Andrea Jovanna APELLIDOS: Cacique Arias

CODIRECTOR(A):

NOMBRE(S): Oscar Alberto APELLIDOS: Dallos Luna

TÍTULO DEL TRABAJO (TESIS): ESTUDIO COMPARATIVO DE LA GRANULOMETRÍA Y GEOMETRÍA DE LAS PARTÍCULAS DE MATERIAL DE BASE GRANULAR DE DOS FUENTES EN LA CIUDAD DE SAN JOSÉ DE CÚCUTA

En este proyecto se realizó el estudio de las características de dureza y geometría de las partículas de una de las capas de la estructura de un pavimento, la base granular debe cumplir con las especificaciones INVIAS 330. Se realizó la evaluación del comportamiento de la distribución granulométrica, antes y después del ensayo de Desgaste en la Máquina de los Ángeles INVE 218 – 13 el cual evalúa la característica de dureza. Las características físicas y mecánicas que menciona la norma son: la Geometría de las partículas la cual es medida por la norma INVIAS con los siguientes ensayos: Índices de alargamiento y aplanamiento INV E – 230 – 13; Caras fracturadas, INV E – 227 – 13. Por otro lado, la característica de Dureza de las partículas se mide por los ensayos: Desgaste de la Máquina de los Ángeles, INV E – 218 – 13; Degradación por Abrasión en el equipo Micro – Deval, INV E – 238 – 13; Evaluación de la resistencia mecánica por el método de 10% de finos, INV E – 224 – 13. Con esto se busca verificar que los materiales que se emplean en el terreno cumplan las especificaciones.

PALABRAS CLAVES:

-Base Granular. -Diseño Vial. -Ensayos de Laboratorio. -INVIAS. -Dureza y Geometría.

CARACTERÍSTICAS:

PÁGINAS: 86

PLANOS: NO

CD ROOM: NO

ILUSTRACIONES: 42

**ESTUDIO COMPARATIVO DE LA GRANULOMETRÍA Y GEOMETRÍA DE LAS
PARTÍCULAS DE MATERIAL DE BASE GRANULAR DE DOS FUENTES EN LA
CIUDAD DE SAN JOSÉ DE CÚCUTA**

**GUISELLE ANDREA SUÁREZ VELANDIA
ÓSCAR DANIEL ZAPATA TORRES**

**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL
SAN JOSÉ DE CÚCUTA**

2022

**ESTUDIO COMPARATIVO DE LA GEOMETRÍA Y DUREZA DE LAS PARTÍCULAS
DE MATERIAL DE BASE GRANULAR DE DOS FUENTES EN LA CIUDAD DE SAN
JOSÉ DE CÚCUTA**

GUISELLE ANDREA SUAREZ VELANDIA

ÓSCAR DANIEL ZAPATA TORRES

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL**

DIRECTORA:

ANDREA JOVANNA CACIQUE ARIAS

MSC. INGENIERA CIVIL

CODIRECTOR:

OSCAR ALBERTO DALLOS LUNA

LIC. EN EDUCACIÓN

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA CIVIL

SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2022

ACTA DE SUSTENTACION DE TRABAJO DE GRADO

FECHA: 28 DE AGOSTO DE 2023 HORA: 10:00 a. m.

LUGAR: VICERRECTORIA DE INVESTIGACION Y EXTENSION - UFPS

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERIA CIVIL

TITULO DE LA TESIS: "ESTUDIO COMPARATIVO DE LA GEOMETRIA Y DUREZA DE LAS PARTICULAS DE MATERIALES DE BASE GRANULAR DE DOS FUENTES EN LA CIUDAD DE SAN JOSE DE CUCUTA".

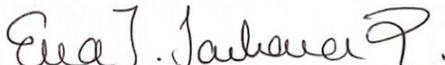
JURADOS: ING. EVA ISABEL LOMBANA PAZ
ING. JOSE HERNANDO GARCIA JAIMES

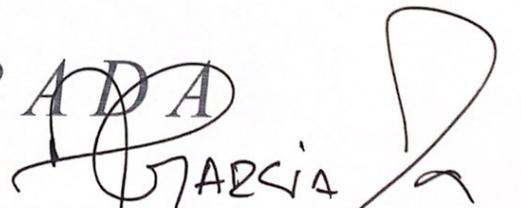
DIRECTOR: INGENIERA ANDREA JOVANNA CACIQUE ARIAS

CODIRECTOR: OSCAR ALBERTO DALLOS LUNA

NOMBRE DE LOS ESTUDIANTES:	CODIGO	CALIFICACION	
		NUMERO	LETRA
GUISELLE ANDREA SUAREZ VELANDIA	1114136	4,1	CUATRO, UNO

APROBADA


ING. EVA ISABEL LOMBANA PAZ


ING. JOSE HERNANDO GARCIA JAIMES

Vo. Bo. 
JAVIER ALFONSO CARDENAS GUTIERREZ
Coordinador Comité Curricular

Betty M.

CONTENIDO

RESUMEN	8
INTRODUCCIÓN	9
PROBLEMA	11
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	11
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	12
OBJETIVOS	12
OBJETIVO GENERAL	12
OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	12
JUSTIFICACIÓN	13
ALCANCES Y LIMITACIONES	14
ALCANCES:	14
LIMITACIONES:	14
DELIMITACIONES	14
DELIMITACIÓN ESPACIAL:	14
DELIMITACIÓN TEMPORAL:	15
DELIMITACIÓN CONCEPTUAL:	15
MARCO REFERENCIAL	15
ANTECEDENTES Y EL ESTADO DEL ARTE	15
MARCO TEÓRICO	17
BASE GRANULAR	17
ENSAYOS DE VERIFICACIÓN DE BASE GRANULAR	17
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO:	17
MARCOS DE REFERENCIA	24
MARCO CONCEPTUAL	24
MARCO CONTEXTUAL	24
MARCO LEGAL	24
DISEÑO METODOLÓGICO	25

TIPO DE INVESTIGACIÓN	25
POBLACIÓN Y MUESTRA	25
POBLACIÓN:	25
MUESTRA:	26
FASES Y ACTIVIDADES DEL PROYECTO	26
DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	26
SELECCIÓN DEL MATERIAL	26
CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL	26
OBTENCIÓN Y PREPARACIÓN DEL MATERIAL DE BASE GRANULAR A EVALUAR	27
ENSAYOS DE LABORATORIO	27
RESULTADOS	43
ANÁLISIS DE RESULTADOS	71
CONCLUSIONES	84
RECOMENDACIONES	85
REFERENCIAS	86

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Referencias normativas a usar en el presente trabajo.	25
Tabla 2. Granulometría de las muestras.	33
Tabla 3. Carga necesaria para el ensayo según la granulometría.	33
Tabla 4. Cantidades de material necesarias.	35
Tabla 5. Penetración requerida del pistón durante el ensayo.	38
Tabla 6. Granulometría 1 – Fuente 1	43
Tabla 7. Índices de alargamiento y aplanamiento 1 – Fuente 1	44
Tabla 8. Caras fracturadas 1 – Fuente 1	45
Tabla 9. Desgaste de la máquina de los Ángeles 1 – Fuente 1	45
Tabla 10. Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval 1 – Fuente 1	45
Tabla 11. Evaluación de la resistencia mecánica por el método de 10% de finos 1 – Fuente 1	46
Tabla 12. Equivalente de arena 1 – Fuente 1	46
Tabla 13. Granulometría 2 – Fuente 1	47
Tabla 14. Índices de alargamiento y aplanamiento 2 – Fuente 1	48
Tabla 15. Caras fracturadas 2 – Fuente 1	49
Tabla 16. Desgaste de la máquina de los Ángeles 2 – Fuente 1	49
Tabla 17. Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval 2 – Fuente 1	49
Tabla 18. Evaluación de la resistencia mecánica por el método de 10% de finos 2 – Fuente 1	50
Tabla 19. Equivalente de arena 2 – Fuente 1	50
Tabla 20. Granulometría 3 – Fuente 1	51
Tabla 21. Índices de alargamiento y aplanamiento 3 – Fuente 1	52
Tabla 22. Caras fracturadas 3 – Fuente 1	53
Tabla 23. Desgaste de la máquina de los ángeles 3 – Fuente 1	53
Tabla 24. Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval 3 – Fuente 1	53
Tabla 25. Evaluación de la resistencia mecánica por el método de 10% de finos 3 – Fuente 1	54
Tabla 26. Granulometría luego del ensayo de Desgaste – Fuente 1	54
Tabla 27. Índices de alargamiento y aplanamiento luego del desgaste – Fuente 1	56
Tabla 28. Caras fracturadas luego del desgaste – Fuente 1	56
Tabla 29. Granulometría 1 – Fuente 2	57
Tabla 30. Índices de alargamiento y aplanamiento 1 – Fuente 2	58
Tabla 31. Caras fracturadas 1 – Fuente 2	59
Tabla 32. Desgaste de la máquina de los ángeles 1 – Fuente 2	59
Tabla 33. Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval 1 – Fuente 2	59
Tabla 34. Evaluación de la resistencia mecánica por el método de 10% de finos 1 – Fuente 2	60
Tabla 35. Equivalente de arena 1 – Fuente 2	60
Tabla 36. Granulometría 2 – Fuente 2	61
Tabla 37. Índices de alargamiento y aplanamiento 2 – Fuente 2	62
Tabla 38. Caras fracturadas 2 – Fuente 2	63
Tabla 39. Desgaste de la máquina de los ángeles 2 – Fuente 2	63

Tabla 40. Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval 2 – Fuente 2	63
Tabla 41. Evaluación de la resistencia mecánica por el método de 10% de finos 2 – Fuente 2	64
Tabla 42. Equivalente de arena 2 – Fuente 2	64
Tabla 43. Granulometría 3 – Fuente 2	65
Tabla 44. Índices de alargamiento y aplanamiento 3 – Fuente 2	66
Tabla 45. Caras fracturadas 3 – Fuente 2	67
Tabla 46. Desgaste de la máquina de los Ángeles 3 – Fuente 2	67
Tabla 47. Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval 3 – Fuente 2	67
Tabla 48. Evaluación de la resistencia mecánica por el método de 10% de finos 3 – Fuente 2	68
Tabla 49. Granulometría luego del ensayo de desgaste – Fuente 2	68
Tabla 50. Índices de alargamiento y aplanamiento luego del desgaste – Fuente 2	69
Tabla 51. Caras fracturadas luego del desgaste – Fuente 2	70
Tabla 52. Cumplimiento de ensayos según las clases de base granular – Fuente 1	71
Tabla 53. Cumplimiento de ensayos según las clases de base granular – Fuente 2	72

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Lavado del material sobre el tamiz 200.	28
Figura 2. Separación del material seco por tamizado.	29
Figura 3. Obtención del índice de alargamiento con los tamices de barras.	30
Figura 4. Obtención del índice de aplanamiento con el calibrador metálico.	31
Figura 5. Clasificación de partículas fracturadas.	32
Figura 6. Retiro de material de la máquina de los Ángeles.	34
Figura 7. Tamizado del material luego del ensayo de desgaste.	34
Figura 8. Preparación del cilindro de ensayo.	35
Figura 9. Material y carga retirados del cilindro luego del desgaste.	36
Figura 10. Muestras en período de saturación.	37
Figura 11. Compactación del material en la máquina de penetración.	38
Figura 12. Instalación del material antes de ensayar.	39
Figura 13. Material después del ensayo.	40
Figura 14. Vertimiento de solución en el cilindro graduado.	41
Figura 15. Material luego del periodo de reposo.	42
Figura 16. Lectura de la altura de arena.	42
Figura 17. Comportamiento de la curva granulométrica 1 – Fuente 1	44
Figura 18. Comportamiento de la curva granulométrica 2 – Fuente 1	48
Figura 19. Comportamiento de la curva granulométrica 3 – Fuente 1	52
Figura 20. Comportamiento de la curva granulométrica luego del ensayo de desgaste – Fuente 1	155
Figura 21. Comportamiento de la curva granulométrica 1 – Fuente 2	58
Figura 22. Comportamiento de la curva granulométrica 2 – Fuente 2	62
Figura 23. Comportamiento de la curva granulométrica 3 – Fuente 2	66

Figura 24. Comportamiento de la curva granulométrica luego del ensayo de desgaste – Fuente 2	69
Figura 25. Desgaste en la Máquina de los Ángeles - Fuente 1	73
Figura 26. Desgaste en la Máquina de los Ángeles - Fuente 2	73
Figura 27. Desgaste Micro – Deval (%) – Fuente 1	74
Figura 28. Desgaste Micro – Deval (%) – Fuente 2	74
Figura 29. Ensayo 10% de finos – Fuente 1	75
Figura 30. Ensayo 10% de finos – Fuente 2	76
Figura 31. Índice de Aplanamiento – Fuente 1	77
Figura 32. Índice de Aplanamiento luego del desgaste – Fuente 1	77
Figura 33. Índice de Alargamiento – Fuente 1	78
Figura 34. Índice de Alargamiento luego del desgaste – Fuente 1	79
Figura 35. Índice de Partículas fracturadas (%) – Fuente 1	80
Figura 36. Índice de Partículas fracturadas luego del desgaste (%) - Fuente 1	80
Figura 37. Índice de Aplanamiento – Fuente 2	81
Figura 38. Índice de Aplanamiento luego del desgaste - Fuente 2	81
Figura 39. Índice de Alargamiento - Fuente 2	82
Figura 40. Índice de Alargamiento luego del desgaste - Fuente 2	82
Figura 41. Índice de Partículas fracturadas (%) - Fuente 2	83
Figura 42. Índice de Partículas fracturadas luego del desgaste (%) - Fuente 2	83

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. % de pérdidas – ensayo de desgaste	19
Ecuación 2. % de pérdidas – ensayo Micro-Deval	20
Ecuación 3. Fuerza requerida – ensayo de 10% de finos	21
Ecuación 4. Porcentaje de caras fracturadas	23

RESUMEN

En este proyecto se realizó el estudio de las características de dureza y geometría de las partículas de una de las capas de la estructura de un pavimento, la base granular debe cumplir con las especificaciones INVIAS 330. Se realizó la evaluación del comportamiento de la distribución granulométrica, antes y después del ensayo de Desgaste en la Máquina de los Ángeles INVE 218 – 13 el cual evalúa la característica de dureza. Las características físicas y mecánicas que menciona la norma son: la Geometría de las partículas la cual es medida por la norma INVIAS con los siguientes ensayos: Índices de alargamiento y aplanamiento INV E – 230 – 13; Caras fracturadas, INV E – 227 – 13. Por otro lado, la característica de Dureza de las partículas se mide por los ensayos: Desgaste de la Máquina de los Ángeles, INV E – 218 – 13; Degradación por Abrasión en el equipo Micro – Deval, INV E – 238 – 13; Evaluación de la resistencia mecánica por el método de 10% de finos, INV E – 224 – 13. Con esto se busca verificar que los materiales que se emplean en el terreno cumplan las especificaciones.

Por lo mencionado con anterioridad se realizó el estudio de material de bases granulares de dos fuentes con el objetivo de verificar cómo es su comportamiento en función de las especificaciones INVIAS, en cuanto a su granulometría, geometría y dureza en la ciudad de Cúcuta. Cabe mencionar que estas dos fuentes son tomadas de dos ríos diferente, la fuente 1 se trabajó con material del rio Pamplonita y la fuente 2 con el rio Zulia.

INTRODUCCIÓN

En los pavimentos los materiales granulares como parte de las capas que lo componen desempeñan dos funciones principalmente. en el caso de la base granular, dicha función no solo se limita a ser un material que permite el drenaje en la estructura del pavimento, sino que absorbe parte de los esfuerzos que son transmitidos por la carga al pavimento. Sin embargo, estas capas hasta la actualidad no han sido estudiadas de manera profunda tal como se estudian en la actualidad los esfuerzos y las deformaciones producidas en la capa de rodadura y en la subrasante. Existen especificaciones que se plantean para llevar un control de calidad de los materiales no solo en obra, sino que también previo a la adquisición de los materiales seleccionados para la construcción de las carreteras.

El comportamiento de los materiales granulares bajo las cargas del tráfico es diferente a los de las capas de rodadura, siendo estas en mezcla asfáltica o concreto hidráulico y a las de la misma subrasante, teniendo supuestamente un comportamiento similar, siendo estos suelos. Se carece de estudios significativos en los que se evidencie cómo es el comportamiento real de los materiales particulados, teniendo que evaluar las presiones de contacto que se producen partícula a partícula.

La base granular es la capa del pavimento ubicada entre la sub base granular y la capa asfáltica. Este material granular está constituido por gravas y arena principalmente, debe tener alta resistencia permitiendo un mejor soporte de las cargas de tránsito.

Por esta razón la falta de información en cuanto a caracterización y comportamiento de estos materiales ante las cargas. Lleva a que se plantee este proyecto con el objetivo de caracterizar el dos de los ítems que se desarrollan en las especificaciones INVIAS, como son la dureza y la geometría, las cuales ya se ha detectado que son fundamentales a la hora de proveer cómo se comportan las bases granulares en presencia de las cargas e incluso solo en el proceso de compactación.

La base granular debe cumplir con las especificaciones INVIAS 330. En donde se evalúan las características de dureza, durabilidad, limpieza, geometría, resistencia y granulometría. Los materiales evaluados se adquirieron de los ríos Pamplonita (fuente 1), cuenca baja y Zulia (fuente 2), cuenca media. En este proyecto se obtuvo inicialmente la distribución granulométrica de los materiales de estudio, seguidamente se caracterizó la geometría y dureza de los materiales con los ensayos indicados en la especificación del INVIAS, así mismo con los resultados obtenidos de las tres mediciones se realizó la comparación con la norma para obtener el cumplimiento o no de cada una de las muestras.

Las características físicas y mecánicas que menciona la norma que son: la Geometría de las partículas la cual son medidos por norma invias con los siguientes ensayos: Índices de alargamiento y aplanamiento INV E – 230 – 13; Caras fracturadas, INV E – 227 – 13. La Dureza de las partículas la cual se mide por los ensayos: desgaste de la Máquina de los Ángeles, INV E – 218 – 13; Degradación por Abrasión en el equipo Micro – Deval, INV E – 238 – 13; Evaluación de la resistencia mecánica por el método de 10% de finos, INV E – 224 – 13.

Con base a los resultados obtenidos y la observación del comportamiento de los materiales principalmente en los ensayos que miden la característica de dureza, se evidencio la importancia del cambio en el comportamiento de la distribución granulométrica que pueden sufrir sus materiales, así como en su geometría. Por lo que se decidió indagar más en este aspecto diseñando un procedimiento en el que se evaluó el cambio de la distribución granulométrica, una vez realizado uno de los ensayos de dureza.

Este documento propone una metodología para caracterizar e introducir criterios de selección de una base granular para su utilización en un pavimento. El proyecto presenta los siguientes capítulos: capítulo 1, el problema; capítulo 2, los objetivos; capítulo 3, la justificación; capítulo 4, los alcances y las limitaciones; capítulo 5, las delimitaciones; capítulo 6, el marco referencial; capítulo 7, el marco teórico ; capítulo 8, los marcos de referencias; capítulo 9, el diseño metodológico; capítulo 10, el desarrollo de la investigación; capítulo 11, los análisis de resultados; capítulo 12, las conclusiones; y el capítulo 13, las recomendaciones.

PROBLEMA

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Debido a las fallas que se presentan en las primeras etapas de vida de los pavimentos es necesario analizar si los materiales a utilizar en sus capas cumplen con las condiciones de calidad mínimas requeridas en las respectivas especificaciones de construcción en nuestro país. De ser el caso seguir indagando si son suficientes para caracterizar un material.

Por años se ha investigado las capas de pavimento teniendo en cuenta la caracterización física y mecánica de los materiales que conforman la capa de rodadura y el análisis de esfuerzos y deformaciones de la subrasante con el cálculo de su capacidad portante. Es de vital importancia también tener en cuenta las capas de granulares, ya que estos también desempeñan una función estructural dentro del mismo. Por ello se requiere evaluar no solo su resistencia, sino que también su comportamiento ante los procesos constructivos y ante las sollicitaciones presentes en una vía.

Es preciso saber si los materiales granulares tipo base granular de la ciudad de Cúcuta, están cumpliendo con las especificaciones contempladas en el INVIAS, y con base a los resultados obtenidos identificar nuevos procesos para la verificación de dichas características, teniendo en cuenta que deben reflejar las condiciones de campo.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Mediante el auge que tiene la construcción de obras de infraestructura vial para el beneficio de la sociedad, la implementación de obras en carreteras es de gran envergadura para el desarrollo económico del país ya que facilita la movilización de las personas, el tránsito y el transporte de carga con productos necesarios para las diferentes actividades productivas.

Por ello, es de vital importancia analizar el comportamiento mecánicas de los materiales que hacen parte de la estructura, con el objeto de buscar mejoras en los mismos y optimizar la vida útil del pavimento.

Por lo mencionado con anterioridad se plantea el estudio de material de dos bases granulares de dos empresas con el objetivo de verificar como es su comportamiento en función de las especificaciones INVIAS, en cuanto a su granulometría y geometría.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El conocimiento de las características de los materiales granulares empleados para la construcción de la estructura de un pavimento, es fundamental para la mitigación de los daños que se presentan a temprana edad de una vía.

Por esto razón se plantea la siguiente pregunta: ¿Qué importancia tiene la evaluación del comportamiento y la calidad de un material de base granular, para una obra de infraestructura vial en la ciudad de Cúcuta?

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el comportamiento de la granulometría, la geometría y dureza de dos materiales tipo base granular utilizados en la ciudad de Cúcuta.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Realizar los ensayos de granulometría y geometría para caracterizar dos materiales tipo base granular de la ciudad de Cúcuta
- Desarrollar los ensayos de la característica dureza de las bases para revisar el cumplimiento de las especificaciones INVIAS.
- Realizar el procesamiento de los datos obtenidos en los ensayos mencionados, con el objeto de definir el comportamiento de cada una de las bases granulares provenientes de las fuentes evaluadas.
- Comparar los resultados obtenidos de los materiales evaluados, con el objetivo de concluir sus diferencias.
- Elaborar una ficha técnica de las características evaluadas en los ensayos que estipula la norma de INVIAS 330.
- Plantear recomendaciones en caso de que sea pertinente a las empresas para mejorar la calidad de los materiales en cuanto las características evaluadas

JUSTIFICACIÓN

Gracias al diseño y desarrollo de sistemas de transporte que posea una población es posible que se dé el desarrollo de esta. Por ejemplo, la llegada de las vías férreas a los pequeños poblados de los Estados Unidos en el siglo XIX permitió la conexión de culturas, hábitos y costumbres. Este encuentro enriqueció grandemente (y de manera recíproca) la vida cotidiana de estos dos grandes grupos de personas: los habitantes de estos pueblos y las personas pertenecientes a grandes ciudades. El tren, entonces, se convirtió en sinónimo y símbolo de desarrollo social, cultural y económico.

De igual forma, en Colombia, la construcción y adecuación de sus ecosistemas ha dado pie a este desarrollo. Los grandes canales fluviales, que en décadas anteriores aportaron al desarrollo de las regiones y a los poblados con los que conectaban, aún prevalecen: en el municipio de Solita, Caquetá, las actividades agrícolas se llevan a cabo con la producción de plátano o yuca, las actividades ganaderas y de piscicultura, así como la producción de diversos productos lácteos hacen posible este desarrollo social.

Los anteriores ejemplos comparten una idea en común: el desarrollo de una comunidad se encuentra directamente ligado al desarrollo de sus sistemas de transporte, pues gracias a esto, es posible la comunicación e interacción de dos o más sectores o grupos sociales los cuales pueden resultar beneficiados mutuamente. Por lo tanto, resulta fundamental que la calidad y la durabilidad óptima sean características esenciales en el diseño y desarrollo de estas construcciones.

Para esto, se han creado normas y estatutos con especificaciones y criterios a cumplir en los diseños y ensayos a desarrollar. Para el caso particular de este documento, la norma que se tiene en cuenta es el Artículo INV 330 el cual estipula los procedimientos a llevar a cabo para la correcta disposición y posterior evaluación de bases granulares en el diseño y construcción de vías y autopistas.

Teniendo en cuenta lo anterior, la selección de los equipos, ensayos y materiales a utilizar constituyen las bases fundamentales para el correcto desarrollo de una vía sin importar su clasificación o nivel de importancia, evitando el agrietamiento o ahuellamiento que dificultan el tránsito. Es por esto que el presente proyecto centra su atención en determinar cuál es el comportamiento de la granulometría y geometría de las partículas de base granular posterior al ensayo de Desgaste de la Máquina de los Ángeles.

La evaluación y caracterización de las bases obtenidas de las fuentes seleccionadas de la ciudad de Cúcuta permitirá delimitar uno de los objetivos en cuestión y se podrá visualizar cómo es el comportamiento en las características evaluadas.

ALCANCES Y LIMITACIONES

ALCANCES:

- Con la realización de este proyecto se determinará el comportamiento de las características de geometría y la distribución granulométrica de las bases obtenidas en las fuentes seleccionadas de la ciudad de Cúcuta.
- Con la realización de este proyecto se determinará las propiedades de los materiales seleccionados de la ciudad de Cúcuta, permitiendo crear una ficha técnica en la que compile estas propiedades y las que se consideren complementarias o pertinentes.
- Esta ficha técnica funcionará como un documento que las compañías de construcción pueden considerar al buscar la máxima excelencia en sus proyectos.
- La realización de este proyecto ampliará el estado del conocimiento acerca del comportamiento de los materiales granulares de la ciudad de Cúcuta en cuanto a su afectación por procesos de compactación y desgaste.

LIMITACIONES:

- El proyecto se limitará a la caracterización del material de dos fuentes de la ciudad de Cúcuta para realizar el comparativo.
- La falta de disponibilidad de equipos e infraestructura del laboratorio de suelos con el propósito de llevar a cabo la comparación entre ambas.
- El proyecto se limitará a la evaluación de la geometría y granulometría de dos materiales tipo base granular disponibles en la ciudad de Cúcuta, por lo que constituye un documento fiable sólo en el marco geográfico en el que se desarrolla.
- Como limitación se tiene la escasez de recursos monetarios para la consecución de los materiales a evaluar. Además de la no colaboración o el interés por parte de las empresas para realizar la evaluación de sus materiales.

DELIMITACIONES

DELIMITACIÓN ESPACIAL:

El proyecto se llevará a cabo en la Universidad Francisco de Paula Santander, en la ciudad de Cúcuta, Colombia.

DELIMITACIÓN TEMPORAL:

La investigación está proyectada a efectuarse en el transcurso de 4 meses a partir de la fecha de aprobación por parte del comité curricular.

DELIMITACIÓN CONCEPTUAL:

- Base granular
- Pavimento
- Granulometría
- Geometría
- Dureza

MARCO REFERENCIAL

ANTECEDENTES Y EL ESTADO DEL ARTE

[1] Nombres: Caicedo B., Cacique A., Contreras C.

Título: Experimental Study of the strenght and crushing of unsaturated spherical particles.
University of los Andes.

Ciudad año presentación: Bogotá, Colombia- 2006

[2] Nombres: Hurtado Melo Julián

Título: ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL COMPORTAMIENTO DEL MATERIAL
GRANULAR EN PAVIMENTOS

Ciudad año presentación: Bogotá, Colombia- 2013

[3] Nombres: Alexander H., Reyes F.

Título: DEFORMACIÓN PERMANENTE DE MATERIALES GRANULARES EN PAVIMENTOS FLEXIBLES: ESTADO DEL CONOCIMIENTO

Ciudad año presentación: Bogotá, Colombia- 2009

[4] Nombres: Pérez Aguirre, V. & Meza Aristegui, P.

Título: CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA EL TRAZO DEL CAMINO VECINAL SALAMANCA HUAYTAPAMPA EN LA PROVINCIA DE CONDESUYOS – AREQUIPA

Ciudad año de presentación: Perú, Arequipa - 2020

[5] Nombres: Dorado, L. & Villalobos, F. A.

Título: Análisis de la caracterización geomecánica de materiales granulares gruesos usando el método de granulometría paralela.

Ciudad año de presentación: Santiago de Chile, Chile - 2019

[6] Nombres: Dorado, L. & Villalobos, F. A.

Título: Análisis de la caracterización geomecánica de materiales granulares gruesos usando el método de granulometría paralela.

Ciudad año de presentación: Santiago de Chile, Chile – 2019

MARCO TEÓRICO

BASE GRANULAR

Las características de los agregados pétreos que se empleen en la construcción de la base granular, de acuerdo a la norma deberán cumplir una serie de requisitos que se describen en la tabla 330-2 de las especificaciones de INVIAS que se encuentran en el artículo 330.

Para prevenir segregaciones y garantizar los niveles de compactación y resistencia exigidos por la presente especificación, el material que produzca el Constructor deberá dar lugar a una curva granulométrica uniforme y sensiblemente paralela a los límites de la franja, sin saltos bruscos de la parte superior de un tamiz a la inferior de un tamiz adyacente y viceversa.

ENSAYOS DE VERIFICACIÓN DE BASE GRANULAR

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO:

El análisis granulométrico tiene por objeto la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas de suelo. Esta norma describe el método para determinar los porcentajes de suelo que pasan por los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta el de No. 200. (INVIAS, 2013).

- EQUIPO:
 - Dos balanzas – Una con sensibilidad de 0.01 g para pesar material que pase el tamiz de 2 mm (No.10). Otra con sensibilidad 0.1 % del peso de la muestra, para pesar los materiales retenidos en el tamiz de 2 mm (No.10).
 - Tamices de malla cuadrada: 75 mm (3”) 2.00 mm (No.10) 50 mm (2”) 850 µm (No.20) 37.5 mm (1-1/2”) 425 µm (No.40) 25 mm (1”) 250 µm (No.60) 19.0 mm (3/4”) 106 µm (No.140) 9.5 mm (3/8”) 75 µm (No.200) 4.75 mm (No.4) ○ Horno – Capaz de mantener temperaturas uniformes y constantes hasta de 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F).
 - Envases – Adecuados para el manejo y secado de las muestras.
 - Cepillo y brocha – Para limpiar las mallas de los tamices.

- **CÁLCULOS:**

Valores de análisis de tamizado para la porción retenida en el tamiz No.10.

Se calcula el porcentaje que pasa el tamiz de No.10 dividiendo la masa que pasa dicho tamiz por la del suelo originalmente tomado y se multiplica el resultado por 100. Para obtener la masa de la porción retenida en el mismo tamiz, se resta de la masa original la masa del pasante por el tamiz No.10.

Para determinar el porcentaje total que pasa por cada tamiz, se divide la masa total que pasa por la masa total de la muestra y se multiplica el resultado por 100. Valores del análisis por tamizado para la porción que pasa el tamiz No.10. Se calcula el porcentaje de material que pasa por el tamiz de No.200. (INVIAS,2013)

RESISTENCIA A LA DEGRADACIÓN DE LOS AGREGADOS DE TAMAÑOS MENORES DE 37.5 mm (1½”) POR MEDIO DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES INVE-218 -13

Este ensayo mide la degradación de un agregado pétreo con una composición granulométrica definida, como resultado de una combinación de acciones que incluyen abrasión, impacto y molienda en un tambor de acero rotatorio que contiene un número determinado de esferas metálicas, el cual depende de la granulometría de la muestra de ensayo. A medida que gira el tambor, una pestaña de acero recoge la muestra y las esferas de acero y las arrastra hasta que caen por gravedad en el extremo opuesto del tambor, creando un efecto de impacto y trituración. Entonces, la muestra y las esferas ruedan dentro del tambor, hasta que la pestaña las levanta y se repite el ciclo. Tras el número especificado de revoluciones, se retira el contenido del tambor y se tamiza la porción de agregado para medir la degradación, como un porcentaje de pérdida.

- **EQUIPOS:**

- Máquina de Los Ángeles, consiste en un cilindro hueco de acero, cerrado en ambos extremos, con una longitud interior de 508 ± 5 mm (20 ± 0.2”) y un diámetro interior, de 711+ 5 mm (28 ± 0.2”), fabricado con una placa de acero de espesor no menor de 12.4 mm. El interior del cilindro deberá estar libre de protuberancias que alteren la trayectoria de la muestra y las esferas de acero, con excepción de la pestaña que se describe más adelante. El cilindro lleva en el centro de cada extremo un eje, que no penetra en su interior, quedando el cilindro montado de modo que pueda girar en posición horizontal. La máquina debe ser accionada y contrabalaceada en forma tal, que mantenga la velocidad periférica básicamente uniforme. Si se utiliza un perfil

angular como pestaña, el sentido de rotación debe ser tal, que la carga se recoja sobre la superficie exterior del perfil.

- Tamices
- Balanza- Con una exactitud mínima de 0.1 % en relación con la masa de ensayo, en cualquier punto dentro del intervalo de utilización.
- Carga – La carga consistirá en esferas de acero.
- Horno – Que pueda mantener una temperatura uniforme de 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F).

- **CALCULOS:**

El resultado del ensayo es la diferencia entre la masa original y la masa final de la muestra ensayada, expresada como tanto por ciento de la masa original.

$$\% \text{ pérdidas} = (P1 - P2/P1) \times 100$$

Ecuación 1. % de pérdidas – ensayo de desgaste

Donde:

P1: Masa de la muestra seca antes del ensayo,

P2: Masa de la muestra seca después del ensayo, previo lavado sobre tamiz de 1.70 mm (No. 12)

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL AGREGADO GRUESO A LA DEGRADACIÓN POR ABRASIÓN, UTILIZANDO EL APARATO MICRO-DEVAL INVE-238 -13

Esta norma describe un procedimiento para medir la resistencia a la abrasión de una muestra de agregado grueso utilizando el aparato Micro-Deval. Esta norma reemplaza la norma INV E 238 – 07.

- **EQUIPO:**

- Máquina de abrasión Micro.
- Recipientes cilíndricos.
- Carga abrasiva – La carga abrasiva está constituida por esferas magnéticas de acero inoxidable.

- Balanza
- Horno

- CÁLCULOS

Se calcula la pérdida por abrasión Micro-Deval, redondeada a 0.1 %, utilizando la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de pérdidas} = (A - B)/A \times 100$$

Ecuación 2. % de pérdidas – ensayo Micro-Deval

Donde:

A: Peso de material inicial.

B: Peso de material final.

DETERMINACIÓN DEL VALOR DEL 10% DE FINOS INVE-224 – 13

Esta norma cubre un procedimiento para evaluar la resistencia mecánica de un agregado grueso al aplastamiento cuando es sometido a un esfuerzo de compresión, determinando la carga necesaria para que el agregado produzca 10 % de finos, constituidos por el material que pasa el tamiz de 2.36 mm. Esta norma reemplaza la norma (INVIAS, 2013).

Se compacta en un cilindro metálico una muestra de agregado de tamaño especificado, aplicándole golpes con una varilla. La muestra compactada se somete gradualmente a un esfuerzo de compresión, a causa del cual sus partículas se van fragmentando en una cuantía que depende de su resistencia al aplastamiento. El grado de fragmentación del agregado se evalúa mediante el tamizado del espécimen a través de un tamiz No. 8, luego determinada la compresión. El procedimiento se realiza con varias cargas de compresión, con el fin de establecer la carga con la cual se produce en el agregado un 10 % de finos. (INVIAS, 2013).

- EQUIPO:

Conjunto de acero para montar la muestra en el dispositivo de compresión el cual está constituido por:

- Placa de base – Una placa de base cuadrada de 200 a 300 mm de lado y espesor mínimo de 10 mm. La placa debe tener una muesca o abatimiento de una profundidad

2.0 mm y del diámetro adecuado para que el cilindro de ensayo encaje perfectamente en ella.

- Pistón – Un pistón para aplicar esfuerzos de compresión a la muestra, de 152 ± 0.5 mm de diámetro.
- Varilla para compactación – Una varilla cilíndrica de sección circular recta de 16 ± 1 mm de diámetro, y de 600 ± 5 mm de longitud, con un extremo semiesférico.
- Recipiente cilíndrico de medida – Un recipiente cilíndrico de 115 ± 1 mm de diámetro interior y 180 ± 1 mm de altura, el cual tendrá como función proporcionar una medida de la muestra para el ensayo.
- Balanza – Con precisión de 1.0 g y una capacidad no menor de 3 kg.
- Tamices – Tamices de 12.7 mm ($1/2''$), 9.5 mm ($3/8''$) y 2.36 mm (No. 8), con tapa y la base respectiva.
- Bandeja – Una bandeja metálica de tamaño suficiente para manejar 3 kg de agregados.
- Pala – Una pala de cabo corto.
- Máquina para aplicar esfuerzos de compresión – Un sistema de carga o una prensa, con la capacidad de aplicar cargas hasta de 500 kN, con una de sus bases articulada, y que garantice la transmisión de cargas de una manera uniforme para alcanzar la carga máxima de ensayo en 10 minutos.
- Horno -Termostáticamente controlado y que pueda mantener una temperatura constante de $110 + 5^{\circ} \text{C}$ ($230 + 9^{\circ} \text{F}$).
- Una o más canastas de tela de alambre – Con aberturas no mayores de 6.35 mm ($1/4''$), o un recipiente perforado de tamaño adecuado y con una manija que permita su suspensión.
- Recipiente impermeable – Dentro del cual se sumergen las canastas en agua.
- Elementos accesorios – Mazo de caucho, cepillo con cerdas rígidas, regla metálica, toallas o papel absorbente, suministro de agua limpia.

• CÁLCULOS

Se calcula la fuerza F (en kN), redondeada al entero, requerida para producir 10 % de finos en cada espécimen cuyo pasante por el tamiz de 2.36 mm (No.8) se haya encontrado entre 7.5 % y 12.5 %, con la expresión:

$$F = (14 f) / (m + 4)$$

Ecuación 3. Fuerza requerida – ensayo de 10% de finos

Donde:

f: Máxima fuerza, KN

m: Porcentaje de material que pasa el tamiz de 2.36 mm. a la máxima fuerza, ($m = 100 * M2/M.$).

Se calcula el promedio de los dos resultados, redondeando a 10 kN si la fuerza calculada es de 100 kN o más, o a 5 kN, si la fuerza es menor de 100 kN. El valor obtenido de debe informar como el “valor del 10 % de finos”, salvo que los dos valores difieran en más de 10 kN y en más de 0.1 veces el valor promedio. En este caso, se repite el ensayo con otros dos especímenes y se calcula la mediana de los cuatro especímenes (nota 10), redondeando a 10 kN si la fuerza es de 100 kN o- más, o a 5 kN, si la fuerza es menor de 100 kN, y se reporta dicha mediana como el “valor del 10% de finos”. (INVIAS 2007)

MÉTODO PARA DETERMINAR PARTÍCULAS PLANAS, ALARGADAS O PLANAS Y ALARGADAS EN AGREGADOS GRUESOS

Este método cubre la determinación del porcentaje de partículas planas, alargadas o planas y alargadas, en un agregado grueso. Esta norma puede involucrar materiales, operaciones y equipos con algún riesgo de manejo. Esta norma no tiene el propósito de identificar los problemas de seguridad asociados con su uso. Ellos son responsabilidad del usuario de esta norma establecer las prácticas de seguridad y de salubridad apropiadas y determinar la aplicabilidad de limitaciones regulatorias antes de su uso. (INVE.240-07)

- **EQUIPO:**
 - Los aparatos usados deben estar aproximadamente equipados para ensayar las partículas de agregado con el fin de verificar su cumplimiento con las definiciones de la Sección 2, a las relaciones dimensionales deseadas.
 - Dispositivo de calibración proporcional es un ejemplo de todos los aparatos para este método de prueba. Consiste en una placa de base, con dos postes fijos y un brazo móvil montado entre los postes de tal forma que las aberturas entre el brazo y los postes mantienen una relación constante. La posición del eje puede ser ajustada para proveer la relación deseada de las dimensiones de apertura. Muestra un dispositivo en el cual las relaciones 1:2, 1:3, 1:4, y 1:5 pueden ser colocadas.
 - Balanza – La balanza debe tener una precisión del 0.5% de la masa de la muestra.

- **CÁLCULOS:**

Se calcula el porcentaje de partículas planas y alargadas, aproximando al 1% más cercano, para cada tamaño de tamiz mayor que 3/8" o no.4.

PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS EN LOS AGREGADOS

Esta norma describe el procedimiento para determinar el porcentaje en masa o por conteo de una muestra de agregado grueso compuesta por partículas fracturadas que cumplen con los requisitos específicos. Los valores deben expresarse en unidades SI. Esta norma no considera los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad de quien la emplee establecer prácticas apropiadas de seguridad y salubridad y determinar la aplicabilidad de limitaciones regulatorias antes de su empleo. (INVIAS,2013)

- **EQUIPO:**
 - Balanza – Una balanza de 5000 g de capacidad y aproximación de 1 g.
 - Tamices de 37.5, 25.0, 19.0, 12.5 y 9.5 mm (1½", 1", ¾", ½" y 3/8"). 4.3
 - Cuarteador – Cuarteador para la obtención de muestras representativas en concordancia con la norma INV E – 202.
 - Espátula – o utensilio similar para ayudar a separar los agregados.

- **CÁLCULOS:**

$$P = \frac{F}{F + N} * 100$$

Ecuación 4. Porcentaje de caras fracturadas

Donde:

P: Porcentaje de partículas con el número especificado de caras Fracturadas.

F: Masa o número de partículas fracturadas con, al menos, el número de caras fracturadas especificado.

N: Masa o número de partículas en la categoría de no fracturadas que no cumplen el criterio de partículas fracturadas.

MARCOS DE REFERENCIA

MARCO CONCEPTUAL

- Agregados gruesos: Se les llama agregado grueso a aquellas cuyas partículas se retienen en la malla No. 4.
- Agregados finos: consisten en arenas naturales o manufacturadas con tamaños de partícula que pueden llegar hasta 10 mm.
- Caracterización de agregados: determinación de los atributos y propiedades de los distintos materiales que constituyen una base granular
- Densidad: cantidad de masa de un material por unidad de volumen
- Granulometría: medición y cuantización de las partículas que posee una muestra de suelo o sedimento, es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado tal como se determina por análisis de tamices. El tamaño de partícula del agregado se determina por medio de tamices de malla de alambre aberturas cuadradas.

MARCO CONTEXTUAL

Los materiales evaluados se adquirieron de los ríos Pamplonita (cuena baja) y Zulia (cuena media). El proyecto se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad Francisco De Paula Santander, ubicada en la ciudad de Cúcuta, Norte de Santander. La cual nace en el año de 1962 específicamente el 5 de julio, la universidad es el centro educativo de educación superior más importante de la ciudad y del departamento de Norte de Santander, y una de las universidades públicas insignia del oriente colombiano. La universidad fue creada como una fundación de derecho privado con lecciones de economía. La cual más tarde fue Reconocida por Ordenanza 37 de 1964 y oficializada como ente de educación superior del orden departamental por medio del Decreto 323 del 13 de mayo de 1970 expedido por la Gobernación de Norte de Santander.

MARCO LEGAL

El Instituto Nacional de Vías inició labores el primero de enero de 1994 mediante el decreto 2171 del 30 de diciembre de 1992, que creó un establecimiento público del orden nacional, con personería jurídica, autonomía administrativa y patrimonio propio, adscrito al Ministerio de Transporte, que tuviera como objetivo ejecutar las políticas y proyectos relacionados con la infraestructura vial a cargo de la Nación.

El Instituto Colombiano de Normas Técnicas NTC 6093 y Certificación, ICONTEC, es el organismo nacional de normalización, según el Decreto 2269 de 1993.

Tabla 1. Referencias normativas a usar en el presente trabajo.

INV E 213 – 13	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO
INV E 218 – 13	RESISTENCIA A LA DEGRADACIÓN DE LOS AGREGADOS DE TAMAÑOS MENORES DE 37.5 mm (1½") POR MEDIO DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES
INV E 224 – 13	DETERMINACIÓN DEL VALOR DEL 10% DE FINOS
INV E 238 – 13	DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL AGREGADO GRUESO A LA DEGRADACIÓN POR ABRASIÓN, UTILIZANDO EL APARATO MICRO-DEVAL
INV E 227 – 13	PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS EN LOS AGREGADOS
INV E 240 – 13	MÉTODO PARA DETERMINAR PARTÍCULAS PLANAS, ALARGADAS O PLANAS Y ALARGADAS EN AGREGADOS GRUESOS

DISEÑO METODOLÓGICO

TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación realizada se encuentra en el marco experimental debido a que se desarrollaron ensayos de laboratorio con un comportamiento comparable teniendo en cuenta la realización de los ensayos de dureza, característica importante en la calidad de los agregados.

POBLACIÓN Y MUESTRA

POBLACIÓN:

Material de base granular para el diseño de las capas de un pavimento.

MUESTRA:

Dos materiales tipo base granular de la ciudad de Cúcuta.

FASES Y ACTIVIDADES DEL PROYECTO

- Fase 1: Obtención de material de dos bases granulares de la ciudad de Cúcuta.
- Fase 2: Ejecución de ensayos de laboratorio tales como granulometría, partículas planas y alargadas, caras fracturadas.
- Fase 3: Estudio del material: caracterización de la dureza del material mediante la realización de los ensayos de desgaste en la máquina de los ángeles, Micro - Deval y 10% de finos.
- Fase 4: Realizar la comparación y el análisis de los resultados obtenidos con el fin de definir recomendaciones para el mejoramiento de la calidad de los materiales evaluados.
- Fase 5: Conclusión y sustentación del proyecto

DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

SELECCIÓN DEL MATERIAL

El material estudiado fue seleccionado de dos fuentes hídricas de la ciudad de San José de Cúcuta, los ríos Pamplonita, correspondiente a la Fuente 1 y Zulia, correspondiente a la Fuente 2. Sobre estas fuentes se encuentran numerosas empresas trituradoras y extractoras especializadas en estos ámbitos. El material obtenido permitió evaluar las características geomecánicas del material presente en las fuentes mencionados gracias a los ensayos realizados.

CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL

Las características que se evaluaron corresponden a la geometría y la dureza del material mayormente, por lo que no se realizaron los ensayos requeridos para evaluar la limpieza, como límites líquido y plástico; la durabilidad; o la resistencia, como CBR. Se realizaron los siguientes ensayos:

- Ensayos de Geometría:

- INV E – 230 – 13: Índices de Aplanamiento y Alargamiento de los agregados para carreteras.
- INV E – 227 – 13: Porcentaje de partículas fracturadas en un agregado grueso.
- Ensayos de Dureza:
 - INV E – 218 – 13: Resistencia a la degradación de los agregados de tamaños menores a 37.5 mm (1½”) por medio de la Máquina de Los Ángeles.
 - INV E – 238 – 13: Determinación de la resistencia del agregado grueso a la degradación por abrasión, utilizando el aparato Micro-Deval.
 - INV E – 224 – 13: Determinación del valor del 10% de finos.

OBTENCIÓN Y PREPARACIÓN DEL MATERIAL DE BASE GRANULAR A EVALUAR

Para la escogencia de las muestras a trabajar en esta investigación se llevaron a cabo los siguientes procesos:

- Consecución del material: Inicialmente se tenía previsto que el material de base granular fuera otorgado por las empresas productoras. Fueron enviados correos a las empresas con este objetivo mas no hubo respuesta favorable de parte de ellas, por lo que se tomó la decisión de obtener el material con recursos propios.

-Transporte y almacenamiento: El transporte del material se realizó desde las empresas hasta las instalaciones del laboratorio. El material obtenido por la fuente 1 es procedente del rio Pamplonita, mientras que el de la fuente 2 es del rio Zulia, para las dos fuentes de 8 sacos de 40 kg. Suficiente muestra para los dos primeros periodos de la ejecución de los ensayos. Para el tercer periodo de ensayos, hubo necesidad de comprar más material, mas se encontró que la fuente 2 no se encontraba en producción en ese momento.

-Realización de Ensayos para caracterizar los materiales de cada fuente: Se procedió a la planeación de cada uno de los ensayos en los tres periodos correspondientes. Con el fin de lograr la caracterización de cada una de las fuentes en cuanto a la característica de geometría y el análisis de la granulometría.

ENSAYOS DE LABORATORIO

LAVADO SOBRE TAMIZ 200

El lavado sobre el tamiz 200 del material se hizo de acuerdo a INV – 214 – 13, determinación de la cantidad de material que pasa el tamiz de No. 200 en los agregados gruesos pétreos mediante lavado. Para esto, se llevó a cabo el proceso de cuarteo manual para tomar una muestra representativa con una correcta distribución de tamaños y finalmente se desarrolló el análisis granulométrico de los agregados.

Para el cuarteo, se tomaron las cantidades mínimas para su ejecución y posteriormente, se tomó el material y se tamizaron sus partículas para separar suelos gruesos de suelos finos. Posterior a esto, se lavaron las partículas de tamaños menores a $\frac{1}{4}$ " sobre el tamiz no. 200. Este lavado se realizó por medio del procedimiento A: Lavado con Agua Natural. El material lavado se llevó al horno para su secado y posterior tamizado.

El tamizado se desarrolló de acuerdo a la norma usando los siguientes tamices: tamiz no. 2", tamiz $1\frac{1}{2}$ ", tamiz 1", tamiz $\frac{3}{4}$ ", tamiz $\frac{1}{2}$ ", tamiz $\frac{3}{8}$ ", tamiz $\frac{1}{4}$ ", tamiz no. 4, tamiz no. 8, tamiz no. 40 y tamiz no. 200.

Posterior al tamizado, se separaron las partículas por sus tamaños en diferentes tazas y se pesaron las masas retenidas en los tamices para construir la tabla granulométrica con el objetivo de empezar a preparar y separar las fracciones necesarias para los ensayos de la característica dureza.



Figura 1. Lavado del material sobre el tamiz 200.



Figura 2. Separación del material seco por tamizado.

CARACTERÍSTICA DE GEOMETRÍA

- **INV E – 230 – 13: Índices de Aplanamiento y Alargamiento de los agregados para carreteras:**

Este ensayo se realizó con las partículas que se separaron en el tamizado descrito previamente. Al tener las partículas organizadas por tamaños y con sus masas determinadas, se procedió con la ejecución del ensayo: pasando manualmente las partículas por los tamices de barras y los

calibradores metálicos y pesando las masas retenidas y pasantes, respectivamente. Con los datos de las masas retenidas, pasantes y el total de cada tamaño, se determina los índices de aplanamiento y alargamiento para cada fracción y global.



Figura 3. Obtención del índice de alargamiento con los tamices de barras.



Figura 4. Obtención del índice de aplanamiento con el calibrador metálico.

- **INV E – 227 – 13: Porcentaje de partículas fracturadas en un agregado grueso:**

Teniendo las partículas separadas por tamaños y determinadas sus masas previamente se llevó a cabo el ensayo bajo el criterio de que las partículas presentaron al menos 1 cara la cual cuenta con un área de al menos un cuarto ($\frac{1}{4}$) de la sección transversal de la partícula. Las partículas fracturadas se separaron de las partículas que no presentaban fractura y se determinó la masa de la porción fracturada para posteriormente determinar con estos datos, el porcentaje de partículas fracturadas.



Figura 5. Clasificación de partículas fracturadas.

CARACTERÍSTICAS DE DUREZA

- **INV E – 218 – 13: Resistencia a la degradación de los agregados de tamaños menores a 37.5 mm (1½”) por medio de la Máquina de Los Ángeles:**

Para este ensayo se hizo de uso de las partículas anteriormente usadas en los ensayos de geometría, ya que estas fueron objeto de análisis visual y manual que no comprometieron su integridad física o química que pueda interferir el procedimiento que se describirá a continuación.

Tabla 2. Granulometría de las muestras.

Tamaños de Tamiz		Masas de las diferentes fracciones (g)			
Pasa Tamiz	Retenido en Tamiz	Granulometría			
		A	B	C	D
37.5 (1 1/2")	25 (1")				
25 (1")	19 (3/4")	1250 ± 25			
19 (3/4")	12.5 (1/2")	1250 ± 25			
12.5 (1/2")	9.5 (3/8")	1250 ± 10	2500 ± 10		
9.5 (3/8")	6.3 (1/4")	1250 ± 10	2500 ± 10	2500 ± 10	
6.3 (1/4")	4.75 (No. 4)			2500 ± 10	
4.75 (No. 4)	2.36 (No. 8)				5000 ± 10
Total		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

Fuente: INV E – 218 – 13 (INVIAS 2012)

Tabla 3. Carga necesaria para el ensayo según la granulometría.

Granulometría	Número de Esferas	Masa de la carga (g)
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

Fuente: INV E – 218 – 13 (INVIAS 2012)

Una vez analizada la granulometría y su distribución, se determinó la carga, la cual corresponde a la granulometría A, con una carga de 5000 g. Se separaron las tazas que contenían las partículas con los tamaños requeridos. Cada uno de estos tamaños debían cumplir con una masa de 1250 g. En los casos en los que la granulometría arrojaba masas menores, se completó con material adicional proveniente del material original. Este material se pasó a través de los tamices necesarios, se determinó su masa, se lavó y finalmente se secó al horno para poder ser ensayada en la máquina.

Preparada la muestra con la carga, se dio inicio a la máquina y se detuvo a las 100 y 500 revoluciones. En ambas ocasiones se sacó el material para ser tamizado por el tamiz no. 12 y se determinó la masa retenida y la masa pasante. Con estas masas es posible hallar el porcentaje de pérdidas.



Figura 6. Retiro de material de la máquina de los Ángeles.



Figura 7. Tamizado del material luego del ensayo de desgaste.

• **INV E – 238 – 13: Determinación de la resistencia del agregado grueso a la degradación por abrasión, utilizando el aparato Micro-Deval:**

Para este ensayo se preparó la cantidad necesaria correspondiente a la siguiente tabla.

Tabla 4. Cantidades de material necesarias.

PASA TAMIZ	RETENIDO EN EL TAMIZ	MASA
19 mm	16 mm	375 g
16 mm	12.5 mm	375 g
12.5 mm	9.5 mm	750 g

Fuente: INV E – 238 – 13 (INVIAS 2012)

Se sometió a inmersión la muestra en 2 litros de agua por 1 hora en una taza. Posterior a esto, se introdujo dentro del cilindro la muestra con el agua usada en la inmersión y la carga, que se constituye por esferas de acero.



Figura 8. Preparación del cilindro de ensayo.



Figura 9. Material y carga retirados del cilindro luego del desgaste.

Se dio inicio a la máquina para que produjera revoluciones durante 2 h. Terminado el tiempo, se vació el contenido sobre los tamices no. 4 y no. 16 y con la ayuda de un imán se retiraron las esferas y se lavó el material con agua limpia. El material comprendido entre los dos tamices y determinó su masa seca para calcular las pérdidas.

• **INV E – 224 – 13: Determinación del valor del 10% de finos:**

Para este ensayo se hizo uso de material pasante por el tamiz 1/2” y retenido en el tamiz 3/8”, se lavó el material y se secó en el horno. La cantidad de material necesaria para un ensayo corresponde a 6 especímenes de 3000 g promedio ya que aquí se dispone del volumen del molde y no de su peso dispuestos para ser sometidos al ensayo en condición seca y saturada, ambas con una preparación distinta. Esta masa fue determinada gracias al cilindro de medida al compactar el material en 3 capas con 25 golpes con una varilla de punta redondeada.

La preparación de los especímenes en condición seca consistió en secar el material al horno y para los especímenes en condición saturada, someter el material a inmersión con ayuda de una canasta metálica durante 24 horas. Se removió el aire atrapado levantando y dejando caer 25 veces la canasta una altura de 2.5 cm. Terminado el período de saturación, se sacaron los especímenes del agua y con la ayuda de una bandeja y telas se procedió a secar la superficie de las partículas.

Determinadas las masas de los especímenes en las dos condiciones, se preparó la máquina instalándole la placa base y el cilindro de ensayo, para luego disponer el material dentro de este cilindro y nuevamente ser compactado en 3 capas con 25 golpes cada capa.



Figura 10. Muestras en período de saturación.

Con el material dispuesto en el molde, se ubicó el pistón encima del cilindro y con la ayuda de un rotulador de punta fina se hizo un par de marcas en el pistón. Estas marcas se hicieron con el objetivo de conocer el momento preciso en el cual se debía detener la máquina en el caso de que la penetración fuera alcanzada en un tiempo menor al tiempo de penetración, correspondiente a 10 min. La distancia entre las marcas fue de 20 mm, distancia correspondiente a la penetración requerida por el tipo de material usado.

Tabla 5. Penetración requerida del pistón durante el ensayo.

TIPO DE AGREGADO	PENETRACIÓN, mm
Redondeado o parcialmente redondeado; por ejemplo, grava natural	15
Agregados triturados normales	20
Agregados vesiculares; por ejemplo, escoria	24

Fuente: INV E – 224 – 13 (INVIAS 2012)

**Figura 11. Compactación del material en la máquina de penetración.**



Figura 12. Instalación del material antes de ensayar.

Se dio inicio a la máquina y al alcanzar la penetración, se detuvo la máquina, se anotó la fuerza alcanzada y el tiempo de compactación y se sacó el material del cilindro dándole golpes al mismo con la ayuda de un martillo de goma. La penetración alcanzada se tuvo en un periodo alrededor de los 4 minutos según los especímenes ensayados. Aun así, con un periodo menor al establecido en la norma, se determinó la fuerza necesaria para producir un 10% de finos.



Figura 13. Material después del ensayo.

• **INV E – 133 – 13: Equivalente de arena de suelos y agregados finos:**

El ensayo se realizó como adicional para mirar la calidad del material referente a su característica de limpieza. Se preparó la muestra de la siguiente manera: de la granulometría anterior se tomó 1500 g del material que pasa el tamiz no. 4 y se separó en 4 especímenes de igual masa.

El ensayo se desarrolló de la siguiente manera: una vez preparada la muestra, se vertió solución de trabajo de cloruro de calcio en el cilindro graduado hasta una altura de 100 mm y con la ayuda del embudo se introdujo con cuidado la muestra en el cilindro. Se retiró el aire del cilindro golpeando suavemente la base del cilindro y se dejó en reposo por 10 min. Pasado este periodo, se tapó el cilindro y se agitó con el material dentro de manera manual, es decir, sin uso de maquinaria.

Luego de agitar, se procedió el proceso de “irrigación”. Para esto, se insertó el tubo irrigador en el cilindro y se lavó el material adherido en las paredes del cilindro a medida que se hacía descender el irrigador. Se llega al fondo sin cortar el flujo para lograr que las partículas del fondo, sean impulsadas quedando suspendidas por encima de la arena. El proceso de “irrigación” finaliza cuando se saca lentamente el tubo hasta que marque una altura de aproximadamente 380 mm.

Hecho esto, se deja en reposo por 20 min para poder observar claramente la lectura de arcilla, la cual se hace de forma estrictamente visual. Luego de tomar la lectura de arcilla, se determinó la altura de arena introduciendo el dispositivo para tomar lecturas hasta posarse sobre la arena. Hecho esto, se determinó la lectura de la arena restando 254 mm del nivel superior del indicador y se anotó dicho resultado. Finalizado esto, se agitó el cilindro para deshacer el material suspendido y se vació el contenido.



Figura 14. Vertimiento de solución en el cilindro graduado.



Figura 15. Material luego del periodo de reposo.



Figura 16. Lectura de la altura de arena.

RESULTADOS

Se puede apreciar en cada tabla el resultado de cada ensayo según la especificación de INVIAS y se define si está cumpliendo con la norma.

- **MES 1 - FUENTE 1:** Durante el primer mes se realizaron los siguientes ensayos:

Tabla 6. Granulometría 1 – Fuente 1

Granulometría 1 – Fuente 1					
Tamiz	Tamiz pulg. (mm)	Peso retenido	% retenido	% acumulado	% pasa
2	50.80	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2	38.10	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1	25.40	2902.80	19.35%	19.35%	80.65%
3/4	19.05	2414.10	16.09%	35.45%	64.55%
1/2	12.70	1722.00	11.48%	46.93%	53.07%
3/8	9.53	716.00	4.77%	51.70%	48.30%
1/4	6.35	768.00	5.12%	56.82%	43.18%
no. 4	4.75	1288.40	8.59%	65.41%	34.59%
no. 10	1.90	874.00	5.83%	71.24%	28.76%
no. 40	0.42	1428.00	9.52%	80.76%	19.24%
no. 200	0.074	2312.00	15.41%	96.17%	3.83%
Fondo		574.70	3.83%	100.00%	0.00%
Total		15000.00	100%		

Peso antes del secado	15000.00
Peso después del secado	14425.30
% de pérdidas	3.83%

Se puede notar que el comportamiento de la granulometría se mantiene en el rango que recomienda la norma, pero se encuentra muy al límite, se recomienda en los tamices para fraccionar el material grueso no aplicar mucho material para que la curva se pueda levantar.

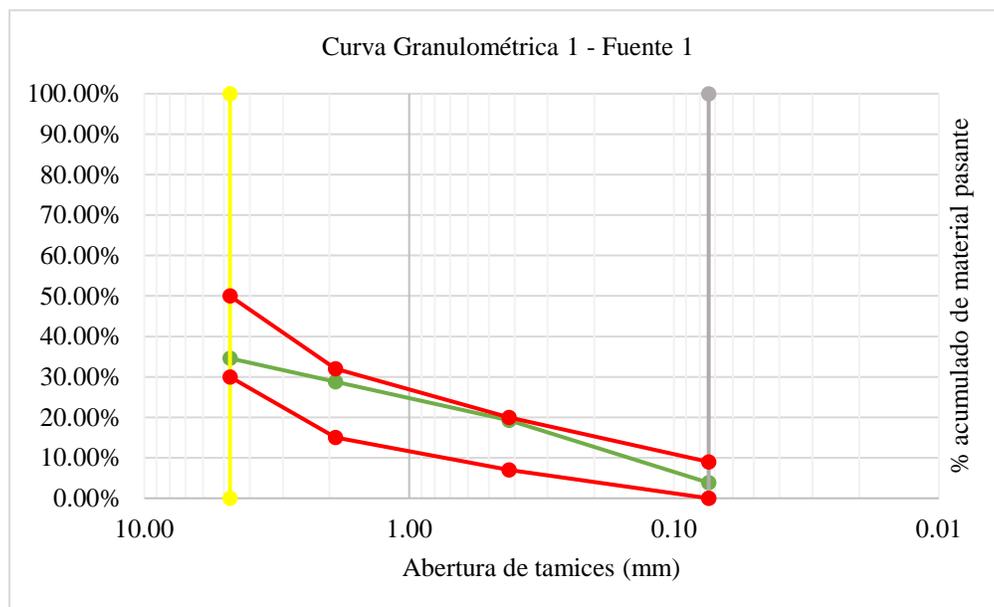


Figura 17. Comportamiento de la curva granulométrica 1 – Fuente 1

Tabla 7. Índices de alargamiento y aplanamiento 1 – Fuente 1

Índice de Aplanamiento 1 - Fuente 1				
Tamices	Peso	Pasan (malas)	IA	Cumple la Norma
1 1/2 - 1	2902.00	493.60		
1 - 3/4	2414.00	327.00		
3/4 - 1/2	1722.00	616.00	20.59%	CUMPLE
1/2 - 3/8	716.00	152.00		
3/8 - 1/4	768.00	166.00		
Total	8522.00	1754.60		

Índice de Alargamiento 1 - Fuente 1				
Tamices	Peso	Pasan (buenas)	IL	Cumple la Norma
1 1/2 - 1	2902.00	2802.00		
1 - 3/4	2414.00	1854.00		
3/4 - 1/2	1722.00	966.00	21.52%	CUMPLE
1/2 - 3/8	716.00	528.00		
3/8 - 1/4	768.00	538.00		
Total	8522.00	6688.00		

Tabla 8. Caras fracturadas 1 – Fuente 1

% de Partículas Fracturadas 1			
Tamices	Peso	Peso Fracturadas	% fracturadas
1 1/2 - 1	2902.00	1799.20	
1 - 3/4	2414.00	1909.40	
3/4 - 1/2	1722.00	935.40	
1/2 - 3/8	716.00	519.80	66.67%
3/8 - 1/4	768.00	517.80	
Total	8522.00	5681.60	

El comportamiento del ensayo de Índice de alargamiento y aplanamiento da cumplimiento con la norma, mientras el ensayo de caras fracturadas cumple solo con la clase C la cual puede soportar un nivel de tránsito liviano.

Tabla 9. Desgaste de la máquina de los Ángeles 1 – Fuente 1

Máquina de Los Ángeles 1 – Fuente 1				
Peso inicial	Revoluciones	Peso final	% de pérdidas	Cumple la Norma
5000,00	100,00	4672,200	6,6%	CUMPLE
5000,00	400,00	3122,000	37,6%	CUMPLE

Tabla 10. Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval 1 – Fuente 1

Micro - Deval 1 – Fuente 1			
Peso inicial	Peso final	% de pérdidas	Cumple la Norma
1500,00	1365,00	9,00%	CUMPLE

Tabla 11. Evaluación de la resistencia mecánica por el método de 10% de finos 1 – Fuente 1

10 % de finos 1									
	Espécimen	Peso M1 (g)	Fuerza Aplicada (kN)	Tiempo de compactación (s)	F (kN)	M3 (g)	M2 (g)	% finos	Cumple la Norma
Condición Seca	P	2676.0	163	238	130	2320.8	348.1	13.01%	CUMPLE
	BC	2701.2	164	242	130	2319.3	372.2	13.78%	CUMPLE
	L-15	2678.5	129	208	130	2408	261	9.74%	CUMPLE
Condición Saturada	L-11	2665.9	126	220	110	2339	319	11.97%	CUMPLE
	L-7	3115.4	243	254	200	2699	408	13.10%	CUMPLE
	D-8	3242.9	174	260	130	2745	492	15.17%	CUMPLE

Según la característica de dureza analizada en los ensayos de las especificaciones, tenemos que dan cumplimiento con el ensayo desgaste de la máquina de los Ángeles, degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval y el ensayo de 10% de finos.

Tabla 12. Equivalente de arena 1 – Fuente 1

Equivalente de Arena 1 – Fuente 1	
Lectura superior. (in)	11,1
Lectura inferior. (in)	2,9
EA	27

No da cumplimiento con el ensayo ya que la especificación recomienda 30% como mínimo.

- **MES 2 - FUENTE 1:** Durante el segundo mes se realizaron los siguientes ensayos:

Tabla 13. Granulometría 2 – Fuente 1

Granulometría 2					
Tamiz	Tamiz pulg (mm)	Peso retenido	%	% acumulado	% pasa
2	50.80	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2	38.10	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1	25.40	1499.10	12.28%	12.28%	87.72%
3/4	19.05	1151.50	9.43%	21.71%	78.29%
1/2	12.70	1290.00	10.56%	32.27%	67.73%
3/8	9.53	716.60	5.87%	38.14%	61.86%
1/4	6.35	748.00	6.13%	44.27%	55.73%
no. 4	4.75	291.40	2.39%	46.65%	53.35%
no. 10	1.90	1064.50	8.72%	55.37%	44.63%
no. 40	0.42	1563.00	12.80%	68.17%	31.83%
no. 200	0.074	2204.00	18.05%	86.22%	13.78%
Fondo		1682.90	13.78%	100.00%	0.00%
Total		12211.00	100%		

Peso antes del secado	12211.00
Peso después del secado	10528.10
% de pérdidas	13.78%

Se puede notar que el comportamiento de la granulometría se sale del rango que recomienda la norma, el material grueso tiene muy buen comportamiento por el contrario los tamices que están después del tamiz N.4 está por encima del rango que exige las especificaciones, se recomienda utilizar más material de estas series de tamices para que la curva baje.

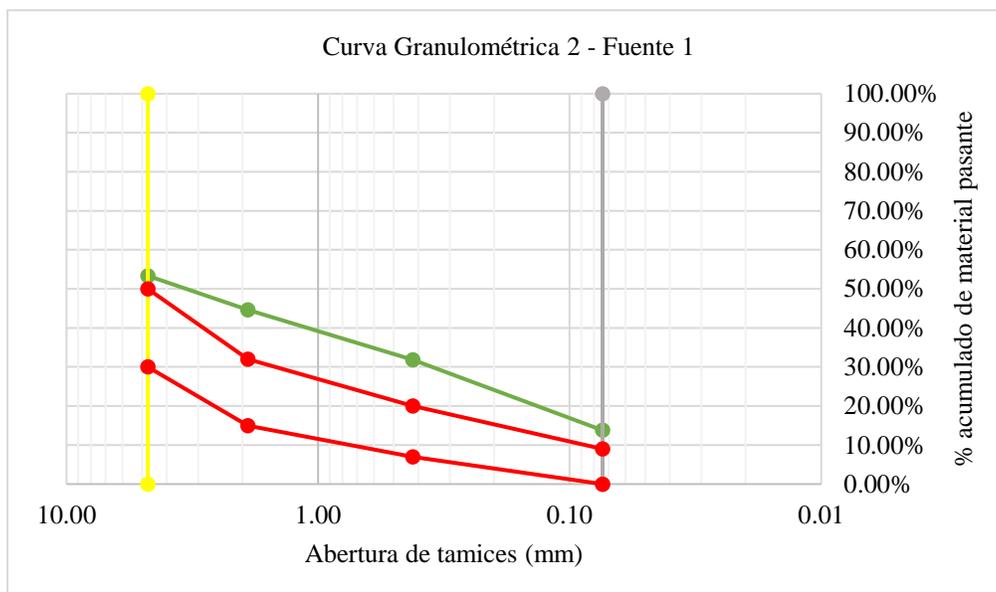


Figura 18. Comportamiento de la curva granulométrica 2 – Fuente 1

Tabla 14. Índices de alargamiento y aplanamiento 2 – Fuente 1

Índice de Aplanamiento 2				
Tamices	Peso	Pasan (malas)	IA	Cumple la Norma
1 1/2 - 1	1499.10	335.60		
1 - 3/4	1151.50	243.52		
3/4 - 1/2	1290.00	306.20		
1/2 - 3/8	716.60	160.11	22.92%	CUMPLE
3/8 - 1/4	748.00	193.30		
Total	5405.20	1238.73		

Índice de Alargamiento 2				
Tamices	Peso	Pasan (buenas)	IL	Cumple la Norma
1 1/2 - 1	1499.10	1315.48		
1 - 3/4	1151.50	743.11		
3/4 - 1/2	1290.00	445.00		
1/2 - 3/8	716.60	456.15	36.50%	NO CUMPLE
3/8 - 1/4	748.00	472.75		
Total	5405.20	3432.48		

Tabla 15. Caras fracturadas 2 – Fuente 1

% de Partículas Fracturadas 2 – Fuente 1			
Tamices	Peso	Peso Fracturadas	% fracturadas
1 1/2 - 1	1499,10	1425,56	
1 - 3/4	1088,03	819,13	
3/4 - 1/2	1215,69	944,72	82,80%
1/2 - 3/8	675,25	479,90	
3/8 - 1/4	705,24	622,27	
Total	5183,30	4291,57	

El comportamiento del ensayo de Índice de alargamiento y aplanamiento da cumplimiento con la norma, mientras el ensayo de caras fracturadas cumple solo con la clase C la cual puede soportar un nivel de tránsito liviano.

Tabla 16. Desgaste de la máquina de los Ángeles 2 – Fuente 1

Máquina de Los Ángeles 2				
Peso inicial	Revoluciones	Peso final	% de pérdidas	Cumple la Norma
5000.00	100.00	4531.400	9.37%	NO CUMPLE
5000.00	400.00	3232.800	35.3%	CUMPLE

Tabla 17. Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval 2 – Fuente 1

Micro - Deval 2				
Peso inicial	Peso final	% de pérdidas	Cumple la Norma	
1500.00	1348.00	10.13%	CUMPLE	

Tabla 18. Evaluación de la resistencia mecánica por el método de 10% de finos 2 – Fuente 1

10 % de finos 2									
	Espécimen	Peso M1 (g)	Fuerza Aplicada (kN)	Tiempo de compactación (s)	F (kN)	M3 (g)	M2 (g)	% finos	Cumple la Norma
Condición Seca	F-5	2673.1	183	234	150	2320.8	348.1	13.02%	CUMPLE
	L-3	2701.0	175	239	140	2319.3	372.2	13.78%	CUMPLE
	M-1	2678.4	169	225	170	2408	261	9.74%	CUMPLE
Condición Saturada	K-8	2667.0	124	216	110	2339	319	11.96%	CUMPLE
	040	3114.9	240	241	200	2699	408	13.10%	CUMPLE
	J-10	3246.8	200	242	150	2745	492	15.15%	CUMPLE

Según la característica de dureza analizada en los ensayos de las especificaciones, tenemos que dan cumplimiento con el ensayo desgaste de la máquina de los Ángeles, degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval y el ensayo de 10% de finos.

Tabla 19. Equivalente de arena 2 – Fuente 1

Equivalente de Arena 2	
Lectura superior (in)	12
Lectura inferior. (in)	2.6
EA	22

No da cumplimiento con el ensayo ya que la especificación recomienda 30% como mínimo.

• **MES 3 - FUENTE 1:** Durante el tercer mes se realizaron los ensayos mencionados a continuación. Después de haber ejecutado los ensayos de granulometría y geometría, se procedió a aplicar el ensayo de desgaste de la máquina de los ángeles, INV E218, para analizar el comportamiento de las partículas en cuanto a la granulometría y geometría antes y después del desgaste.

Tabla 20. Granulometría 3 – Fuente 1

Granulometría 3					
Tamiz	Tamiz pulg (mm)	Peso retenido	%	% acumulado	% pasa
2	50.80	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2	38.10	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1	25.40	2247.80	14.99%	14.99%	85.01%
3/4	19.05	1484.60	9.90%	24.88%	75.12%
1/2	12.70	1540.90	10.27%	35.16%	64.84%
3/8	9.53	872.70	5.82%	40.97%	59.03%
1/4	6.35	975.70	6.50%	47.48%	52.52%
no. 4	4.75	289.00	1.93%	49.40%	50.60%
no. 10	1.90	1247.40	8.32%	57.72%	42.28%
no. 40	0.42	2272.00	15.15%	72.87%	27.13%
no. 200	0.074	2976.00	19.84%	92.71%	7.29%
Fondo		1093.90	7.29%	100.00%	0.00%
Total		15000.00	100.00%		

Peso antes del secado	15000.00
Peso después del secado	13906.10
% de pérdidas	7.29%

Se puede notar que el comportamiento de la granulometría se sale del rango que recomienda la norma, el material grueso tiene muy buen comportamiento por el contrario los tamices que están después del tamiz N.4 está por encima del rango que exige las especificaciones, se recomienda utilizar más material de estas series de tamices para que la curva baje.

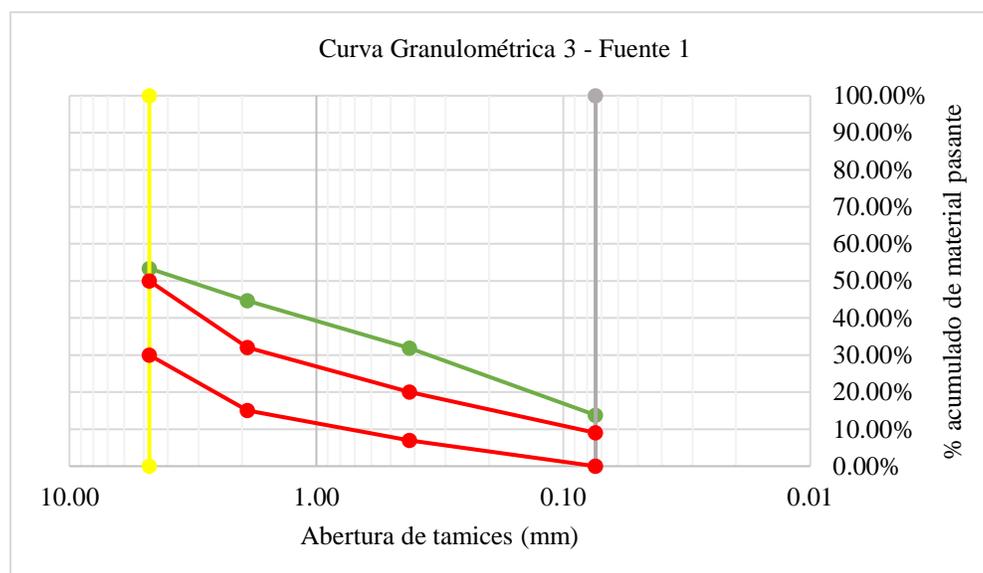


Figura 19. Comportamiento de la curva granulométrica 3 – Fuente 1

Tabla 21. Índices de alargamiento y aplanamiento 3 – Fuente 1

Índice de Aplanamiento 3				
Tamices	Peso	Pasan (malas)	IA	Cumple la Norma
1 1/2 - 1	1123.90	308.60		
1 - 3/4	742.30	148.70		
3/4 - 1/2	770.45	121.50		
1/2 - 3/8	436.35	331.60	35.33%	NO CUMPLE
3/8 - 1/4	487.85	347.70		
Total	3560.85	1258.10		

Índice de Alargamiento 3				
Tamices	Peso	Pasan (buenas)	IL	Cumple la Norma
1 1/2 - 1	1123.90	952.60		
1 - 3/4	742.30	631.60		
3/4 - 1/2	770.45	571.60		
1/2 - 3/8	436.35	92.70	34.09%	CUMPLE
3/8 - 1/4	487.85	98.50		
Total	3560.85	2347.00		

Tabla 22. Caras fracturadas 3 – Fuente 1

% de Partículas Fracturadas 3 – Fuente 1			
Tamices	Peso	Peso Fracturadas	% fracturadas
1 1/2 - 1	1123.90	845.59	
1 - 3/4	742.30	575.82	
3/4 - 1/2	770.45	490.60	
1/2 - 3/8	436.35	314.11	72.89%
3/8 - 1/4	487.85	369.53	
Total	3560.85	2595.65	

El comportamiento del ensayo de Índice de alargamiento da cumplimiento con la norma y el de aplanamiento no cumple por solo un 0,33% de partículas planas, el ensayo de caras fracturadas no cumple con ningún nivel de tránsito.

Tabla 23. Desgaste de la máquina de los ángeles 3 – Fuente 1

Máquina de Los Ángeles 3 – Fuente 1				
Peso inicial	Revoluciones	Peso final	% de pérdidas	Cumple la Norma
5000,00	100,00	4608,300	7,8%	CUMPLE
5000,00	400,00	3171,000	36,6%	CUMPLE

Tabla 24. Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval 3 – Fuente 1

Micro - Deval 3			
Peso inicial	Peso final	% de pérdidas	Cumple la Norma
1500.00	1359.00	9.40%	CUMPLE

Tabla 25. Evaluación de la resistencia mecánica por el método de 10% de finos 3 – Fuente 1

10 % de finos 3									
	Espécimen	Peso M1 (g)	Fuerza Aplicada (kN)	Tiempo de compactación (s)	F (kN)	M3 (g)	M2 (g)	% finos	Cumple la Norma
Condición Seca	P	2648.02	167	233	140	2297.592	345.778	13.06%	CUMPLE
Condición Seca	BC	2670.04	167	238	130	2296.1	365.9	13.70%	CUMPLE
Condición Seca	L-15	2648.42	133	216	140	2383.9	257.2	9.71%	CUMPLE
Condición Saturada	L-11	2643.57	120	215	100	2315.61	320.08	12.11%	CUMPLE
	L-7	3079.73	237	244	200	2672.01	399.04	12.96%	CUMPLE
	D-8	3153.19	176	246	140	2717.55	428.52	13.59%	CUMPLE

Según la característica de dureza analizada en los ensayos de las especificaciones, tenemos que dan cumplimiento con el ensayo desgaste de la máquina de los Ángeles, degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval y el ensayo de 10% de finos.

A continuación, se muestran los resultados de los ensayos luego de haber pasado por el ensayo de la Máquina de los Ángeles.

Tabla 26. Granulometría luego del ensayo de Desgaste – Fuente 1

Granulometría 3'					
Tamiz	Tamiz pulg (mm)	Peso retenido	%	% acumulado	% pasa
2	50.80	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2	38.10	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1	25.40	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
3/4	19.05	444.00	8.88%	8.88%	91.12%
1/2	12.70	455.00	9.10%	17.98%	82.02%
3/8	9.53	241.00	4.82%	22.80%	77.20%
1/4	6.35	466.40	9.33%	32.13%	67.87%
no. 4	4.75	267.40	5.35%	37.48%	62.52%
no. 10	1.90	687.50	13.75%	51.23%	48.77%
no. 40	0.42	630.00	12.60%	63.83%	36.17%
no. 200	0.074	716.00	14.32%	78.15%	21.85%
Fondo		1092.70	21.85%	100.00%	0.00%
Total		5000.00	100%		

Peso antes del desgaste	5000.00
Peso después del desgaste	3907.30
% de pérdidas	21.85%

Revisando el comportamiento de la franja granulométrica después de haber realizado el ensayo de desgaste en la máquina de los ángeles, se pudo notar que el material tenía inicialmente un 100% de material grueso y luego se convirtió en un 62,52 % de material fino.

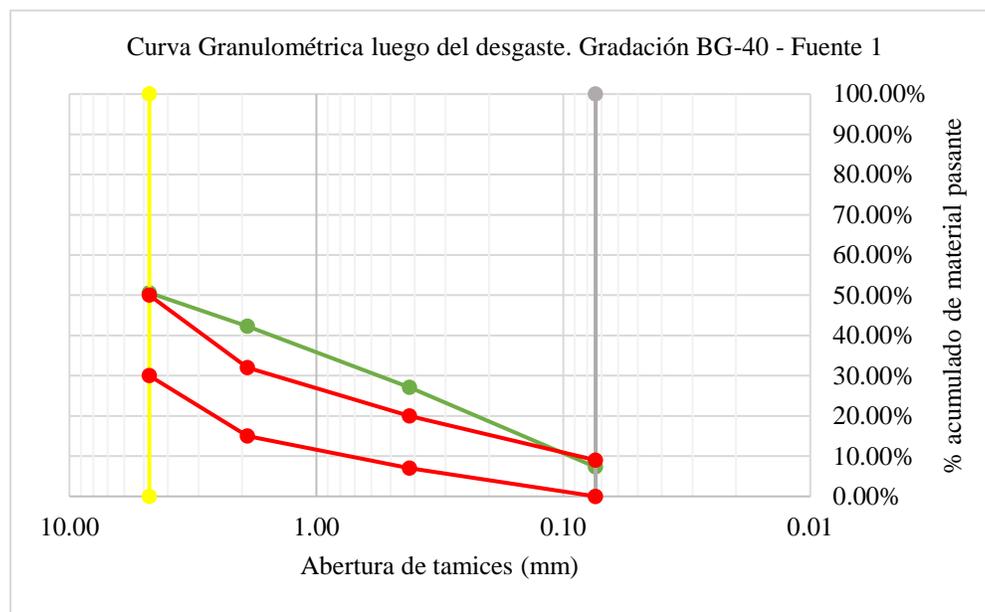


Figura 20. Comportamiento de la curva granulométrica luego del ensayo de desgaste – Fuente 1

Tabla 27. Índices de alargamiento y aplanamiento luego del desgaste – Fuente 1

Índice de Aplanamiento luego del desgaste – Fuente 1				
Tamices	Peso	Pasan (malas)	IA	Cumple la Norma
1 - 3/4	444.00	17.00		
3/4 - 1/2	455.00	18.60		
1/2 - 3/8	241.00	7.20	4.06%	CUMPLE
3/8 - 1/4	466.40	22.40		
Total	1606.40	65.20		

Índice de Alargamiento luego del desgaste – Fuente 1				
Tamices	Peso	Pasan (buenas)	IL	Cumple la Norma
1 - 3/4	444.00	444.00		
3/4 - 1/2	455.00	409.00		
1/2 - 3/8	241.00	216.20	9.90%	CUMPLE
3/8 - 1/4	466.40	378.20		
Total	1606.40	1447.40		

Tabla 28. Caras fracturadas luego del desgaste – Fuente 1

% de Partículas Fracturadas luego del desgaste – Fuente 1			
Tamices	Peso	Peso Fracturadas	% fracturadas
1 1/2 - 1	0.00	0.00	
1 - 3/4	444.00	364.80	
3/4 - 1/2	455.00	387.40	
1/2 - 3/8	241.00	211.40	86.90%
3/8 - 1/4	466.40	432.40	
Total	1606.40	1396.00	

La característica de geometría después de analizar el ensayo de dureza en la máquina de los ángulos, se sigue comportando según las especificaciones.

- **MES 1 - FUENTE 2:** Durante el tercer mes se realizaron los ensayos mencionados a continuación.

Tabla 29. Granulometría 1 – Fuente 2

Granulometría 1					
Tamiz	Tamiz pulg (mm)	Peso retenido	% retenido	% acumulado	% pasa
2	50.80	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2	38.10	410.30	3.24%	3.24%	96.76%
1	25.40	1441.40	11.37%	14.61%	85.39%
3/4	19.05	1449.50	11.43%	26.04%	73.96%
1/2	12.70	1392.00	10.98%	37.02%	62.98%
3/8	9.53	642.60	5.07%	42.09%	57.91%
1/4	6.35	853.60	6.73%	48.82%	51.18%
no. 4	4.75	644.20	5.08%	53.90%	46.10%
no. 10	1.90	1153.00	9.09%	63.00%	37.00%
no. 40	0.42	1546.40	12.20%	75.20%	24.80%
no. 200	0.074	1795.00	14.16%	89.35%	10.65%
Fondo		1349.60	10.65%	100.00%	0.00%
Total		12677.60	100%		

Peso antes del secado	12677.60
Peso después del secado	11328.00
% de pérdidas	10.65%

Se puede notar que el comportamiento de la granulometría se sale del rango que recomienda la norma, el material grueso tiene muy buen comportamiento por el contrario los tamices que están después del tamiz N.4 se encuentran por encima del rango que exige las especificaciones, se recomienda utilizar más material de estas series de tamices para que la curva baje.

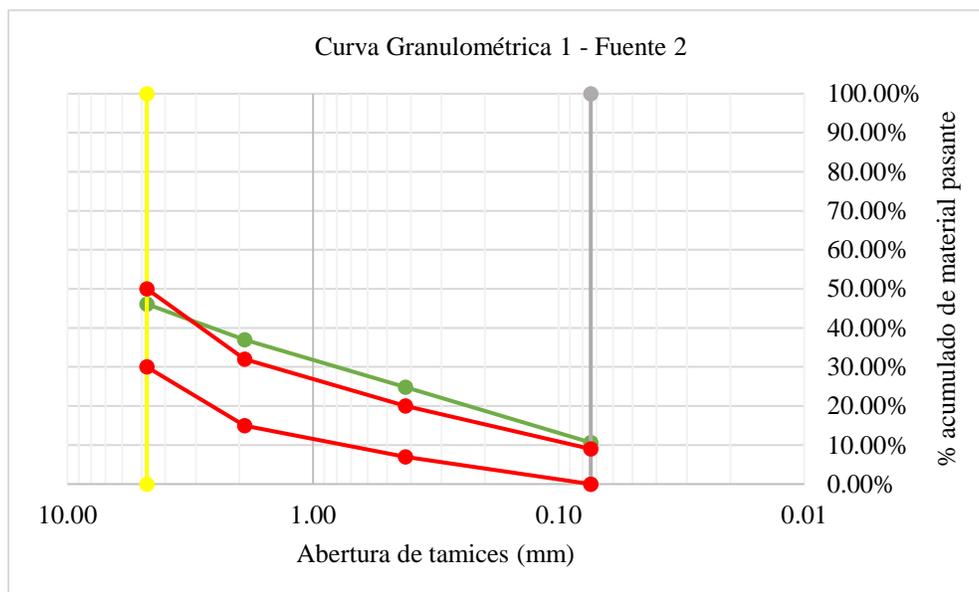


Figura 21. Comportamiento de la curva granulométrica 1 – Fuente 2

Tabla 30. Índices de alargamiento y aplanamiento 1 – Fuente 2

Índice de Aplanamiento 1				
Tamices	Peso	Pasan (malas)	% buenas	Cumple la Norma
2 - 1 1/2	410.30	119.50		
1 1/2 - 1	1441.40	296.71		
1 - 3/4	1449.50	232.38		
3/4 - 1/2	1392.00	262.45	18.60%	CUMPLE
1/2 - 3/8	642.60	90.77		
3/8 - 1/4	853.60	149.17		
Total	6189.40	1150.99		

Índice de Alargamiento 1				
Tamices	Peso	Pasan (buenas)	% buenas	Cumple la Norma
2 - 1 1/2	410.30	239.00		
1 1/2 - 1	1441.40	516.00		
1 - 3/4	1449.50	144.99		
3/4 - 1/2	1392.00	968.27	52.18%	NO CUMPLE
1/2 - 3/8	642.60	415.47		
3/8 - 1/4	853.60	675.84		
Total	6189.40	2959.57		

Tabla 31. Caras fracturadas 1 – Fuente 2

% de Partículas Fracturadas 1			
Tamices	Peso	Peso Fracturadas	% fracturadas
2 - 1 1/2	410.30	202.10	
1 1/2 - 1	1441.40	1261.17	
1 - 3/4	1449.50	816.04	
3/4 - 1/2	1392.00	945.92	63.43%
1/2 - 3/8	642.60	364.69	
3/8 - 1/4	853.60	336.20	
Total	6189.40	3926.12	

Con relación a los ensayos de geometría de las partículas, tenemos que el ensayo de Índice de alargamiento no da cumplimiento con la norma, presenta un 17,18% más de lo permitido por la especificación y el de aplanamiento si cumple, el ensayo de caras fracturadas solo cumple con la clase C, la cual sirve solo para un nivel de tránsito liviano.

Tabla 32. Desgaste de la máquina de los ángeles 1 – Fuente 2

Máquina de Los Ángeles 1 – Fuente 2				
Peso inicial	Revoluciones	Peso final	% de pérdidas	Cumple la Norma
5000,00	100,00	4766,600	4,67%	CUMPLE
5000,00	400,00	3724,000	25,52%	CUMPLE

Tabla 33. Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval 1 – Fuente 2

Micro - Deval 1			
Peso inicial	Peso final	% de pérdidas	Cumple la Norma
1500.00	1356.00	9.60%	CUMPLE

Tabla 34. Evaluación de la resistencia mecánica por el método de 10% de finos 1 – Fuente 2

10 % de finos 1									
	Especímenes	Peso M1 (g)	Fuerza Aplicada (kN)	Tiempo de compactación (s)	F (kN)	M3 (g)	M2 (g)	% finos	Cumple la Norma
Condición Seca	F-5	2832.0	215	260	180	2466.3	359	12.68%	CUMPLE
	L-3	2802.0	204	243	180	2461.0	338.4	12.08%	CUMPLE
	M-1	2810.0	201	255	170	2446.2	358.3	12.75%	CUMPLE
Condición Saturada	K-8	2804.1	180	230	160	2452.4	342.5	12.21%	CUMPLE
	040	2774.0	188	240	160	2433	333	12.00%	CUMPLE
	J-10	2810.9	190	251	160	2451.5	355	12.63%	CUMPLE

Según la característica de dureza analizada en los ensayos de las especificaciones, tenemos que dan cumplimiento con el ensayo desgaste de la máquina de los Ángeles, degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval y el ensayo de 10% de finos.

Tabla 35. Equivalente de arena 1 – Fuente 2

Equivalente de Arena 1	
Lectura superior. (in)	10.5
Lectura inferior. (in)	2.7
EA	26

No da cumplimiento con el ensayo ya que la especificación recomienda 30% como mínimo.

- **MES 2 - FUENTE 2:** Durante el tercer mes se realizaron los ensayos mencionados a continuación.

Tabla 36. Granulometría 2 – Fuente 2

Granulometría 2					
Tamiz	Tamiz pulg (mm)	Peso retenido	%	% acumulado	% pasa
2	50.80	313.00	2.19%	2.19%	97.81%
1 1/2	38.10	873.00	6.10%	8.29%	91.71%
1	25.40	1872.50	13.09%	21.39%	78.61%
3/4	19.05	990.00	6.92%	28.31%	71.69%
1/2	12.70	1460.40	10.21%	38.52%	61.48%
3/8	9.53	754.00	5.27%	43.79%	56.21%
1/4	6.35	798.00	5.58%	49.37%	50.63%
no. 4	4.75	398.20	2.78%	52.16%	47.84%
no. 10	1.90	1513.30	10.58%	62.74%	37.26%
no. 40	0.42	1901.00	13.29%	76.03%	23.97%
no. 200	0.074	1692.00	11.83%	87.86%	12.14%
Fondo		1735.60	12.14%	100.00%	0.00%
Total		14301.00	100%		

Peso antes del secado	14301.00
Peso después del secado	12565.40
% de pérdidas	12.14%

Se puede notar que el comportamiento de la granulometría se sale del rango que recomienda la norma, el material grueso tiene muy buen comportamiento por el contrario los tamices que están después del tamiz N.4 está por encima del rango que exige las especificaciones, se recomienda utilizar más material de estas series de tamices para que la curva baje.

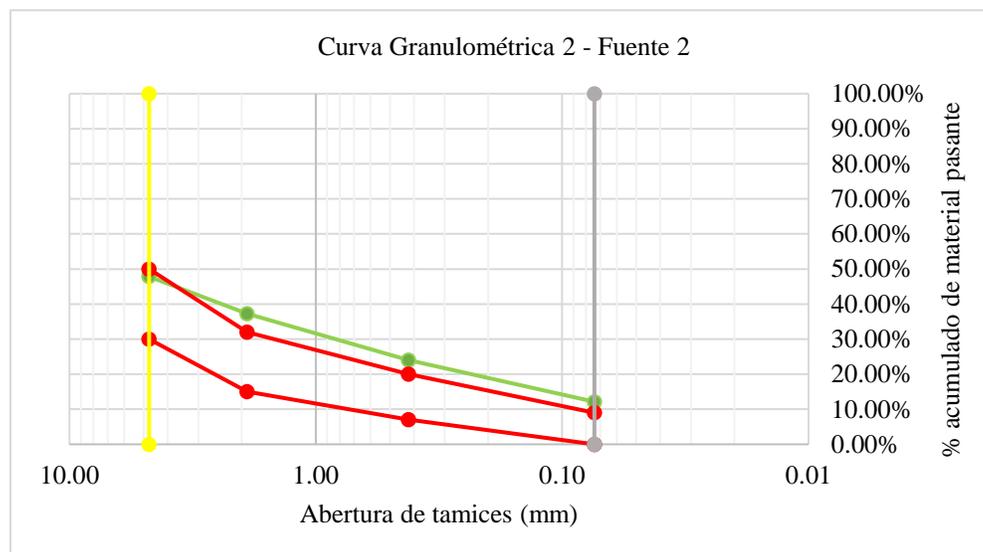


Figura 22. Comportamiento de la curva granulométrica 2 – Fuente 2

Tabla 37. Índices de alargamiento y aplanamiento 2 – Fuente 2

Índice de Aplanamiento 1				
Tamices	Peso	Pasan (malas)	% buenas	Cumple la Norma
2 - 1 1/2	361.40	361.4		
1 1/2 - 1	1872.50	339.78		
1 - 3/4	990.00	129.62		
3/4 - 1/2	1460.40	222.89	14.71%	CUMPLE
1/2 - 3/8	754.00	92.22		
3/8 - 1/4	798.00	132.97		
Total	6236.30	917.48		

Índice de Alargamiento 1				
Tamices	Peso	Pasan (buenas)	% buenas	Cumple la Norma
2 - 1 1/2	873.00	873.00		
1 1/2 - 1	1872.50	1555.80		
1 - 3/4	990.00	781.33		
3/4 - 1/2	1460.40	933.12	22.14%	CUMPLE
1/2 - 3/8	754.00	488.57		
3/8 - 1/4	798.00	621.84		
Total	6747.90	5253.66		

Tabla 38. Caras fracturadas 2 – Fuente 2

% de Partículas Fracturadas 1			
Tamices	Peso	Peso Fracturadas	% fracturadas
2 - 1 1/2	873.00	702.07	
1 1/2 - 1	1872.50	1337.61	
1 - 3/4	990.00	715.98	
3/4 - 1/2	1460.40	905.70	69.58%
1/2 - 3/8	754.00	460.11	
3/8 - 1/4	798.00	573.72	
Total	6747.90	4695.19	

Con relación de los ensayos de geometría de las partículas, tenemos que el ensayo de Índice de alargamiento no da cumplimiento con la norma, presenta un 17,18% más de lo permitido por la especificación y el de aplanamiento si cumple, el ensayo de caras fracturadas solo cumple con la clase C, la cual sirve solo para un nivel de tránsito liviano.

Tabla 39. Desgaste de la máquina de los ángeles 2 – Fuente 2

Máquina de Los Ángeles 2 – Fuente 2				
Peso inicial	Revoluciones	Peso final	% de pérdidas	Cumple la Norma
5000,00	100,00	4676,400	6,47%	CUMPLE
5000,00	400,00	3676,500	26,47%	CUMPLE

Tabla 40. Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval 2 – Fuente 2

Micro - Deval 2 – Fuente 2			
Peso inicial	Peso final	% de pérdidas	Cumple la Norma
1500,00	1325,00	11,67%	CUMPLE

Tabla 41. Evaluación de la resistencia mecánica por el método de 10% de finos 2 – Fuente 2

10 % de finos 2 – Fuente 2									
	Espécimen	Peso M1 (g)	Fuerza Aplicada (kN)	Tiempo de compactación (s)	F (kN)	M3 (g)	M2 (g)	% finos	Cumple la Norma
Condición Seca	F-5	2673.1	183	234	150	2320.8	348.1	13.02%	CUMPLE
	L-3	2701.0	175	239	140	2319.3	372.2	13.78%	CUMPLE
	M-1	2678.4	169	225	170	2408	261	9.74%	CUMPLE
Condición Saturada	K-8	2667.0	124	216	110	2339	319	11.96%	CUMPLE
	040	3114.9	240	241	200	2699	408	13.10%	CUMPLE
	J-10	3246.8	200	242	150	2745	492	15.15%	CUMPLE

Según la característica de dureza analizada en los ensayos de las especificaciones, tenemos que dan cumplimiento con el ensayo desgaste de la máquina de los Ángeles, degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval y el ensayo de 10% de finos.

Tabla 42. Equivalente de arena 2 – Fuente 2

Equivalente de Arena 2 – Fuente 2	
Lectura superior. (in)	8,6
Lectura inferior. (in)	2,9
EA	34

• **MES 3 - FUENTE 2:** Durante el tercer mes se realizaron los ensayos mencionados a continuación. Después de haber ejecutado los ensayos de granulometría y geometría, se procedió a aplicar el ensayo de desgaste de la máquina de los ángeles, INV E218, para analizar el comportamiento de las partículas en cuanto a la granulometría y geometría.

Tabla 43. Granulometría 3 – Fuente 2

Granulometría 3					
Tamiz	Tamiz pulg (mm)	Peso retenido	%	% acumulado	% pasa
2	50.80	165.89	1.05%	1.05%	98.95%
1 1/2	38.10	729.39	4.61%	5.66%	94.34%
1	25.40	1929.34	12.20%	17.85%	82.15%
3/4	19.05	1466.88	9.27%	27.13%	72.87%
1/2	12.70	1678.81	10.61%	37.74%	62.26%
3/8	9.53	817.31	5.17%	42.91%	57.09%
1/4	6.35	977.78	6.18%	49.09%	50.91%
no. 4	4.75	629.78	3.98%	53.07%	46.93%
no. 10	1.90	1551.50	9.81%	62.87%	37.13%
no. 40	0.42	2012.69	12.72%	75.60%	24.40%
no. 200	0.074	2063.51	13.04%	88.64%	11.36%
Fondo		1797.14	11.36%	100.00%	0.00%
Total		15820.00	100%		

Peso antes del secado	15820.00
Peso después del secado	14022.86
% de pérdidas	11.36%

Se evidencia que el comportamiento de la granulometría se sale del rango que recomienda la norma, el material grueso tiene muy buen comportamiento por el contrario los tamices que están después del tamiz N.4 está por encima del rango que exige las especificaciones, se recomienda utilizar más material de estas series de tamices para que la curva baje.

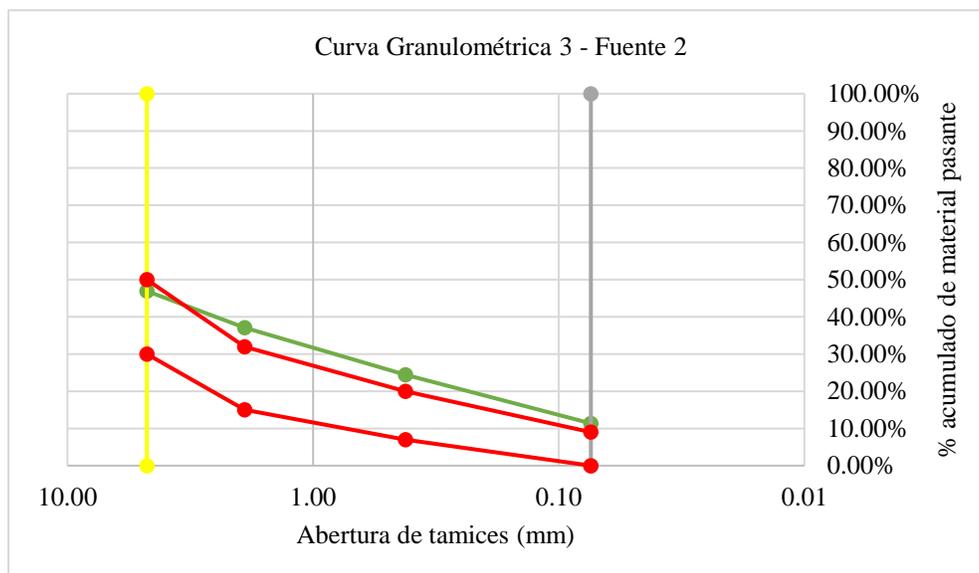


Figura 23. Comportamiento de la curva granulométrica 3 – Fuente 2

Tabla 44. Índices de alargamiento y aplanamiento 3 – Fuente 2

Índice de Aplanamiento 3				
Tamices	Peso	Pasan (malas)	% buenas	Cumple la Norma
2 - 1 1/2	729.39	607.65		
1 1/2 - 1	1929.34	1134.25		
1 - 3/4	1466.88	145.34		
3/4 - 1/2	1678.81	197.81	29.94%	CUMPLE
1/2 - 3/8	817.31	75.07		
3/8 - 1/4	977.78	115.19		
Total	7599.50	2275.31		

Índice de Alargamiento 3				
Tamices	Peso	Pasan (buenas)	% buenas	Cumple la Norma
2 - 1 1/2	729.39	607.65		
1 1/2 - 1	1929.34	1134.25		
1 - 3/4	1466.88	504.56		
3/4 - 1/2	1678.81	1055.80	40.47%	NO CUMPLE
1/2 - 3/8	817.31	500.64		
3/8 - 1/4	977.78	721.03		
Total	7599.50	4523.93		

Tabla 45. Caras fracturadas 3 – Fuente 2

% de Partículas Fracturadas 3			
Tamices	Peso	Peso Fracturadas	% fracturadas
2 - 1 1/2	729.39	355.71	
1 1/2 - 1	1929.34	1063.21	
1 - 3/4	1466.88	631.13	
3/4 - 1/2	1678.81	760.37	46.21%
1/2 - 3/8	817.31	335.30	
3/8 - 1/4	977.78	365.94	
Total	7599.50	3511.67	

Con relación de los ensayos de geometría de las partículas, tenemos que el ensayo de Índice de alargamiento no da cumplimiento con la norma, presenta un 5,47% más de lo permitido por la especificación y el de aplanamiento si cumple, el ensayo de caras fracturadas no cumple con ninguna de las 3 clases.

Tabla 46. Desgaste de la máquina de los Ángeles 3 – Fuente 2

Máquina de Los Ángeles 3 – Fuente 2				
Peso inicial	Revoluciones	Peso final	% de pérdidas	Cumple la Norma
5000.00	100.00	4875.322	2.49%	CUMPLE
5000.00	400.00	3817.670	23.65%	CUMPLE

Tabla 47. Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval 3 – Fuente 2

Micro - Deval 3			
Peso inicial	Peso final	% de pérdidas	Cumple la Norma
1500.00	1349.00	10.07%	CUMPLE

Tabla 48. Evaluación de la resistencia mecánica por el método de 10% de finos 3 – Fuente 2

10 % de finos 3									
	Espécimen	Peso M1 (g)	Fuerza Aplicada (kN)	Tiempo de compactación (s)	F (kN)	M3 (g)	M2 (g)	% finos	Cumple la Norma
Condición Seca	F-5	2705.1	193	242	160	2352.882	348.761	12.89%	CUMPLE
	L-3	2709.0	185	238	150	2350.0	355.6	13.13%	CUMPLE
	M-1	2702.5	230	234	220	2398.4	295.4	10.93%	CUMPLE
Condición Saturada	K-8	2691.0	223	219	190	2358.70	324.74	12.07%	CUMPLE
	040	2953.0	199	238	170	2570.93	375.42	12.71%	CUMPLE
	J-10	3048.0	208	243	160	2606.02	435.02	14.27%	CUMPLE

Según la característica de dureza analizada en los ensayos de las especificaciones, tenemos que dan cumplimiento con el ensayo desgaste de la máquina de los Ángeles, degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval y el ensayo de 10% de finos.

Tabla 49. Granulometría luego del ensayo de desgaste – Fuente 2

Granulometría 3'					
Tamiz	Tamiz pulg (mm)	Peso retenido	%	% acumulado	% pasa
2	50.80	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2	38.10	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1	25.40	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
3/4	19.05	433.82	8.68%	8.68%	91.32%
1/2	12.70	444.56	8.89%	17.57%	82.43%
3/8	9.53	235.47	4.71%	22.28%	77.72%
1/4	6.35	455.70	9.11%	31.39%	68.61%
no. 4	4.75	261.27	5.23%	36.62%	63.38%
no. 10	1.90	671.73	13.43%	50.05%	49.95%
no. 40	0.42	615.55	12.31%	62.36%	37.64%
no. 200	0.074	699.58	13.99%	76.35%	23.65%
Fondo		1182.33	23.65%	100.00%	0.00%
Total		5000.00	100%		

Peso antes del secado	5000.00
Peso después del secado	3817.67
% de pérdidas	23.65%

Se puede evidenciar que el comportamiento de la granulometría se sale del rango que recomienda la norma, el material grueso tiene muy buen comportamiento por el contrario los tamices que están después del tamiz N.4 está por encima del rango que exige las especificaciones, se recomienda utilizar más material de estas series de tamices para que la curva baje.

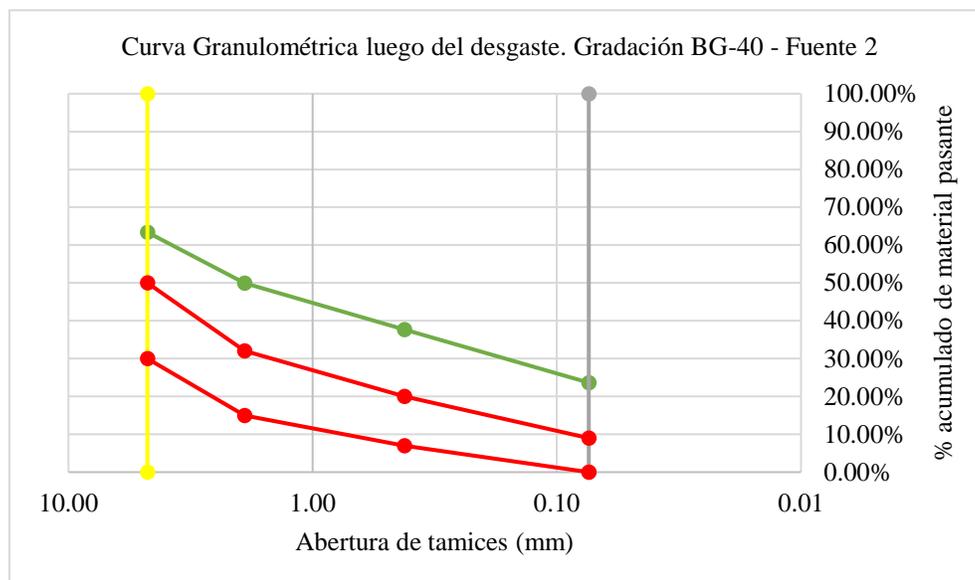


Figura 24. Comportamiento de la curva granulométrica luego del ensayo de desgaste – Fuente 2

Tabla 50. Índices de alargamiento y aplanamiento luego del desgaste – Fuente 2

Índice de Aplanamiento 3'				
Tamices	Peso	Pasan (malas)	IA	Cumple la Norma
1 - 3/4	433.82	17.00		
3/4 - 1/2	444.56	18.60		
1/2 - 3/8	235.47	7.20	4.15%	CUMPLE
3/8 - 1/4	455.70	22.40		
Total	1569.55	65.20		

Índice de Alargamiento 3'				
Tamices	Peso	Pasan (buenas)	IL	Cumple la Norma
1 - 3/4	433.82	444.00		
3/4 - 1/2	444.56	398.56		
1/2 - 3/8	235.47	210.67	9.48%	CUMPLE
3/8 - 1/4	455.70	367.50		
Total	1569.55	1420.74		

Tabla 51. Caras fracturadas luego del desgaste – Fuente 2

% de Partículas Fracturadas 3			
Tamices	Peso	Peso Fracturadas	% fracturadas
2 - 1 1/2	0.00	0.00	
1 1/2 - 1	0.00	0.00	
1 - 3/4	433.82	356.42	
3/4 - 1/2	444.56	377.49	86.84%
1/2 - 3/8	235.47	206.55	
3/8 - 1/4	455.70	422.48	
Total	1569.55	1362.94	

Con relación a los ensayos de geometría de las partículas después de haber realizado el ensayo de desgaste en la máquina de los ángeles se evidencia que sigue cumpliendo con esta característica.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

En los resultados de los ensayos de las características de dureza y geometría de las partículas plasmados anteriormente se realizó la verificación de cada uno de ellos según la norma INVIAS 330 que rige a cada ensayo.

Tabla 52. Cumplimiento de ensayos según las clases de base granular – Fuente 1

DUREZA	BASE GRANULAR			RESULTADO			CUMPLIMIENTO		
	CLASE C	CLASE B	CLASE A	MES 1	MES 2	MES 3	CLASE C	CLASE B	CLASE A
Desgaste en la Máquina de los Ángeles, máximo (%) (Gradación A) 500 revoluciones	40	40	40	37.6	35.3	38.6	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
100 revoluciones	8	8	7	6.6	9.4	7.8	CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
Degradación en el equipo Micro - Deval, máximo (%)	-	30	25	9.0	10.1	9.4	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
Evaluación de resistencia por el método del 10% de finos	-	70	90	130.0	140.0	136.7	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
Valor en seco, mínimo (kN)	-	75	75	112.8	107.1	108.4	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
Relación húmedo/seco, mínimo (%)	-	75	75	112.8	107.1	108.4	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE

GEOMETRÍA	BASE GRANULAR			RESULTADO			CUMPLIMIENTO		
	CLASE C	CLASE B	CLASE A	MES 1	MES 2	MES 3	CLASE C	CLASE B	CLASE A
Índices de aplanamiento, máximo (%)	35	35	35	20.6	22.9	35.3	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE
Índices de alargamiento, máximo (%)	35	35	35	21.5	36.5	34.1	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE
Caras fracturadas, mínimo (%) – Una cara	50	70	100	66.7	82.8	72.9	NO CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE

Tabla 53. Cumplimiento de ensayos según las clases de base granular – Fuente 2

DUREZA	BASE GRANULAR			RESULTADO			CUMPLIMIENTO		
	CLASE C	CLASE B	CLASE A	MES 1	MES 2	MES 3	CLASE C	CLASE B	CLASE A
Desgaste en la Máquina de los Ángeles, máximo (%) (Gradación A) 500 revoluciones	40	40	40	25.5	26.5	23.6	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
100 revoluciones	8	8	7	4.7	6.5	2.5	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
Degradación en el equipo Micro - Deval, máximo (%)	-	30	25	9.6	11.7	10.1	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
Evaluación de resistencia por el método del 10% de finos	-	70	90	176.7	153.3	176.7	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
Valor en seco, mínimo (kN)									
Relación húmedo/seco (%)	-	75	75	90.6	101.5	101.6	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE

GEOMETRÍA	BASE GRANULAR			RESULTADO			CUMPLIMIENTO		
	CLASE C	CLASE B	CLASE A	MES 1	MES 2	MES 3	CLASE C	CLASE B	CLASE A
Índices de aplanamiento, máximo (%)	35	35	35	18.6	14.7	29.9	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
Índices de alargamiento, máximo (%)	35	35	35	52.2	22.1	40.5	NO CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE
Caras fracturadas, mínimo (%) – Una cara	50	70	100	63.4	69.6	46.2	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE

ENSAYOS DE DUREZA

En el ensayo de desgaste en la máquina de los ángeles de la fuente 1 se puede evidenciar el cumplimiento con la norma, se mantuvo por debajo del 40% máximo, con un 37,18% promedio.

Para el ensayo de desgaste en la máquina de los ángeles de la fuente 2 se obtuvo que en los tres periodos cumplió según lo exigido por las especificaciones, se mantuvo por debajo del 40% máximo, con un 25,20% promedio.

Analizando el comportamiento de las dos fuentes en cuanto al ensayo de desgaste en la máquina de los ángeles se puede evidenciar que la fuente 2, del río Zulia, tiene un mejor comportamiento ya que esta con un promedio de 25,20%, más lejos del límite de 40% máximo en comparación con la fuente 1 que cuenta con un 37,18%.

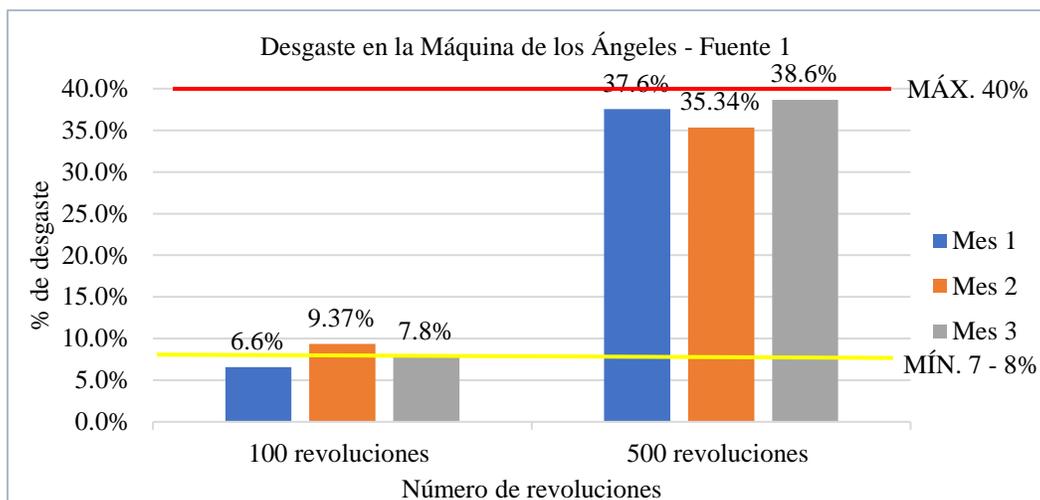


Figura 25. Desgaste en la Máquina de los Ángeles - Fuente 1

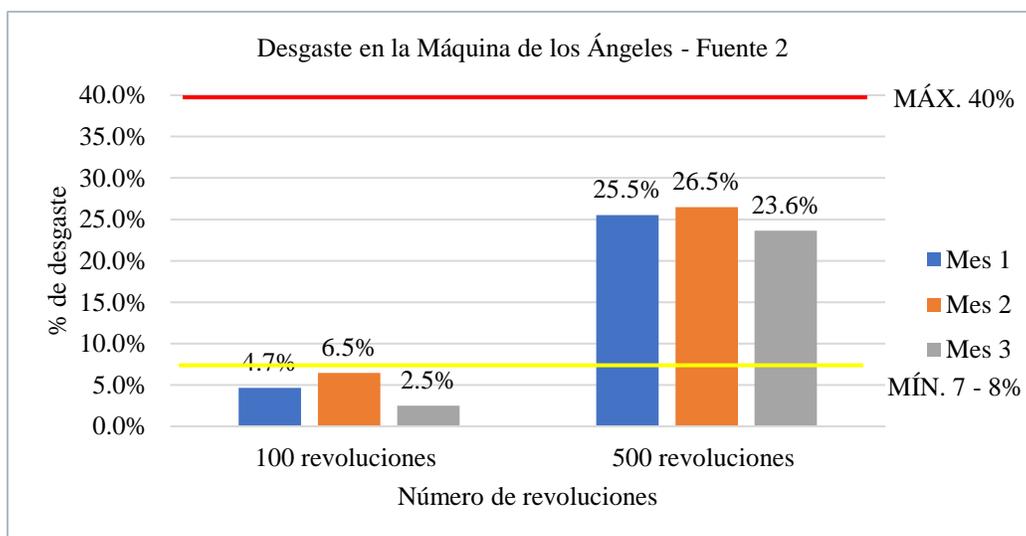


Figura 26. Desgaste en la Máquina de los Ángeles - Fuente 2

En el ensayo de degradación en el equipo Micro – Deval, en cuanto al comportamiento de la fuente 1, se puede evidenciar que cumple con la norma para la clase A y B con un porcentaje máximo de 25% y 30% como lo indica la especificación, teniendo un promedio de los resultados obtenidos de 9,51%.

El ensayo de degradación en el equipo Micro – Deval en su comportamiento de la fuente 2, se puede evidenciar que cumple con la norma para la clase A y B con un % máximo de 25% y 30% como lo indica la especificación, teniendo un promedio de los resultados obtenidos de 10,47%.

De acuerdo a lo anterior, se puede mencionar que la fuente 1, la cual proviene del rio Pamplonita presenta mejor cumplimiento que la fuente 2, ya que se encuentra más lejos al límite máximo.

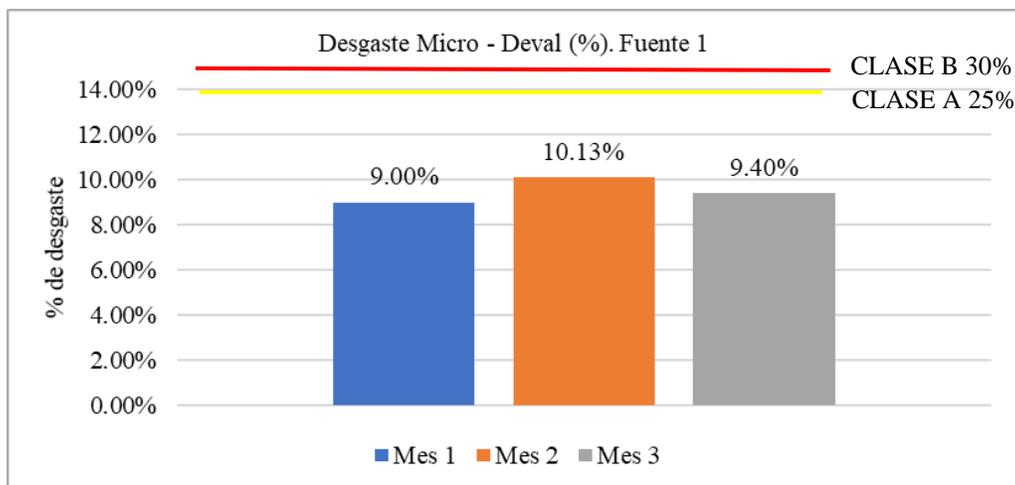


Figura 27. Desgaste Micro – Deval (%) – Fuente 1

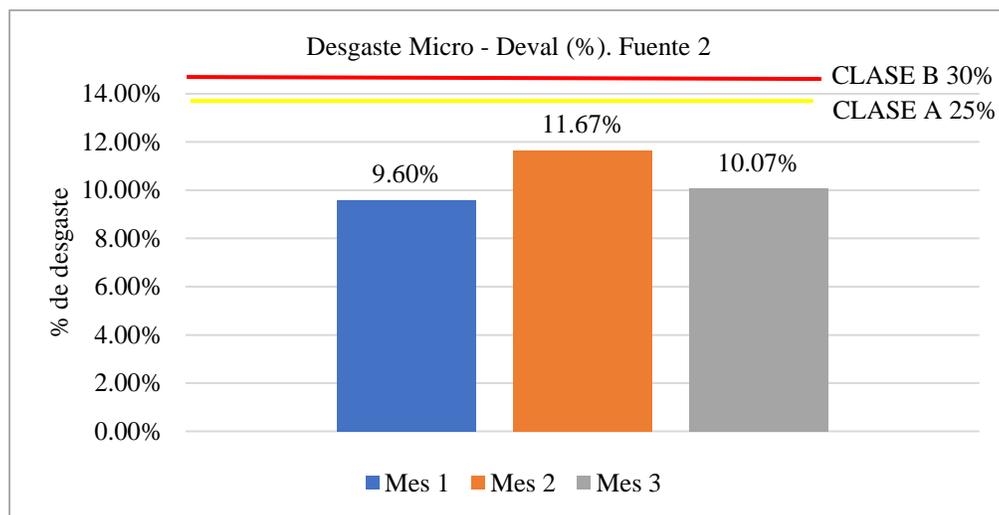


Figura 28. Desgaste Micro – Deval (%) – Fuente 2

El ensayo de evaluación de resistencia por el método del 10% de finos en su comportamiento de la fuente 1, se puede evidenciar que cumple con la norma con una fuerza mínima calculada de 70 kN y 90 kN como lo indica la especificación, teniendo una fuerza por encima de lo que recomienda INVIAS manejando un promedio de los resultados obtenidos de 135.56 kN para los especímenes en condición seca y 147.78 kN para los especímenes en condición saturada.

El ensayo de evaluación de resistencia por el método del 10% de finos en su comportamiento de la fuente 2, se puede evidenciar que cumple con la norma con una fuerza mínima calculada de 70 kN y 90 kN como lo indica la especificación, teniendo una fuerza por encima de lo que recomienda INVIAS manejando un promedio de los resultados obtenidos de 168,9 kN para los especímenes en condición seca y 162.22 kN para los especímenes en condición saturada.

De acuerdo a lo anterior, se puede mencionar que la fuente 2, la cual proviene del rio Zulia presenta mejor cumplimiento, ya que se encuentra por encima del límite mínimo.

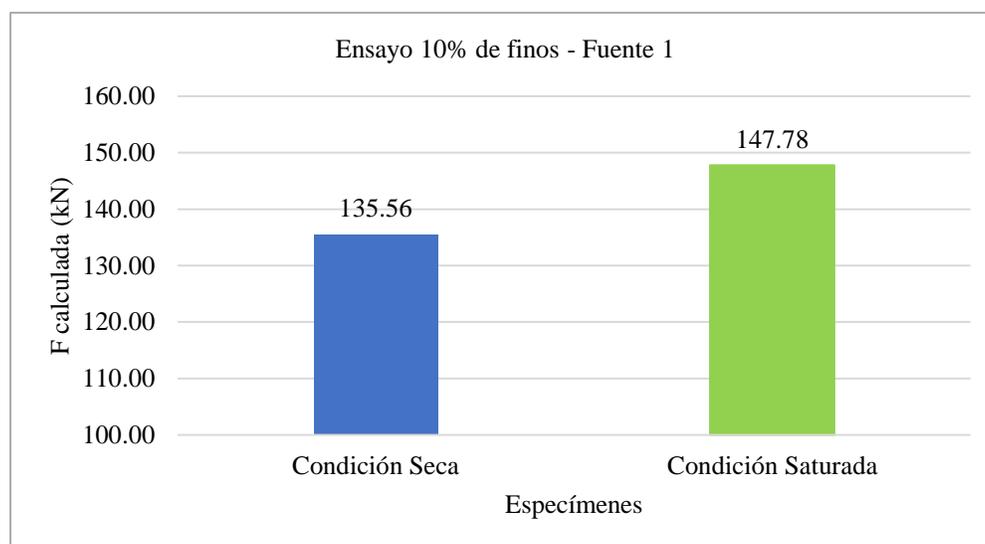


Figura 29. Ensayo 10% de finos – Fuente 1

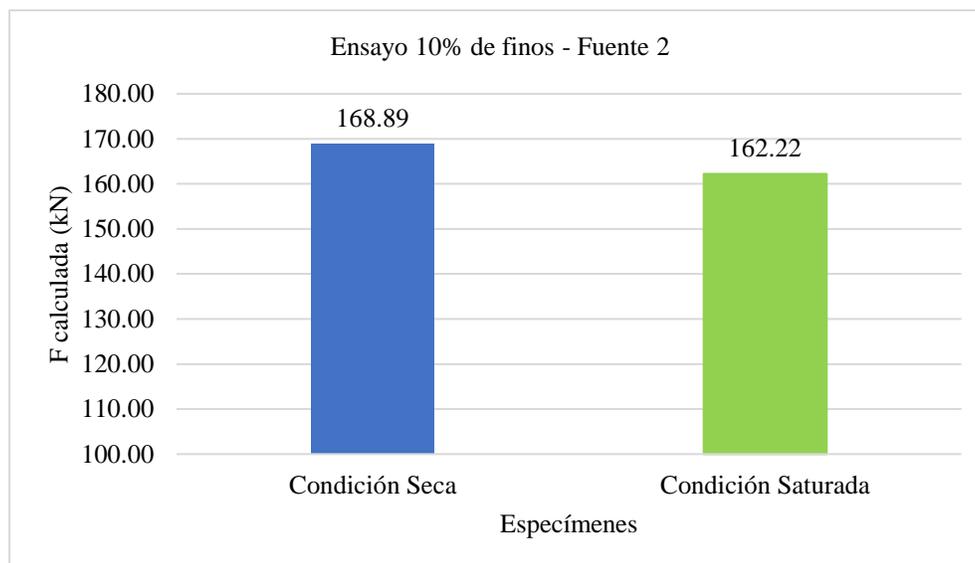


Figura 30. Ensayo 10% de finos – Fuente 2

COMPORTAMIENTO DE LA GEOMETRÍA DESPUÉS DEL DESGASTE

En el ensayo de índice de aplanamiento de la fuente 1 se puede evidenciar que cumple con la norma puesto que posee un resultado por debajo del límite máximo de 35% como lo indica la especificación y manejando un promedio de los resultados obtenidos de 26,28%, aunque cabe mencionar que el comportamiento del tercer mes tiene un excedente de 0,33% de lo exigido por la norma.

En el ensayo de índice de aplanamiento de la fuente 1 después de practicar el ensayo de Desgaste en la máquina de los ángeles se puede evidenciar que no presenta cumplimiento con la norma con un porcentaje máximo de 35% como lo indica la especificación, teniendo un resultado de 86.9% con una diferencia de un 51,9% por encima de lo que exige INVIAS

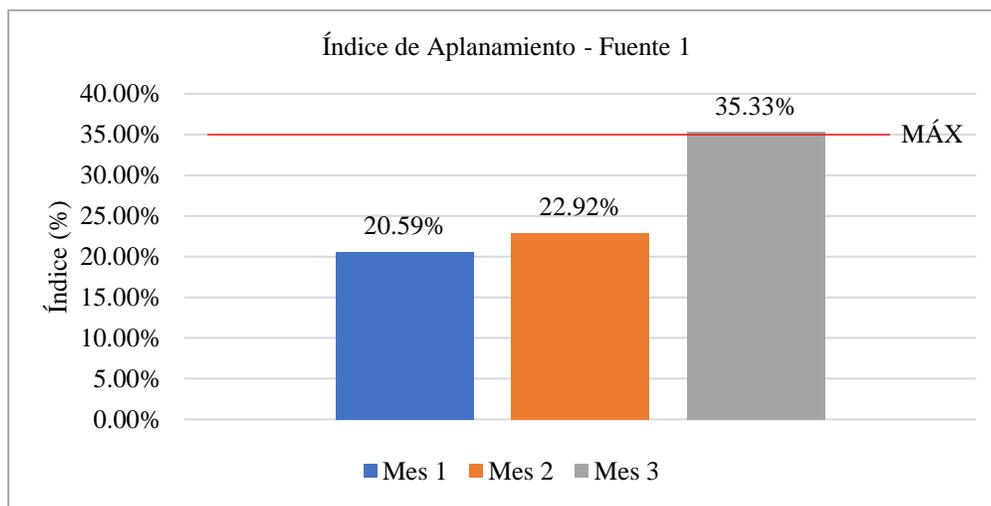


Figura 31. Índice de Aplanamiento – Fuente 1

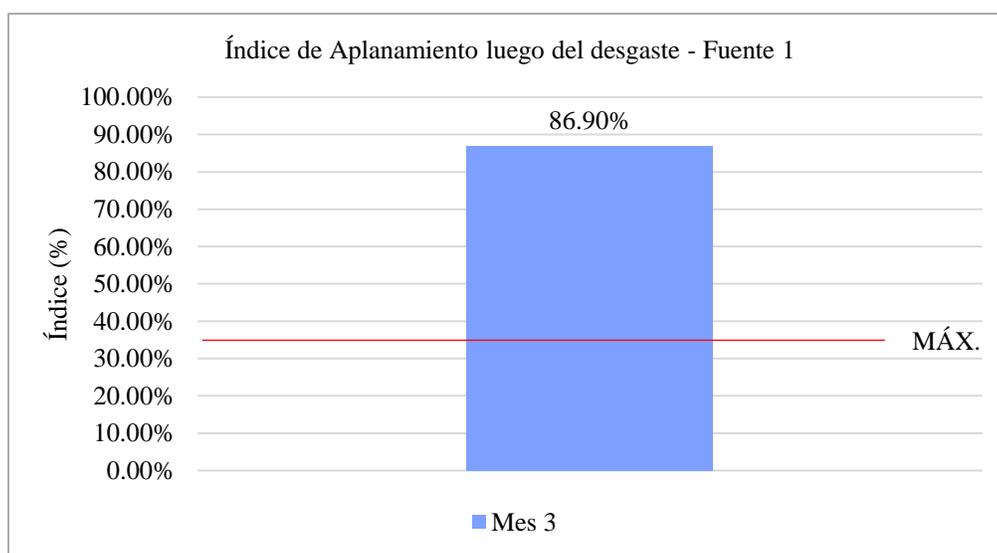


Figura 32. Índice de Aplanamiento luego del desgaste – Fuente 1

En el ensayo de índice de alargamiento de la fuente 1, se puede evidenciar que cumple con la norma puesto que arroja un resultado de 30,70% por debajo del límite máximo de 35% como lo indica la especificación, manejando un promedio de los resultados obtenidos de 30,70% y cabe mencionar que el comportamiento del segundo mes tiene un excedente de 1,50% de lo exigido por la especificación.

En el ensayo de índice de alargamiento de la fuente 1, después de practicar el ensayo de Desgaste en la máquina de los ángeles se puede evidenciar que presenta cumplimiento con la norma con un porcentaje máximo de 35% como lo indica la especificación, teniendo un resultado de 9.9%, es decir, por debajo de lo que exige INVIAS.

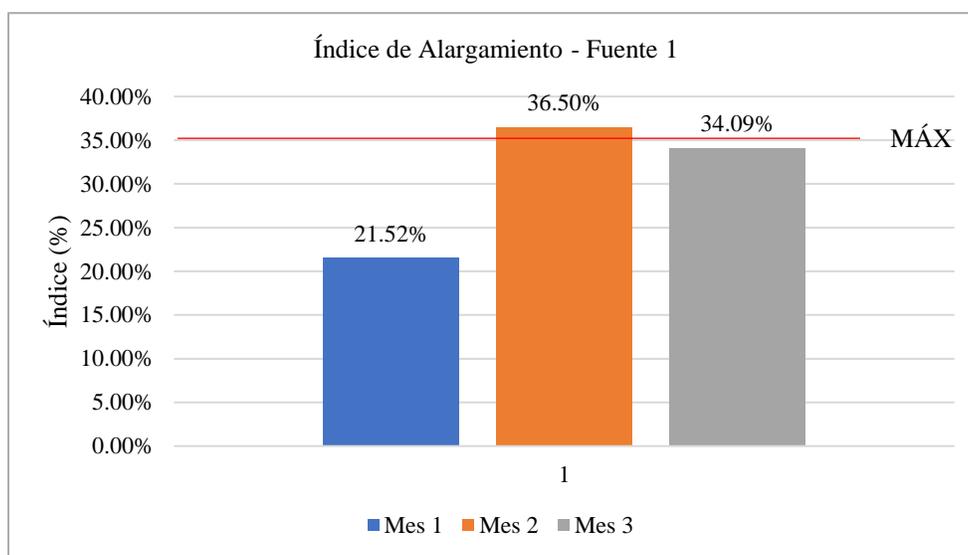


Figura 33. Índice de Alargamiento – Fuente 1

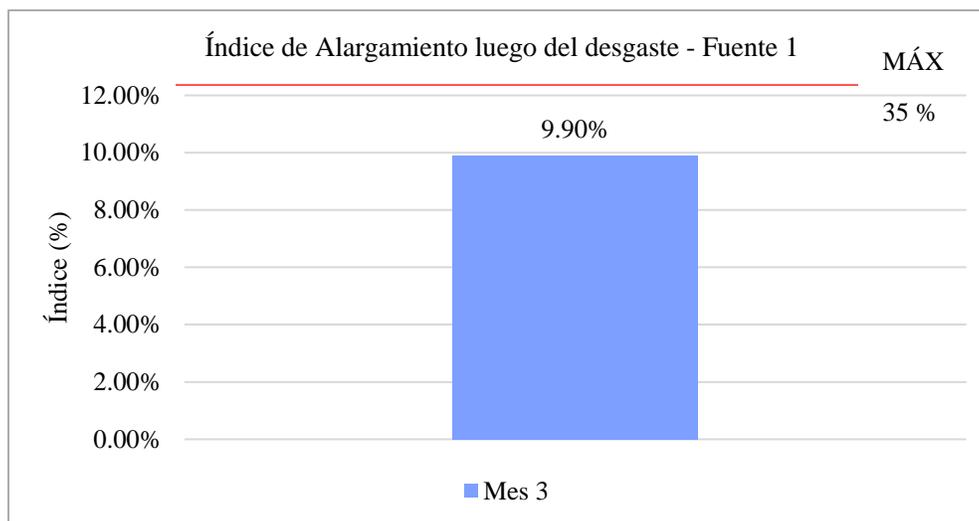


Figura 34. Índice de Alargamiento luego del desgaste – Fuente 1

En el ensayo de índice de partículas fracturadas de la fuente 1, se puede evidenciar que cumple con la norma para la clase A con un límite mínimo de 50% y para la clase B con un límite mínimo de 70% pues se tiene un resultado por encima estos valores exigidos por el INVIAS, cabe mencionar que el comportamiento en los tres periodos no cumple con la clase C, que es el 100% de la muestra.

En el ensayo de índice de partículas fracturadas de la fuente 1 después de practicar el ensayo de Desgaste en la máquina de los ángeles se puede evidenciar que cumple con la norma para la clase A con un límite mínimo de 50% y para la clase B con un límite mínimo de 70% pues el resultado arrojado fue de 86.9%.

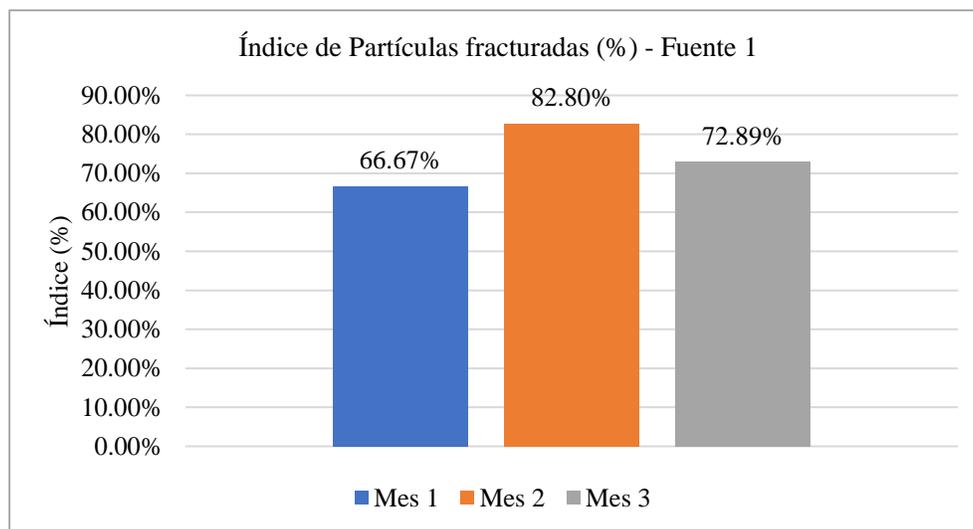


Figura 35. Índice de Partículas fracturadas (%) – Fuente 1

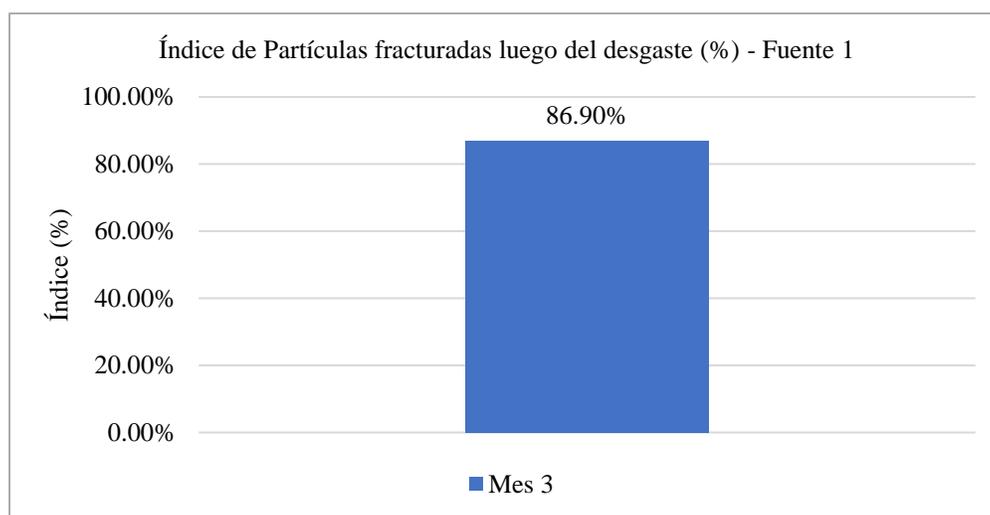


Figura 36. Índice de Partículas fracturadas luego del desgaste (%) - Fuente 1

En el ensayo de índice de aplanamiento de la fuente 2, se puede evidenciar que cumple con la norma pues el resultado arrojado fue de 21,08% en promedio, estando por debajo del límite máximo de 35% como lo indica la especificación.

En el ensayo de índice de aplanamiento de la fuente 2, después de practicar el ensayo de Desgaste en la máquina de los ángeles se puede evidenciar que presenta cumplimiento con la norma con un resultado de 4.15% estando por debajo del límite máximo de 35% como lo indica la especificación.

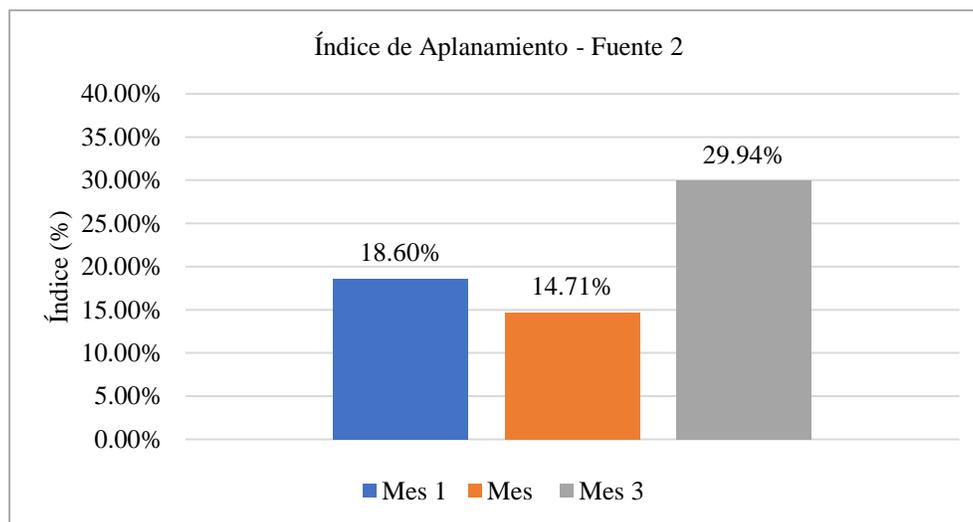


Figura 37. Índice de Aplanamiento – Fuente 2

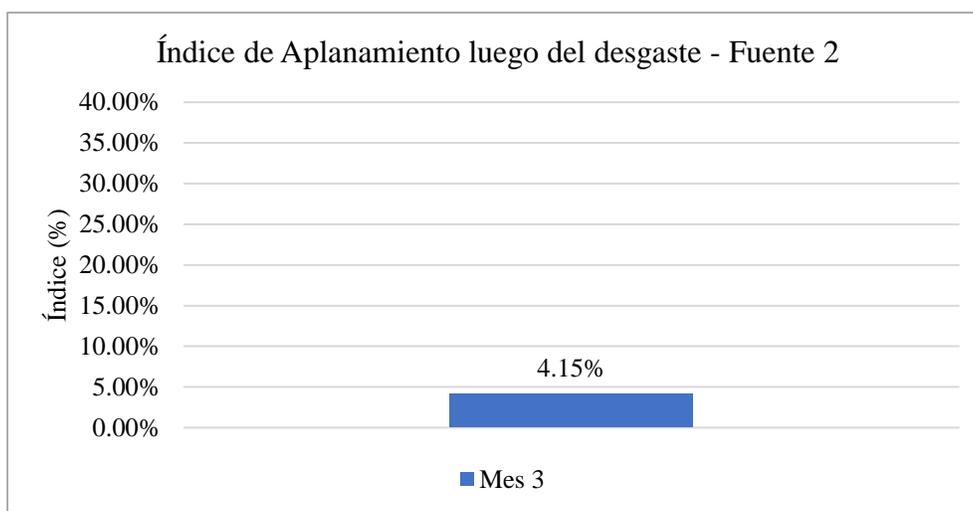


Figura 38. Índice de Aplanamiento luego del desgaste - Fuente 2

En el ensayo de índice de alargamiento de la fuente 2, se puede evidenciar que no cumple con la norma pues el resultado arrojado fue de 38,26% en promedio, estando por debajo del límite máximo de 35% como lo indica la especificación.

En el ensayo de índice de alargamiento de la fuente 2, después de practicar el ensayo de Desgaste en la máquina de los ángeles se puede evidenciar que presenta cumplimiento con la norma pues el resultado de 10.13% se encuentra por debajo del límite máximo de 35% como lo indica la especificación.

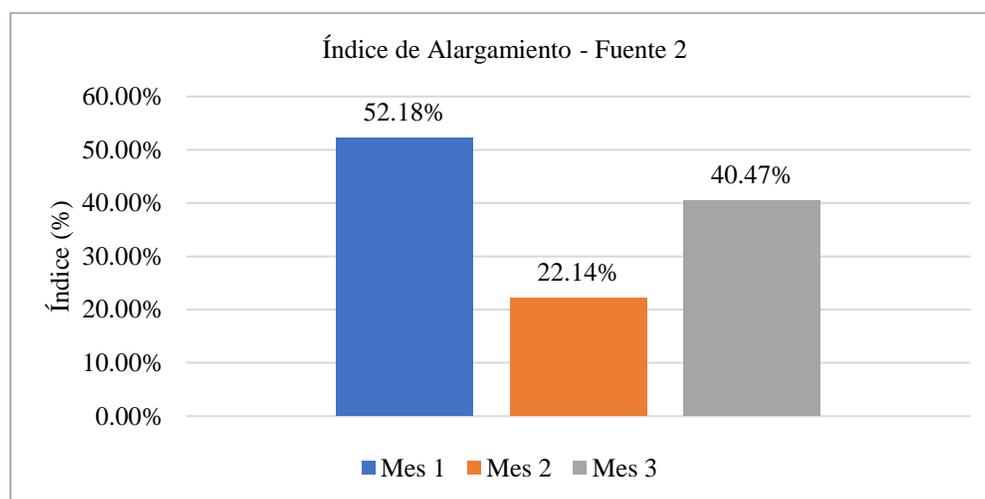


Figura 39. Índice de Alargamiento - Fuente 2

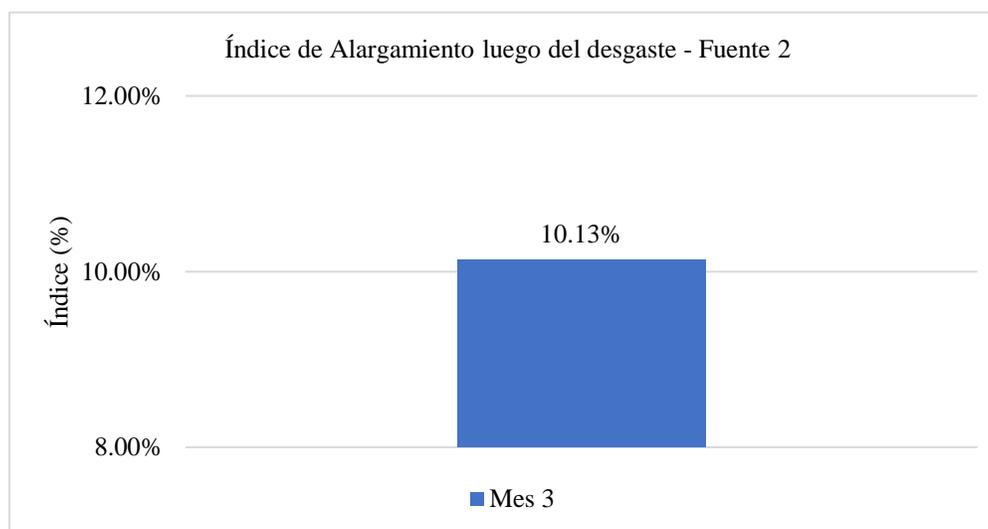


Figura 40. Índice de Alargamiento luego del desgaste - Fuente 2

En el ensayo de índice de partículas fracturadas de la fuente 2, se puede evidenciar que cumple con la norma para la clase A con un límite mínimo de 50% y 70% para la clase B, como lo indica la especificación, teniendo un resultado promedio por encima de lo exigido. Cabe mencionar que el comportamiento en los tres periodos no cumple con la clase C, que es el 100% de la muestra.

En el ensayo de índice de partículas fracturadas de la fuente 1 después de practicar el ensayo de Desgaste en la máquina de los ángeles se puede evidenciar que cumple con la norma para la clase A y la clase B con un resultado arrojado de 86,84%.

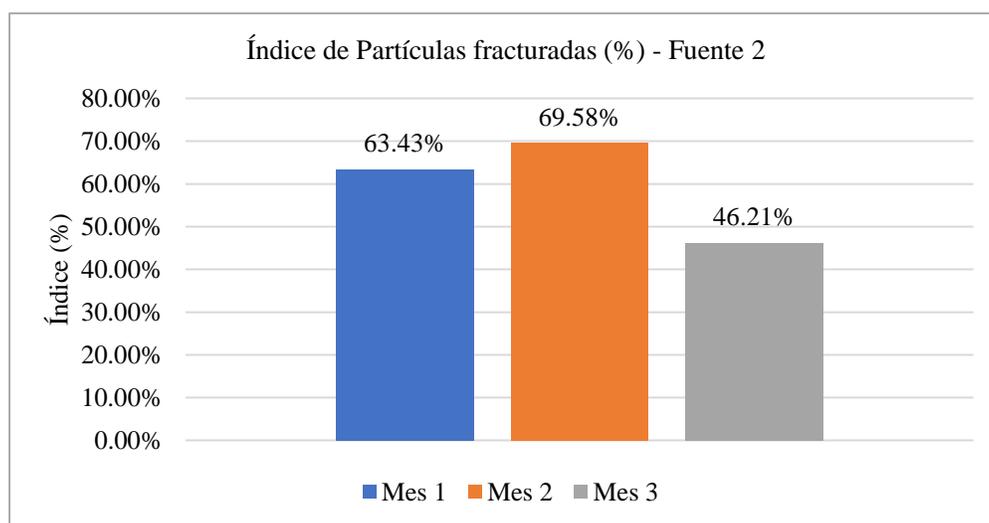


Figura 41. Índice de Partículas fracturadas (%) - Fuente 2

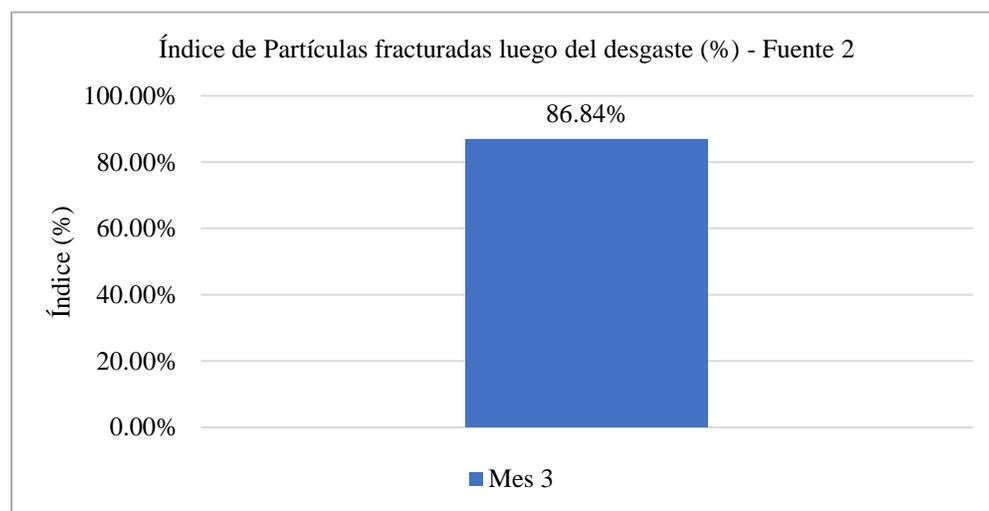


Figura 42. Índice de Partículas fracturadas luego del desgaste (%) - Fuente 2

CONCLUSIONES

- Las empresas consultadas para la evaluación de los materiales, no mostraron interés en el proyecto debido a que en cierta forma se podría encontrar falencias en el cumplimiento de las especificaciones técnicas INVIAS. Por esta razón la ficha técnica y las recomendaciones a emitir por parte del desarrollo de esta investigación no llegaron a desarrollarse.
- De acuerdo al análisis de resultados, en el ensayo de granulometría, los materiales están dentro de la franja exigida por el INVIAS. Esta característica es importante conocerla teniendo en cuenta que con los ensayos de dureza se logra establecer que los materiales granulares pueden cambiar fácilmente esta distribución inclusive solo en el proceso de compactación.
- Con respecto a los ensayos establecidos para la verificación de la geometría de las partículas, se evidenció que, en una de las mediciones, se presenta que el índice de alargamiento no cumple con el porcentaje máximo indicado en la especificación.
- Se realizaron los respectivos ensayos de dureza que exige la norma que son desgaste de la máquina de los Ángeles los cuales presentaron cumplimiento en las dos fuentes, degradación por abrasión en el equipo Micro – Deval, cumplieron las dos fuentes y evaluación de la resistencia mecánica por el método de 10% de finos también cumplieron con los lineamientos exigidos por la norma ninguna de las dos fuentes.
- De acuerdo a la evaluación del comportamiento de la franja granulometría después de realizar el ensayo respectivo de dureza, se logró evidenciar que, para la fuente 1, al realizar el ensayo de desgaste en Máquina de los Ángeles el material quedó convertido en arena un promedio de 37.2% de la masa inicial (5000 g.) y para la fuente 2 se obtuvo un resultado de 25.21%, para una masa inicial de igual cantidad. Para los ensayos de geometría de las partículas después del ensayo de dureza presento cumplimiento según lo exigido por INVIAS

RECOMENDACIONES

- Se recomienda desarrollar más proyectos de investigación para continuar con el análisis de la característica de dureza en los materiales tipo base granular de la ciudad de Cúcuta, teniendo en cuenta que en este proyecto no se evidencia cuál de los tres ensayos realizados para evaluar esta característica replica el comportamiento del material una vez hace parte de la estructura de pavimento.
- Es importante aplicar el procedimiento establecido en este proyecto con los otros dos ensayos de dureza, ensayo de 10% de finos y Micro Deval, para establecer el comportamiento de la granulometría del material antes y después de la aplicación de los mismos.
- Se recomienda realizar los ensayos de dureza sin limitar la distribución granulométrica original de la parte gruesa del material.
- Es pertinente dar continuidad a las fuentes estudiadas en este proyecto en distintos puntos de las mismas para establecer los cambios que se pueden presentar en su comportamiento y características.

REFERENCIAS

- Angarita, J. /. (2019, 2 julio). Análisis de afirmado base y subbase granular empleados en las obras viales de Bogotá. Recuperado 7 de octubre de 2022, de <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/5360>
- Aristegui, P. R. (2021). Caracterización geológico-geotécnico para el trazo del camino vecinal Salamanca Huaytapampa en la provincia de Condesuyos – Arequipa. Recuperado de <http://190.119.145.154/handle/20.500.12773/11740>
- Cruz, F y Ocampo, N (2021). Caracterización de la microestructura y la rigidez de un residuo granular estabilizado con un biopolímero. Colombia. Universidad Distrital Francisco José de Caldas
- Delgadillo E. A. y Gómez, A. F. (2015). Caracterización Mecánica y Petrográfica de Materiales de Base Granular Bg-25 a Partir de Normas IDU e INVIAS. Colombia. Universidad Francisco José de Caldas
- Lozano, S. C., Ordoñez, C., López, V. A. (2020). Caracterización de acuerdo a las propiedades físicas y mecánicas de los materiales (Sub base y Afirmado). Corporación Universitaria Minuto de Dios. Recuperado de https://repository.uniminuto.edu/bitstream/10656/12083/1/T.IC_CopeteSantiago-OrdonezDaniela-LopezVictor_2020.pdf
- Páez, O. J y Rincón, J. P. (2018). Estudio comparativo de la resistividad de material granular compacto usado en estructuras de vías y la relación con su peso unitario. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Recuperado de <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/14116/PaezReyesOscarJulian2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Tovar, L. Z. y Posada C. E. (2018). Caracterización Mineralógica y Microestructural de los agregados pétreos pertenecientes a una cantera del municipio de Guamal del Departamento del Meta. Universidad Católica de Colombia.