

ACÚSTICA DE MATERIALES PARA CARRETERAS

JOSÉ FRANCO ARCOS ARCOS

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INFRAESTRUCTURA VIAL
BOGOTÁ, D.C.
2021

ACÚSTICA DE MATERIALES PARA CARRETERAS

JOSÉ FRANCO ARCOS ARCOS

Tesis presentada para obtener el título de
Magister en Infraestructura Vial

Dirigido por: Ing. Álvaro de la Cruz Correa Arroyave
Ingeniero de Minas y Metalurgia

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INFRAESTRUCTURA VIAL
BOGOTÁ, D.C.
2021

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá, 09 de diciembre de 2021

1. TABLA DE CONTENIDO

2.	LISTA DE FIGURAS.....	6
3.	LISTA DE TABLAS.....	10
4.	RESUMEN.....	12
5.	INTRODUCCIÓN.....	13
6.	JUSTIFICACIÓN.....	15
7.	OBJETIVOS	16
	7.1. OBJETIVO GENERAL	16
	7.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
8.	ALCANCE.....	17
9.	METODOLOGIA.....	18
10.	ESTADO DEL ARTE	20
	10.1. Ruido en carreteras.....	21
	10.2. Ruido vehicular.....	22
	10.3. Interacción Neumático y carretera.....	23
11.	MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	25
	11.1. Transformación de la energía.....	25
	11.2. Acústica generalidades	27
	11.3. Acústica en carreteras y pavimentos.....	27
	Fuentes motrices. Corresponde a los elementos que originan su movimiento por medio de motores, el ruido producido por la ignición, explosión y combustión en el motor, sumado el ruido producido en la salida o exosto.	27
12.	PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO.....	31
	12.1. Material granular	31
	12.2. Base granular	38
	12.3. Mezcla asfáltica.....	40
	12.4. Concreto hidráulico	43
	12.5. Piedra pómez	54
	12.6. Concreto ELASTICO	56
	12.7. Concreto + Neopreno	60
	12.8. Concreto + esferas de vidrio	72
	12.9. Concreto con acero y polipropileno	75
13.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	83
	13.1. diseño propuesto.....	94
	13.1.1. Diseño estructura de pavimento rígido con neopreno.....	94
	13.1.2. Diseño estructura de pavimento rígido reforzado.....	95
	13.1.3. Diseño estructura de pavimento elástico	96
	13.1.4. Recubrimiento estructural	96
	13.2. analisis de costos	97
14.	CONCLUSIONES.....	98
15.	RECOMENDACIONES.....	100
16.	REFERENCIAS	101
17.	ANEXOS.....	104
	17.1. Ficha técnica asfalto.....	104
	17.2. Ficha técnica grava	105

17.3.	Ficha técnica arena	107
17.4.	Caracterización base granular.....	109
17.5.	Ensayo de laboratorio concretos	117

2. LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama comportamiento ondas en diferentes medios	26
Figura 2. Modelo de oscilación amortiguada.....	26
Figura 3. Diagrama absorción, reflexión y transmisión sonora.....	29
Figura 4. Material granular. a) lavado, b) secado en horno.....	31
Figura 5. Material granular (a) retenido 200 mm, (b) retenido 150 mm, (c) retenido 100 mm, (d) pasante 100 mm.	32
Figura 6. Cilindro para prueba acústica	32
Figura 7. (a) Pastilla piezo eléctrica, (b) Consola de grabación de audio	33
Figura 8. (a) Montaje ensayo acústico, (b) desarrollo del ensayo acústico.....	34
Figura 9. Material retenido 200 mm con adición de lana sintética.....	34
Figura 10. Respuesta del material retenido 200 mm.....	35
Figura 11. Respuesta del material retenido 150 mm.....	36
Figura 12. Respuesta acústica material retenido 100 mm	36
Figura 13. Respuesta acústica material pasante 100 mm	37
Figura 14. Respuesta material retenido 200 mm más fibra sintética.....	37
Figura 15. Comparativo de señal sin y con fibra sintética	38
Figura 16. Muestra de base granular	38
Figura 17. Montaje base granular para ensayo acústico.....	39
Figura 18. Respuesta acústica base granular	39
Figura 19. Mezcla asfáltica en frío.....	40
Figura 20. Muestra de asfalto compacto	41
Figura 21. Montaje de asfalto sobre base granular compacta	41
Figura 22. Respuesta acústica de mezcla asfáltica	42
Figura 23. Respuesta acústica mezcla asfáltica con base granular.....	43
Figura 24. Materiales para mezcla de concreto	44
Figura 25. Concreto vaciado en camisas cilíndricas	44
Figura 26. Muestras de concreto entre 1 y 12 pulgadas	45
Figura 27. Ensayo acústico para muestras de concreto entre 1 y 12 pulgadas	46
Figura 28. Respuesta acústica concreto hidráulico 12 pulgadas	47

Figura 29. Respuesta acústica concreto hidráulico 5 pulgadas	48
Figura 30. Respuesta acústica concreto hidráulico 4 pulgadas	49
Figura 31. Respuesta acústica concreto hidráulico 3 pulgadas	50
Figura 32. Respuesta acústica concreto hidráulico 2 pulgadas	51
Figura 33. Respuesta acústica concreto hidráulico 1 pulgada	53
Figura 34. Relación frecuencia vs espesor cilindro concreto	54
Figura 35. Ensayo acústico mezcla con piedra pómez	54
Figura 36. Mezcla de concreto a base de piedra pómez.....	55
Figura 37. Respuesta acústica concreto con piedra pómez 12 pulgadas	55
Figura 38. Mezcla de látex con cemento y agregados	57
Figura 39. Respuesta acústica concreto con látex natural	58
Figura 40. Respuesta acústica concreto con látex natural.....	59
Figura 41. Prueba con sonómetro, muestras con neopreno	61
Figura 42. Lectura obtenida en placa de 2 pulgadas con y sin neopreno	61
Figura 43. Respuesta acústica concreto 12 pulgadas con una capa de neopreno	62
Figura 44. Respuesta acústica concreto 12 pulgadas con dos capas de neopreno...	63
Figura 45. Respuesta acústica concreto 5 pulgadas más una capa de neopreno	64
Figura 46. Respuesta acústica concreto 5 pulgadas más dos capas de neopreno ...	64
Figura 47. Respuesta acústica concreto 4 pulgadas con una capa de neopreno	65
Figura 48. Respuesta acústica concreto 4 pulgadas más dos capas de neopreno ...	66
Figura 49. Respuesta acústica concreto 3 pulgadas más una capa de neopreno	67
Figura 50. Respuesta acústica concreto 3 pulgadas con dos capas de neopreno	68
Figura 51. Respuesta acústica concreto 2 pulgadas con una capa de neopreno	69
Figura 52. Respuesta acústica concreto 2 pulgadas con dos capas de neopreno	69
Figura 53. Respuesta acústica concreto 1 pulgada más una capa de neopreno	70
Figura 54. Respuesta acústica concreto 1 pulgada más dos capas de neopreno	71
Figura 55. Comparación Área de intensidad sonora, impacto libre, con 1 capa de neopreno (1N), con 2 capas de neopreno (2N).....	72
Figura 56. Esferas de vidrio para mezcla de concreto	72
Figura 57. Respuesta acústica concreto con esferas de vidrio	73

Figura 58. Respuesta acústica concreto con esferas de vidrio	74
Figura 59. Camisas con poliestireno expandido.....	76
Figura 60. Tamaños utilizados en las mezclas, ½”, 1 pulgada, 1 ¼”.....	76
Figura 61. Elaboración concreto con polipropileno de 1 ¼”, 1 pulgada, ½”	76
Figura 62. Cilindros de concreto con acero y polipropileno.....	77
Figura 63. Respuesta acústica concreto con acero y poliestireno expandido.....	78
Figura 64. Respuesta acústica concreto con acero y poliestireno expandido.....	79
Figura 65. Respuesta acústica concreto con acero y poliestireno expandido.....	80
Figura 66. Respuesta acústica concreto con acero y poliestireno expandido.....	81
Figura 67. Respuesta del concreto 12 pulgadas utilizando 1 y 2 capas de neopreno	83
Figura 68. Comparación señal entre concreto hidráulico normal y concreto hidráulico con adición de piedra pómez	84
Figura 69. Comparativo de señal entre concreto hidráulico (C126), asfalto (2 asph10B), base granular (base), concreto hidráulico con acero (C12Ac1pSAg)	84
Figura 70. Comparación de áreas de intensidad sonora de las diferentes muestras ensayadas con h:12 pulgadas, (la muestra con látex es atípica al transformar la energía acústica en energía cinética)	85
Figura 71. Comparativo entre muestra concreto hidráulico 1 pulgada con 1 y 2 capas de neopreno.....	85
Figura 72. Variación amplitud con neopreno muestra 1 pulgada concreto hidráulico	86
Figura 73. Comparativo entre muestra de concreto hidráulico 2 pulgadas con 1 y 2 capas de neopreno	86
Figura 74. Variación amplitud con neopreno muestra 2 pulgadas concreto hidráulico	87
Figura 75. Comparativo entre muestra concreto hidráulico 3 pulgadas con 1 y 2 capas de neopreno, concreto con sintético, pegante base agua, esferas de vidrio, látex	88
Figura 76. Variación amplitud con neopreno muestra 3 pulgadas concreto hidráulico	88

Figura 77. Comparativo entre muestra concreto hidráulico 4 pulgadas con 1 y 2 capas de neopreno	89
Figura 78. Variación amplitud con neopreno muestra 4 pulgadas concreto hidráulico	89
Figura 79. Comparativo entre muestra concreto hidráulico 5 pulgadas con 1 y 2 capas de neopreno	90
Figura 80. Variación amplitud con neopreno muestra 5 pulgadas concreto hidráulico	90
Figura 81. Comparativo entre muestra concreto hidráulico 12 pulgadas con 1 y 2 capas de neopreno, concreto pómez, concreto con esferas de vidrio, concreto con látex y concreto con acero y polipropileno	91
Figura 82. Variación amplitud con neopreno muestra 12 pulgadas concreto hidráulico	92
Figura 83. Relación frecuencia vs tamaño de muestra	92
Figura 84. Relación frecuencia versus material en muestra de 12 pulgadas	93
Figura 85. Relación resistencia acústica versus tamaño	93
Figura 86. Relación entre resistencia acústica versus muestra de concreto hidráulico (verde), con una capa de neopreno (rojo), con dos capas de neopreno (azul).....	94
Figura 87. Estructura de pavimento rígido con doble neopreno.....	95
Figura 88. Estructura de pavimento rígido con neopreno	95
Figura 89. Estructura de pavimento rígido reforzado	96
Figura 90. Estructura de pavimento elástico	96
Figura 91. Protección acústica interna de túneles.....	97

3. LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Niveles de ruido en dBA de actividades comunes	21
Tabla 2. Porcentaje aportado en nivel de ruido por cada parte del vehículo.....	28
Tabla 3. Caracterización material granular	31
Tabla 4. Resultados ensayo acústico.....	40
Tabla 5. Propiedades mezcla asfáltica.....	40
Tabla 6. Resultados ensayo acústico mezcla asfáltica	42
Tabla 7. Resultados del ensayo acústico mezcla asfáltica con base granular	43
Tabla 8. Datos de ensayo acústico	47
Tabla 9. Datos de laboratorio	48
Tabla 10. Datos de ensayo acústico	48
Tabla 11. Datos de laboratorio	49
Tabla 12. Datos del ensayo acústico	49
Tabla 13. Datos de laboratorio	50
Tabla 14. Datos del ensayo acústico	50
Tabla 15. Datos de laboratorio	51
Tabla 16. Datos de ensayo acústico	52
Tabla 17. Datos de laboratorio	52
Tabla 18. Datos de ensayo acústico	53
Tabla 19. Datos de laboratorio	53
Tabla 20. Datos de ensayo acústico	56
Tabla 21. Datos de ensayo	56
Tabla 22. Datos de ensayo acústico	58
Tabla 23. Datos de ensayo	59
Tabla 24. Datos de ensayo acústico	59
Tabla 25. Datos de ensayo	60
Tabla 26. Resumen de lecturas realizadas con sonómetro en cilindros de 1 a 12 pulgadas	61
Tabla 27. Datos de ensayo acústico	63
Tabla 28. Datos de ensayo acústico	63

Tabla 29. Datos de ensayo acústico	64
Tabla 30. Datos de ensayo acústico	65
Tabla 31. Datos de ensayo acústico	66
Tabla 32. Datos de ensayo acústico	66
Tabla 33. Datos de ensayo acústico	67
Tabla 34. Datos de ensayo acústico	68
Tabla 35. Datos de ensayo acústico	69
Tabla 36. Datos de ensayo acústico	70
Tabla 37. Datos de ensayo acústico	71
Tabla 38. Datos de ensayo acústico	71
Tabla 39. Datos de ensayo acústico	73
Tabla 40. Datos de ensayo	74
Tabla 41. Datos de ensayo acústico	74
Tabla 42. Datos de ensayo	75
Tabla 43. Datos de ensayo acústico	78
Tabla 44. Datos de laboratorio	78
Tabla 45. Datos de ensayo acústico	79
Tabla 46. Datos de ensayo	79
Tabla 47. Datos de ensayo acústico	80
Tabla 48. Datos de laboratorio	81
Tabla 49. Datos de ensayo acústico	82
Tabla 50. Datos de laboratorio	82
Tabla 51. Costo m2 de estructuras de pavimento con reducción acústica	97

4. RESUMEN

El ruido es uno de los principales contaminantes ambientales que afectan no solo nuestro estado de ánimo, también impide el disfrute y placer de la conducción; aunque son varios los actores que producen ruido en carreteras, como ingenieros nuestra preocupación es disminuir los niveles de ruido en el contacto neumático pavimento y por qué no, generar con materiales y geometrías apropiadas sonido armónico, originando sensaciones de tranquilidad y confort.

Mediante el uso de micrófonos especiales consolas de grabación y software de sonido se analizaron materiales pétreos utilizados en la construcción de carreteras a fin de identificar y evaluar su reacción a estímulos sonoros; dichos análisis llevaron a comprender cómo las señales acústicas generan ruido, y estudiar cómo disminuir los niveles de ruido, ya sea modificando la geometría y tamaño de las partículas, o mezclando materiales convencionales con sintéticos capaces de absorberlo.

Como resultado se obtiene reducción de ruido en algunos materiales y se propone diseños de estructuras de pavimentos.

5. INTRODUCCIÓN

El ruido, producto del tránsito vehicular, es considerado uno de los principales contaminantes acústico y ambiental en vías rurales y urbanas, siendo en esta última mayor el impacto. El ruido generado por la interacción entre vehículos, ambiente urbano y pavimento. Generalmente alcanza altos niveles de ruido, ocasionando efectos nocivos para la salud.

El ruido en seres vivos conlleva a desequilibrio y perturbación en la salud, la convivencia, el comportamiento social, el estado de ánimo, la estabilidad psicológica y el control del estrés, como también, el desarraigo faunístico, entre otros. En la actualidad es muy poco el interés y desarrollo de estrategias y estudios sobre esta problemática por cuanto la costumbre de vivir en un ambiente contaminado por ruido conlleva a su adaptación.

El ruido urbano y rural en carreteras, comprende varios componentes de estudio, como los asociados a vehículos, motores, densidad constructiva, tipo de materiales y características urbanísticas, entre otros. Así como los constructores y diseñadores de vehículos ya han dado su paso para disminuir el ruido en centros urbanos con la fabricación de motores eléctricos más silenciosos, urbanísticamente y paisajísticamente los planificadores de ciudades han creado nuevos conceptos sobre zonas libres a fin de brindar mayor espacio en áreas adyacentes a las vías, reduciendo la densidad constructiva en corredores viales, desde el área de ingeniería de carreteras el aporte está enfocado en la reducción de ruido generado por la interacción neumático pavimento.

La identificación y caracterización de materiales para construcción de vías desde sus propiedades de disipación y/o reflexión sonora, determinan parámetros para desarrollar materiales geométrica y estructuralmente diseñados con en el fin de reducir ruido sin desmejorar las características mecánicas de los pavimentos. El uso de nuevos materiales garantiza, la reducción de niveles de ruido en las carreteras, como también generar sonido de forma armónica, creando ambientes agradables donde se evite perturbar nuestro estado emocional. Por lo anterior surgen los interrogantes ¿cómo deben ser los materiales, su acomodamiento, su geometría, sus características físicas, químicas, mecánicas, acústicas, a fin de lograr el objetivo planteado en esta investigación? Para lograrlo, es necesario acoger, armonizar y unificar varios conceptos del conocimiento, como estudios de mecánica de materiales, propagación de ondas, transformación de la energía y estados de la materia, conceptos que orientan la solución al interrogante.

En la construcción de carreteras y pavimentos, se utiliza materiales pétreos provenientes de canteras de peña y ríos, los cuales obedecen geométricamente a su producción en plantas de trituración mecánica, posteriormente son mezclados cumpliendo curvas granulométricas con el concepto de densificar y obtener resistencias que garanticen durabilidad.

La alta rigidez y densidad de estos materiales, disipa la energía de un medio a otro en forma leve, transfiriendo en su mayoría la carga sonora al ambiente, lo anterior, sumado a la irregularidad geométrica de los materiales utilizados, produce como respuesta ondas

no armónicas, disperejas, sin uniformidad, generando ruido. Para evaluar la naturaleza de estos materiales es necesario estudiar su comportamiento, ante un impacto o señal sonora. Con la ayuda de herramientas digitales, es factible procesar la información para su estudio y análisis.

6. JUSTIFICACIÓN

La densificación urbana por desarrollo en construcción, derivado de política social de saturar las ciudades, sin importar los espacios libres como parques, corredores ambientales, zonas verdes, genera ambientes cerrados con estructuras sólidas y duras que originan contaminación sonora.

Reducir los niveles de ruido en carreteras, a fin de mejorar condiciones de salud, calidad de vida y generar confort a los usuarios, es una tarea que involucra varias disciplinas del conocimiento, como física, ingeniería, planeación, transporte, medio ambiente, entre otras.

El estudio e investigación capaz de reducir el ruido en diferentes escenarios de infraestructura vial, siempre tendrá una connotación especial por su alto beneficio.

Entre los motivos para desarrollar esta investigación está, primero conocer y estudiar la respuesta acústica de los materiales como aporte a solucionar los problemas de contaminación sonora derivado del tránsito vehicular, segundo descubrir cómo reaccionan internamente las estructuras granulares y de pavimentos ante impactos acústicos, ya que la mayoría de estudios realizados sobre el tema se ha dedicado a medir el efecto de factores externos en la interacción neumático pavimento, partiendo desde la superficie de rodadura.

7. OBJETIVOS

7.1. OBJETIVO GENERAL

Proponer diseños estructurales de pavimentos capaces de reducir niveles de ruido en 10% referente a los convencionales.

7.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar materiales utilizados para diseño de pavimento según su capacidad de disipación o transformación de energía acústica.
- Generar curvas de frecuencia como respuesta de los materiales.
- Determinar propiedades geométrica y granulométrica de materiales para reducción de ruido en vías.
- Determinar relación costo beneficio de estructuras diseñadas acústicamente.

8. ALCANCE

Los centros urbanos, se caracterizan por su alta contaminación acústica, zonas de alta densidad urbana, las cuales con el tiempo desarrollan problemas de morbilidad auditiva, psicológicos y estrés.

El uso de diseños especiales para reducción de ruido tiene como objeto llegar a zonas donde se concentra altos niveles de contaminación sonora. La aplicación en sitios cercanos a intersecciones de parada, lugares culturales, de reunión, hospitales, teatros, auditorios, sitios de esparcimiento y relajación, y alrededor de construcciones de vivienda, son sectores importantes donde deben implementarse sistemas de reducción de ruido.

En cuanto a infraestructura vial, es importante aplicar tanto en sector urbano como rural el control y disminución de ruido, las estructuras como soterrados y túneles, pantallas y muros de contención adyacentes a vías, son candidatos ideales para realizar adecuaciones con uso de materiales que disipen y transformen la energía sonora.

9. METODOLOGÍA

El análisis acústico en materiales se ha realizado en diferentes estudios, básicamente se utilizan sonómetros cuya función es detectar cambios de presión del medio externo, los cuales excitan el sensor incorporado en el instrumento para luego reportar grafica o digitalmente el valor en unidades de presión, en su mayoría dB.

Sin embargo, en simulaciones realizadas con sonómetros, algunos no identifican la fuente que genera dicha presión, obteniendo resultados mezclados por muchas variables, debiendo seleccionar los datos y muchas veces conceptuar erróneamente sobre la información.

Para esta investigación se consideró no realizar análisis con sonómetro evitando así obtener información inconsistente. Es así como el estudio de análisis acústico en materiales para carreteras y pavimentos se concibe desde la respuesta de la estructura interna, es decir como las diferentes capas de material resisten al impacto sonoro en la relación neumático pavimento desde un concepto global como estructura.

A fin de determinar la respuesta que emiten las diferentes estructuras, se construyen modelos y se identifican patrones físicos que describen, como los pavimentos responden a un impacto acústico. Esta respuesta se conoce físicamente como resistencia acústica.

Dentro de la gran diversidad de estructuras, se analizaron condiciones extremas que permitan la respuesta sonora. Para ello no solo se trabajó con los modelos estructurales utilizados en carreteras, también se modificó la mezcla para obtener información importante en el desarrollo de la investigación, como es el cambio del vehículo acuoso en la mezcla de concreto hidráulico, incluyendo otros fluidos que reaccionen con el cemento obteniendo características especiales. Igualmente, el remplazo de materiales granulares que permitan identificar la respuesta acústica de las estructuras.

Dentro de los materiales y estructuras comunes se analizó.

- Materiales granulares
- Bases granulares
- Carpeta asfáltica
- Carpeta asfáltica + base granular
- Concreto hidráulico

Como estructuras modificadas se analizaron

- Materiales granulares con adición de lana sintética
- Concreto modificado utilizando esferas de vidrio
- Concreto modificado utilizando piedra pómez
- Concreto modificado utilizando látex
- Concreto modificado utilizando gel a base de agua
- Concreto hidráulico cubierto por capas de neopreno

- Concreto modificado utilizando camisas de acero con polipropileno

Una vez identificados los materiales, se realizó el ensayo acústico utilizando una pastilla piezoeléctrica como elemento de recepción de la información, la cual esta adherida a la cara inferior de la probeta. Esta a su vez, se conecta con la estación de audio, donde se recopila la información y se trasforma para su posterior análisis.

Ya montado el equipo de audio, se golpea con una varilla la probeta a fin de generar el impacto sonoro, el cual da origen a la señal acústica que viaja a lo largo del cuerpo en análisis, obteniéndose la respuesta acústica, para luego estudiar los resultados.

10. ESTADO DEL ARTE

Muchos autores e investigadores han dedicado su tiempo a orientar, formular y describir soluciones a uno de los problemas más complejos y que mayor impacto ha causado a las personas en diferentes áreas, llevando a la disminución de calidad de vida, representada por problemas de salud, afectación psicológica, inestabilidad cognitiva, desarraigo social y afectación de conducta entre otras. La complejidad para solucionar el problema radica, en que no solo basta con atacar las fuentes de ruido, también está asociado a políticas sociales y económicas, que limitan el buen actuar, para terminar con el problema del ruido.

Mientras que el sonido nos transmite sensaciones, comunicación, información, el ruido es su opuesto, perturba, interrumpe, desagrada y trae efectos nocivos a la salud y el medio ambiente. (Osman, 2010, pp. 7-8; De Gortari, 2013, pp. 59-63; González & Santillán, 2006, p. 40; citados por Alfie & Salinas, 2015).

La OMS dentro de sus evaluaciones determina como el valor máximo de exposición a ruido 85 dB en jornada laboral de 8 horas. La contaminación ambiental por ruido cada vez aumenta, afectando las condiciones de salud y psicológicas. La recomendación de la OMS en cuanto a ruido causado por tráfico vehicular debe limitarse a 53 dB.

El sonido se mide en dB (dB), esta unidad de medida generalmente está en el rango entre 10 y 150, los valores bajos representan sonidos ligeros, mientras que los altos comprenden sonidos fuertes los cuales producen afectación auditiva. El sonido se compone de muchas frecuencias desde graves hasta agudos, las cuales se filtran y ponderan en varios tipos. (Alfie y Salinas, 2015).

Sin duda alguna el ruido contamina y afecta la salud humana. De ahí que, un propósito desde la ingeniería de carreteras es aportar con modelos de estructuras de pavimentos, capaces de reducir los niveles de ruido, principalmente para ser utilizados en lugares con altos niveles de contaminación auditiva.

Los niveles de ruido en sectores urbanos es producto de diversos factores, que, dentro de urbanismo y arquitectura, aportan significativamente esta condición. La cercanía de edificios sin dar lugar a que el ruido se disipe naturalmente, la rigidez de calles y estructuras, espacios confinados, sumado al tráfico vehicular, producen contaminación ambiental acústica.

En la Tabla 1, se muestra los niveles sonoros en dBA y la percepción ambiental de actividades comunes en sectores urbanos.

Tabla 1. Niveles de ruido en dBA de actividades comunes

Actividad	Nivel sonoro en dB dBA	Percepción ambiental
Pisada peatonal	10	Ambiente silencioso
Viento de los árboles	20	
Conversación en voz baja	30	Ambiente bajo ruido
Biblioteca	40	
Oficina	50	
Nivel propuesto por OMS al aire libre 55 dB		
Conversación normal	60	Ambiente ruidoso
Exposición a más de 70 dBA causará pérdida audición y otras afectaciones a la salud		
Calle transitada	80	
Tránsito vehicular congestionado	80	
Transporte de carga pesada	90	
Motocicleta	100	Ambiente molesto
Maquinaria industrial	100	
Tránsito vehicular por túnel	90-110	
Límite del umbral del dolor 120 dBA		
Martillo neumático	130	Ambiente insoportable
Despegue de avión	150	

Fuente: Elaboración propia con información de Alfie, C. M. & Salinas, C. O. (2015), Ruido en la ciudad. Contaminación auditiva y ciudad caminable. Estudios Demográficos y Urbanos, 32 (1) (94), 65-96. <https://estudiosdemograficosyurbanos.colmex.mx/index.php/edu/article/view/1613/pdf>

Particularmente, el ruido en carreteras se ha estudiado, principalmente en tres aspectos, el ruido generado por el vehículo, el ruido producto de la interacción neumático – pavimento o también llamado ruido de rodadura y el ruido que depende de los materiales que componen la estructura de pavimento.

10.1. RUIDO EN CARRETERAS

El ruido en carreteras está compuesto por muchos factores, como el flujo vehicular, tipo de vehículos, tipo de motores, composición vehicular, características geométricas de la vía, velocidad de operación, composición estructural de la carretera, estructuras viales.

El ruido producto del vehículo en tránsito depende de varias variables, el motor y su tamaño, la velocidad y relación de la transmisión, y el contacto con el entorno sea el tipo de rodadura y el choque con el aire. (Ramírez González & Domínguez Calle, 2011, p. 514). El generado por los vehículos proviene fundamentalmente de la parte mecánica, la fricción y el contacto entre sus partes. Las revoluciones del motor, sumado la tracción, la

suspensión, el escape, y el contacto de los neumáticos con el pavimento, el cual depende de la composición de su estructura.

La velocidad de tránsito tiene incidencia muy alta en el ruido resultante, por cuanto a mayor velocidad el choque del vehículo con el aire produce mayor interacción, generando ruido.

Para estructuras viales cerradas, como es el caso de túneles, falsos túneles, soterrados o que involucren pantallas o muros de contención que cierren parcialmente la vía, el ruido producido es mucho mayor a una vía normal.

Estudios realizados en túneles dan una idea clara sobre el problema que puede generar al sistema auditivo el paso frecuente y prolongado en túneles, más aún cuando se trata de trayectos de gran longitud, cabe aclarar que dicha afectación impacta especialmente a peatones, bici usuarios, motociclistas y personas que transiten sin protección auditiva.

De acuerdo con lo descrito por Inés Aragüez del Corral de la Universidad de Málaga en su investigación sobre el túnel de Málaga, España, el nivel de ruido percibido por el peatón oscila entre 101,22 dB valor medio y un pico de 102 dB. Para lo cual ha propuesto varias alternativas para enfrentar la problemática del ruido como, uso de pavimentos compuestos por asfaltos fonoabsorbentes, recubrimientos con mortero capaz de reducir la reflexión del ruido, y el uso de barreras acústicas. Sin embargo, el uso de estas técnicas aún no ha conseguido dar solución al problema ya que la reducción de ruido es baja, por ello es necesario buscar otro tipo de soluciones como materiales estructurales y equipos que reduzcan el ruido de forma eficiente.

Teniendo en cuenta lo anterior es oportuno decir, que el problema del ruido en carreteras tanto urbanas como rurales está definido por las dos partes actuantes como son el emisor, considerando todas las fuentes productoras de ruido y por otro lado el receptor quien emite la respuesta o reacción a la señal sonora, siendo las estructuras y los materiales de construcción quienes deben ser capaces de absorber y transformar la energía acústica en otro tipo de energía, a fin de reducir los niveles de ruido.

10.2. RUIDO VEHICULAR

El ruido vehicular, es una de las principales fuentes de contaminación acústica urbana, aunque existe normas que regulan los límites máximos admisibles de dB, el cumplimiento por parte del parque automotor y entidades de regulación y control no es el mejor.

La inclusión de vehículos eléctricos es un aporte muy importante en reducción de ruido en centros urbanos, dando esperanza de obtener niveles bajos.

En la unión europea, los niveles máximos de ruido permitidos para automóviles son de 74 dB según la directiva 96/20/CE. Luego es modificada y se establece como límite máximo 69 dB con la directiva 2007/46/CE. Los vehículos eléctricos, tienen como ventajas principales, la disminución de ruido, cero emisiones y mayor rendimiento.

Cuando el vehículo transita a velocidad menor a 50 km/h el ruido percibido es el generado por el motor, mientras que para velocidades mayores el ruido dominante es el producido por la interacción neumático pavimento. Al sobrepasar los 80 km/h entra en juego la interacción con el aire dando origen al ruido aerodinámico.

En zonas urbanas existe restricción de velocidades la cual oscila entre 20 y 60 km/h, por ello es común identificar sectores de alta contaminación acústica en centros urbanos. Uno de los puntos de mayor afectación sonora son los cruces semaforizados, la primera marcha de muchos vehículos actuando al mismo tiempo produce altos niveles de ruido superando normas y reglamentos ambientales.

En motores con cuatro cilindros y cajas de cuatro velocidades, los cuales son los más usuales, la frecuencia radiada en general está entre 30 y 100 Hz correspondiendo a 3000 RPM. La energía sonora producto de estas frecuencias es la de mayor afectación domiciliaria, generando molestia auditiva y dificultad de comunicación. (Bérenghier, et al., 2014; SandBerg, 2012).

Los motores eléctricos ofrecen grandes ventajas como la capacidad de generar el movimiento vehicular sin revoluciones y vibraciones, aportando en la reducción de los niveles de ruido. (Bérenghier, et al., 2014; SandBerg, 2012).

El aporte de las empresas productoras de vehículos, a la disminución de ruido ha iniciado con tropiezos, a nivel mundial existe el conflicto entre quienes favorecen los vehículos con motores a combustión versus quienes promueven los motores eléctricos, sin embargo, la tendencia a disminuir los niveles de ruido cada vez es más cercana. Pero aún falta varias áreas de la ingeniería que deben unirse en esta campaña, por un lado las entidades y políticas gubernamentales en ciudades y centros urbanos deben organizar y planificar el espacio, con el objeto de disipar el ruido, el sector de la construcción debe innovar con materiales capaces de absorber o transformar el ruido, la ingeniería ambiental y forestal propender con el uso de especies arbóreas o arbustivas que permitan disminuir los niveles de ruido, la ingeniería de carreteras diseñar estructuras de pavimento con materiales que reduzcan el ruido en el contacto neumático – pavimento, en fin la reducción del ruido nos afecta y entre todos debemos mitigarlo.

10.3. INTERACCIÓN NEUMÁTICO Y PAVIMENTO

Uno de los factores que genera mayor nivel de ruido en los neumáticos, es el área de contacto con la carretera, cuando la llanta tiene mayor interacción con la rasante produce más sonido, por lo contrario, una llanta con dimensiones de contacto reducidas, los niveles son menores, actualmente el ancho medio de neumáticos es 195 mm. Para reducir al menos 6 dB, es necesario que el ancho de los neumáticos sea de 95 mm, similar a la llanta de una bicicleta, debiendo adecuarse el diseño automotriz. (Sociedad Española de Acústica [SEA], 2016).

La reducción de contacto de los neumáticos difícilmente puede lograrse, ya que es indispensable el agarre para estabilidad y control del vehículo, sobre todo a velocidades

altas, esta condición hace que, la interacción neumático–pavimento sea uno de los principales productores de contaminación acústica en sectores urbanos.

Pavimentos asfálticos silenciosos. El comportamiento de los materiales en un evento acústico está en función de su estructura, la cual se determina según sus propiedades como porosidad, dureza, densidad, geometría, resistividad al flujo estático de aire, módulo de Young, coeficiente de Poisson y amortiguamiento entre otras. Para el diseño acústico de pavimentos asfálticos se utilizan programas basados en modelos matemáticos complejos, simulando su comportamiento real. (González, et al., 2008).

Los pavimentos porosos ofrecen texturas que garantizan porosidad típica entre 20 y 25%, la cual permite mayor absorción y disipación del sonido generado por la interacción neumático - pavimento. Los pavimentos poroelásticos también ha logrado reducir en niveles de ruido del orden de 10 dB, comparado con otros pavimentos flexibles éste adiciona un ligante con fibras de caucho en 20%. (González, et al., 2008).

El pavimento poroelástico. La Universidad Federal de Santa Catarina Brasil, realizó mediciones de ruido en diferentes pavimentos asfálticos, variando la rugosidad en la capa de rodadura. Los resultados indican que las texturas con mayor rugosidad generan mayor ruido mecánico, mientras que las mezclas densas y cerradas producen ruido aerodinámico. Otra de las observaciones, fue al comparar los resultados entre pavimento asfáltico y pavimento hidráulico, éste último generó mayor ruido respecto al anterior, debido a sus características como mayor rigidez y menor porosidad. (Volvo, 2018).

Varios países realizan investigación con el fin de desarrollar pavimentos silenciosos. Holanda es uno de los principales y pionero en estudiar esta clase de pavimentos. una conclusión importante es el diseño de revestimientos con porcentaje de 13% de vasos comunicantes y tamaño de agregado entre 6.4 y 9.5 mm, obteniendo alta capacidad de absorción sonora. (Volvo, 2018).

11. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

11.1. TRANSFORMACIÓN DE LA ENERGÍA

Para comenzar, una de las principales leyes físicas y filosóficas, que da origen al tema relacionado en esta investigación es la Ley de la Conservación de la Energía.

Es una de las leyes más importantes de la conservación; según dicha ley, la energía al pasar de una forma a otra no desaparece. Cuando un sistema material pasa de un estado a otro, el cambio de su energía corresponde rigurosamente al incremento o a la disminución de energía de los cuerpos que entran en interacción.

La ley de la conservación de la energía fue descubierta a mediados del siglo XIX gracias a los trabajos de Mayer, Joule, Helmholtz y otros. Precedieron a este descubrimiento las ideas sobre la conservación de la materia y de la energía enunciada por Descartes, Leibniz y Lomonósov.

James Prescott Joule, en 1847 enuncia el principio de conservación de la energía, "la energía no se crea ni se destruye, se transforma".

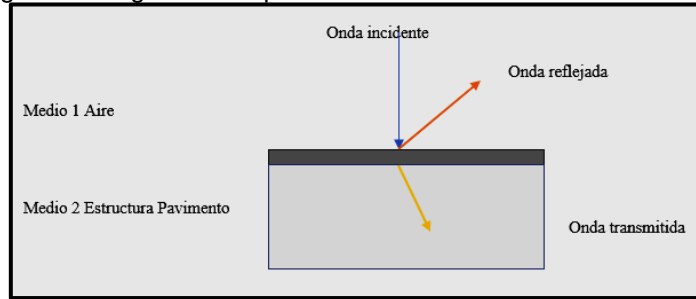
La energía existe en todo cuerpo o elemento y dependiendo de su función se denomina su tipo. Siendo así, la energía es única, pero puede transformarse según el medio en que se encuentre. Si es un cuerpo móvil la energía es cinética, y dependiendo si el cuerpo se detiene o está en reposo tiene energía potencial. Si el medio es el viento, hablamos de energía eólica; la energía hídrica proviene del aprovechamiento del movimiento de corrientes de agua; si se trata del movimiento o excitación de electrones, se obtiene la energía eléctrica, y la obtenida por vibración y transmisión de ondas sonoras, es energía acústica o sonora.

Cuando la energía pasa de un medio a otro a través de un cuerpo, éstos reaccionan y emiten una respuesta la cual es objeto de diferentes estudios, e investigaciones. En el caso del sonido, cuando un cuerpo es sometido a un impacto, éste vibra según las propiedades y características físicas; al dar un golpe a una roca con un martillo, dependiendo de su densidad, ésta puede fraccionarse liberando ondas sonoras y produciendo movimiento en las partículas; si tiene densidad mayor a la anterior, el impacto será transmitido al entorno produciendo una onda sonora únicamente. El análisis de estos eventos lleva a conocer las diferentes propiedades y variables físicas de los materiales.

Cuando una onda sonora cruza entre dos medios, transmite y genera ondas que son reflejadas, Figura 1.

El estudio de esta transmisión es particular dependiendo de los medios que interactúan en el evento acústico.

Figura 1. Diagrama comportamiento ondas en diferentes medios



Fuente: Elaboración propia

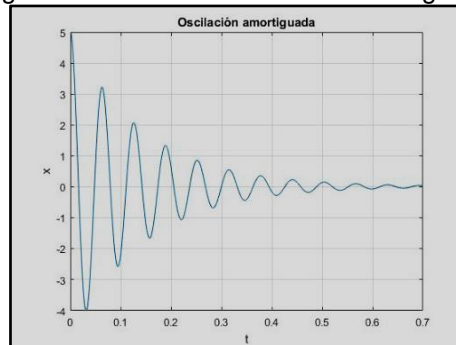
Para este caso, la transmisión del impacto causado por el contacto entre el vehículo y la capa de rodadura de la vía, genera ondas sonoras que son transmitidas a las capas granulares del pavimento, estos materiales dan respuesta en forma de señal acústica (ruido) y dependiendo del grado de compactación y acomodamiento de las partículas, puede presentarse movimiento interno de éstas en las diferentes capas de los materiales.

Cuando la onda incidente pasa por las “n” capas granulares, genera una onda reflejada y otra transmitida. Dependiendo del número de capas estructurales y sus características, vuelve a generar ondas reflejadas y transmitidas repetidamente. Si la duración de la onda incidente es menor que $2L/c$, es posible detectar el eco producto de la interacción ondulatoria.

Al generar el impacto y originar la onda, ésta inicia en gran amplitud, para luego decrecer con el tiempo como si se tratase de oscilaciones libres amortiguadas, Figura 2, como lo define la ecuación 1.

$$X = Ae^{-\beta t} \cos(\omega t + \phi) \text{ ec. 1}$$

Figura 2. Modelo de oscilación amortiguada



Fuente: sc.ehu.es/sbweb/fisica3/oscilaciones/amortiguadas/amortiguadas.html

Donde:

t: tiempo de relajación

A: amplitud

ω : frecuencia angular

ϕ : constante determinada por las condiciones de inicio

β : coeficiente de absorción temporal

11.2. ACÚSTICA GENERALIDADES

La acústica es la ciencia de la física encargada de conocer el origen, control, transmisión y efectos del sonido.

El sonido es producto de la variación de presión al interactuar con el aire, las unidades para medir el sonido son los decibeles (dB), la cual nos determina el nivel sonoro. Dependiendo de la sensibilidad, frecuencia y filtro de la señal los dB se clasifican en diferentes tipos, entre ellos algunos ejemplos son los dB tipo A (dBA), tipo B (dBC), EPNDB utilizados en certificación de aviones.

Los dB audibles por el ser humano están en el rango de 0 dB hasta 140 dB, el límite se considera cuando existe dolor en el sistema auditivo. Cuando la señal sonora dada su homogeneidad y continuidad produce sensaciones agradables considerándose como sonido, cuando la señal presenta perturbación y desagrado se conoce como ruido.

El ruido es un sonido desagradable, es una perturbación de una señal. Físicamente, el movimiento desordenado de electrones es una de las causas de su origen.

Podemos decir que, la contaminación por sonido obedece a exceso de ruido en una localidad, existiendo afectación en personas y demás seres vivos, como pérdida de la audición, trastornos psicológicos y comportamentales, estrés, ansiedad, insomnio, depresión entre otras. Aunque existe susceptibilidad en determinadas personas, se destaca que los niños no sólo pueden sufrir retraso en el aprendizaje, también pueden experimentar graves problemas de comunicación verbal.

11.3. ACÚSTICA EN CARRETERAS Y PAVIMENTOS

El ruido en carreteras es el producto de varios factores y fuentes que intervienen directa e indirectamente. Entre ellas, las más comunes son.

Originadas por el vehículo. Fuentes mecánicas. Producto de rozamiento e interacción de las partes mecánicas del vehículo como son rodamientos, chasis, amortiguadores, y demás componentes que funcionan mecánicamente.

Fuentes motrices. Corresponde a los elementos que originan su movimiento por medio de motores, el ruido producido por la ignición, explosión y combustión en el motor, sumado el ruido producido en la salida o exosto.

Los vehículos de transporte como automóviles, motocicletas, buses, camiones, maquinaria pesada se caracterizan por transmitir ruido directo a la superficie del pavimento.

El ruido vehicular depende a su vez del tipo de vehículo, tipo, potencia y posición del motor, sistema de combustión, tipo de suspensión, características físicas y número de neumáticos. En la Tabla 2 se observa los diferentes componentes que emiten ruido en un vehículo.

Tabla 2. Porcentaje aportado en nivel de ruido por cada parte del vehículo

Porcentaje de aporte en ruido por fuente emisora en vehículos				
	V:50 km/h		V: 80 km/h	
Fuente emisora	Vehículos livianos	Vehículos pesados	Vehículos livianos	Vehículos pesados
Admisión, escape	10-35%	0-10%		
Radiación del sistema de escape	10-35%	20-60%		
Bloque motor	20-50%	10-80%		
Caja, transmisión	5-35%	10-80%	15-35%	50-70%
Ventilador, radiador	0-30%	0-65%		
Contacto neumático/pavimento	<15%	<15	65-85%	30-50%

Fuente. Elaboración propia

Originadas por la interacción del vehículo con el aire. El ruido generado por la interacción entre el vehículo y el aire es producto de la ruptura de la masa gaseosa generada por un cuerpo en movimiento. Los niveles de ruido dependen básicamente de cuatro variables, como son, la densidad del aire, la geometría y área de la parte frontal, la velocidad y la resistencia aerodinámica.

Originadas por interacción con el entorno. Se refiere al ruido generado por el choque de ondas sonoras con cuerpos estáticos y dinámicos, por encima del nivel de rasante que existen en el medio, por ejemplo, edificios, vehículos, barreras, muros, arboles, parques, arbustos, zonas verdes, corredores, entre otros.

Al producirse la onda o señal sonora, esta choca con el cuerpo del entorno y refleja el sonido en varias direcciones, dependiendo de las características físicas de los elementos actuantes, la energía sonora es reflejada, absorbida, transformada o transmitida a otros medios en diferentes magnitudes.

Originadas por interacción neumático pavimento. El ruido producto de la interacción neumático / pavimento, también conocido como ruido de rodadura, es generado por un conjunto de variables, las cuales dependen de las características físicas de cada elemento que interactúa. En este caso se determinan dos tipos de variables, las que dependen del neumático y las que dependen del pavimento.

Dependiendo del neumático. Una de las principales interacciones que generan ruido es el contacto entre el neumático del vehículo y la carretera, dos actores importantes a los cuales debe tenerse en cuenta a fin de disminuir el nivel de ruido. El neumático tiene por

variable su tamaño, capacidad para transmitir esfuerzos de carga, su área de contacto con la vía, material, estructura, tipo de grabado y textura superficial.

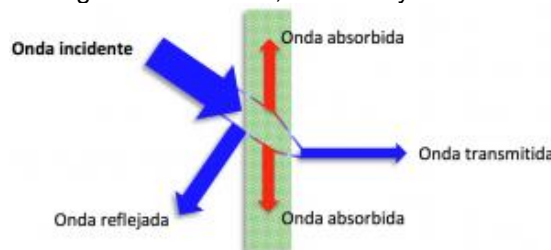
Los neumáticos son fabricados de diferentes materiales, teniendo en cuenta el tipo de vehículo, por lo general se utiliza el caucho, y mezclas con caucho al cual se adiciona químicos con propiedades antioxidantes, elasticidad, estabilidad, flexibilidad.

El tipo de grabado, tiene mucha importancia en el análisis de ruido de rodadura, la textura superficial, diseñada para ofrecer diferente tipo de agarre en carreteras implica tener mayor o menor área de contacto, que a su vez representa mayor o menor vibración y resonancia dependiendo de la porosidad de los neumáticos.

Dependiendo del pavimento. El segundo actor en la generación de ruido en la interacción neumático – pavimento es el material de la capa de rodadura. En la actualidad las carreteras se construyen de diversos materiales como concreto asfáltico, concreto hidráulico, bases y subbases granulares, adoquines entre otros. Materiales que, por su composición y características físicas y químicas, responden acústicamente de diferentes modos. Como elementos principales a estudiar, para entender como se desarrolla la generación de ruido en carreteras se definen los siguientes.

Absorción acústica. Es la energía que absorbe un material en el momento que la onda sonora incidente choca con su superficie. En la Figura 3 se observa como la onda incidente al chocar con un elemento la energía se descompone en energía reflejada, absorbida y transmitida.

Figura 3. Diagrama absorción, reflexión y transmisión sonora



Fuente: ingenieríamusical.net/acústica-musical/

El porcentaje de absorción de un material indica propiedades físicas del elemento como densidad, dureza, porosidad, entre otros. Los materiales se clasifican por su grado de absorción o atenuación acústica, los cuales se comparan según su coeficiente de absorción, el cual define la relación entre la energía absorbida e incidente.

Rugosidad. La rugosidad superficial de los pavimentos incide en la generación de ruido, esta característica es considerada una de las más importantes sobre el origen del ruido en la interacción neumático - pavimento.

Textura Superficial. Una característica notable en la generación de ruido en la interacción neumático - pavimento es la textura de la superficie. La vibración causada en esta interacción origina ruido, convirtiéndose de este modo, el estado de la superficie de

pavimento, una causa origen en producción de ondas sonoras, las cuales se reflejan al entorno.

El proyecto de investigación realizado por la empresa de ingeniería Villaret, quien utiliza procesos de esmerilado y ranurado en la superficie del pavimento, se ubica discos de corte espaciados en anchos y profundidades determinadas, generando líneas o canales consecutivos. Estos canales definidos con características diseñadas proporcionan reducción de ruido en pavimentos de concreto hidráulico.

Ensayos realizados por Villaret et al. (2013), en los cuales toman datos de ruido, en diferentes texturas de pavimento, velocidades y tipos de neumáticos, demuestran una evidente reducción de ruido en superficies abrasivas.

Las medidas realizadas, muestran que en secciones con ranuras menos anchas generan niveles bajos de presión acústica, es decir existe proporcionalidad inversa entre el ancho de ranura y nivel de presión acústica.

Porosidad del pavimento. Otra de las variables a considerar en la generación de ruido en la interacción neumático - pavimento es la porosidad. La optimización del diseño del pavimento reduce el nivel de ruido, como en mezclas asfálticas porosas, utilizada en vías urbanas como pavimentos silenciosos.

Composición estructural. Dentro de los factores que se atribuye la generación de ruido existe un aspecto al cual se ha realizado poca investigación, el cual es el motivo del presente estudio.

Se trata del análisis de la estructura interna del pavimento, como este responde al evento acústico, y como los diferentes materiales que componen la estructura actúan, originando reflexión y absorción sonora.

12. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

Para obtener los resultados esperados fue necesario realizar la caracterización de los diferentes materiales granulares en tamaño y gradación y luego realizar ensayos y procedimientos para encontrar su comportamiento acústico.

12.1. MATERIAL GRANULAR

Descripción. Material pétreo de origen sedimentario, de peña, con tamaño comprendido entre 4,80 a 38,00 mm. Las especificaciones se indican en la Tabla 3.

Tabla 3. Caracterización material granular

CARACTERÍSTICA	LÍMITES DE COMPORTAMIENTO		
	INFERIOR	SUPERIOR	PROMEDIO
Densidad (kg/m ³)	2276	2327	2302
Absorción (%)	3,9	4,8	4,3
PT 200 (%)	0,1	1,6	0,8
Desgaste (%)	28	45	37
Caras Fracturadas (Dos Caras) (%)	84	100	92

Fuente: Grupo Argos. Ficha técnica Argos. <https://colombia.argos.co/agregados/#>

Lavado y secado de material. Una de las muestras utilizadas es material de peña de roca sedimentaria de varios tamaños, la cual se lava a fin de eliminar impurezas, materia orgánica y elementos que afecten el muestreo. Una vez lavada, se coloca en bandejas metálicas y se lleva al horno a una temperatura de 110° C durante 40 minutos, obteniendo material limpio y seco; en la Figura 4 se observa el material lavado (a) y seco al horno (b).

Figura 4. Material granular. a) lavado, b) secado en horno



Fuente: Elaboración propia

Tamizado y selección. Se tamiza y selecciona el material por tamaños a fin de analizar el comportamiento acústico conforme a su tamaño y porcentaje de vacíos, Figura 5, (a) retenido 200 mm, (b) retenido 150 mm, (c) retenido 100 mm (d) pasante 100 mm.

Figura 5. Material granular (a) retenido 200 mm, (b) retenido 150 mm, (c) retenido 100 mm, (d) pasante 100 mm.



Fuente: Elaboración propia

Ensayo acústico. Para la evaluación de los materiales se utilizó un cilindro metálico de 9 pulgadas de altura y 6 pulgadas de diámetro interno el cual facilita la contención y confinamiento del material.

El molde es abierto por los dos extremos con el fin que el impacto para generar la señal acústica sea directo al material tanto a la entrada como a la salida, evitando efectos sonoros por otros materiales, en la Figura 6 se observa el molde utilizado para el ensayo al cual se realiza medición de su diámetro y altura.

Figura 6. Cilindro para prueba acústica



Fuente: Elaboración propia

El micrófono o pastilla piezoeléctrica se adhiere en la base del cilindro utilizando una plataforma plástica. Esta pastilla de referencia Oyster S/P tiene como características el recoger el sonido natural instantáneamente, sin conmutación activa. El sonido se realiza a través de la interacción perfecta de tres elementos: la membrana, la pastilla piezoeléctrica y un gel de contacto de plástico especial de alta calidad en el que su blindaje hace que la recolección de señales sea más perfecta. El micrófono tiene

capacidad de 74pF, impedancia salida de 1 a 5 MOhm. La Figura 7 (a), se observa la pastilla piezoeléctrica utilizada para el ensayo acústico.

Como recolector de datos se utilizó una estación de sonido que permite grabar en 16 y 24 bits (bit depth), con frecuencia de muestreo de 44,1 kHz. Los bits depth se refieren a la profundidad de bit o los bits de captura en un audio; actualmente se trabaja con 16 y 24 bits siendo los dos de alta calidad y definición. Si se combina bit depth con frecuencia, se consigue un bit rate (cantidad de datos por segundo requeridos para transmitir el archivo, también llamado tamaño del archivo), en la Figura 7 (b), se observa la consola portátil de grabación de audio utilizada, marca Yamaha, la cual está conformada por 8 canales de entrada, 16 controladores o selectores, unidad de procesamiento, unidad de grabación, puertos para pc y monitores.

Figura 7. (a) Pastilla piezo eléctrica, (b) Consola de grabación de audio



Fuente: Elaboración propia

Análisis acústico. El procedimiento realizado para toma de muestras acústicas fue el siguiente:

Una vez el material lavado, seco y seleccionado, se coloca en el cilindro metálico, acomodándolo por capas, luego se apisona a fin de reducir los vacíos en la muestra. Para cada muestra granular se realizó el procedimiento mostrado en la Figura 8 (a), la cual muestra el montaje de los diferentes elementos para realizar el ensayo acústico.

Estando lleno el cilindro con el material granular, se testea utilizando una varilla metálica y golpeando la muestra a fin de generar un impacto seco. Para lograr que el impacto sea efectivo y no llevé a rechazo, se monitorea constantemente con la ayuda de audífonos de estudio, en la Figura 8 (b), se observa el desarrollo del ensayo acústico.

Figura 8. (a) Montaje ensayo acústico, (b) desarrollo del ensayo acústico



Fuente: Elaboración propia

Cada muestra se golpea entre 20 y 25 veces, obteniendo más de 200 señales acústicas por cada tamaño.

Se repite el procedimiento, utilizando diversos materiales y mezclas. Una de las mezclas estudiadas se compuso de material pétreo, 200 mm, con fibra sintética a base de silicona la cual fue colocada entre las partículas. Esta fibra permite absorber el ruido interno, en la Figura 9, se observa el material granular con adición de lana sintética.

Figura 9. Material retenido 200 mm con adición de lana sintética



Fuente: Elaboración propia

El procedimiento se repite en muestras con material granular de tamaños, 150 y 100 mm.

Después de ensayar las muestras, las señales son grabadas en la estación de audio, de la cual se realiza la descarga de archivos en formato AWS, propio de la consola; estos archivos deben ser transformados a formatos de audio reconocidos por los diferentes programas de análisis y edición de audio.

Los archivos de audio, transformados a formato WAV, son cargados en software de audio a fin de evaluar las señales.

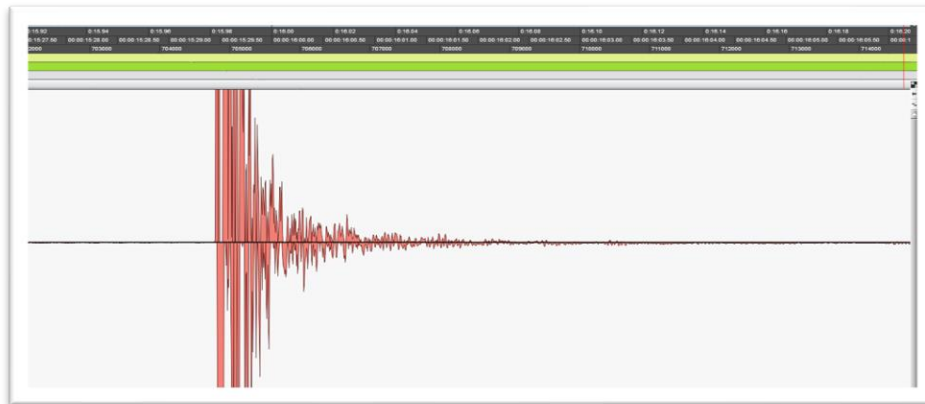
Concluida la ejecución de ensayos, se inicia el análisis de datos. Se obtuvieron diferentes gráficas, en las cuales se observa, cómo el acomodamiento, tamaño y geometría de los materiales, juega un papel muy importante en la distribución y absorción del ruido.

En las figuras siguientes, se observa la respuesta al impacto, esta se describe como la resistencia del material a permitir el paso de la onda, la cual es producto de la presión acústica del impacto.

Las gráficas generadas representan dicha resistencia, también conocida como impedancia acústica. Las variables identificadas dentro del modelo son, en el eje x, el tiempo de duración de la señal y en el eje y, la presión acústica representada en dB.

Los datos y reportes de audio registrados para la muestra de tamaño retenido en el tamiz 200 mm, generaron la gráfica mostrada en la Figura 10, se observa en la etapa inicial de la onda acústica un alto nivel sonoro, onda no armónica e irregular. La no uniformidad del evento en el transcurso del tiempo revela cómo la diversidad geométrica de los materiales analizados da lugar a señales sin frecuencia definida.

Figura 10. Respuesta del material retenido 200 mm



Fuente: Elaboración propia

A medida que va reduciendo el tamaño, la resistencia acústica aumenta, generando reflexión, como se observa en los ensayos a muestras de tamaños retenido 150 mm, retenido 100 mm y pasante 100 mm, Figuras 11 a 14.

El tamaño de las partículas de un material con geometría compleja influye en el porcentaje de vacíos del mismo, esta característica define el nivel de ruido generado en la estructura granular. Internamente el impulso o señal acústica golpea las paredes de cada partícula y viaja aleatoriamente por las cavidades generando ondas distorsionadas produciendo en su salida ruido, el cual en la mayoría de los casos es desagradable y rechazado por nuestro sistema auditivo.

Cuando se analiza la muestra de tamaño retenido 150 mm, (figura 11), se observa aumento en la resistencia acústica del material y una onda más uniforme, deduciendo

que a medida que los espacios internos se reducen, el choque o perturbación del aire es más bajo, aumentando la reflexión sonora.

Figura 11. Respuesta del material retenido 150 mm



Fuente: Elaboración propia

Para material tamaño retenido en el tamiz 100 mm, (figura 12), se observa una curva con menos volumen, efecto ocasionado por disminución de vacíos.

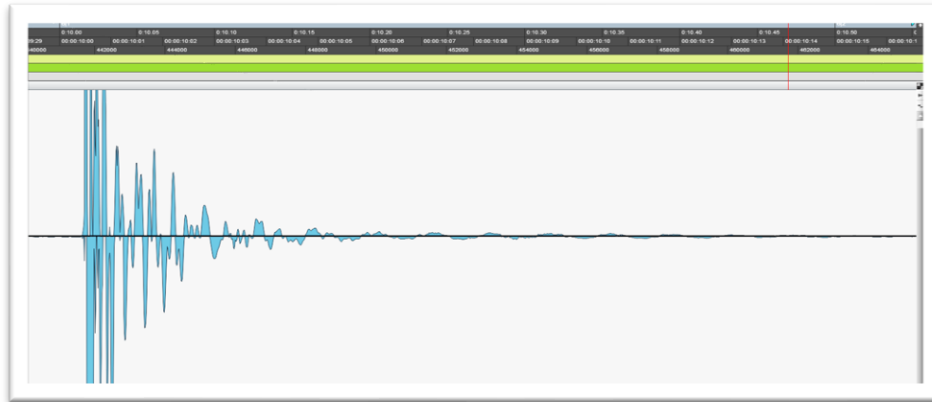
Figura 12. Respuesta acústica material retenido 100 mm



Fuente: Elaboración propia

Con tamaño pasa tamiz 100 mm, la onda reduce considerablemente los niveles de energía transportada, la señal tiende a normalizarse, con posibilidad de obtener frecuencias (figura 13).

Figura 13. Respuesta acústica material pasante 100 mm

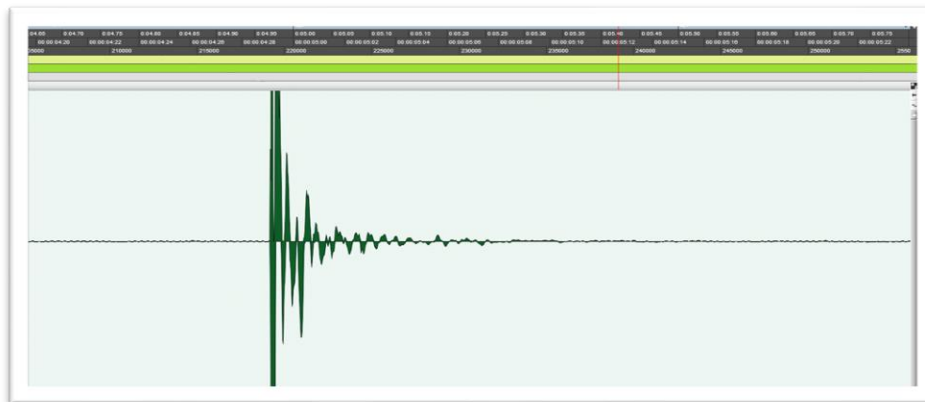


Fuente: Elaboración propia

Al realizar el ensayo acústico en el cual se adiciona lana o fibra sintética a base de silicona, se identifica una propiedad muy especial en la interacción de los dos materiales.

Se trata de la absorción del sonido o “apagado”, al combinar dos materiales, para este caso, material granular de tamaño retenido 200 mm y fibra sintética siliconada la cual se coloca en los espacios internos, originados por irregularidad geométrica, se observa la reducción notable de niveles de ruido, como también la uniformidad en la señal, (figura 14).

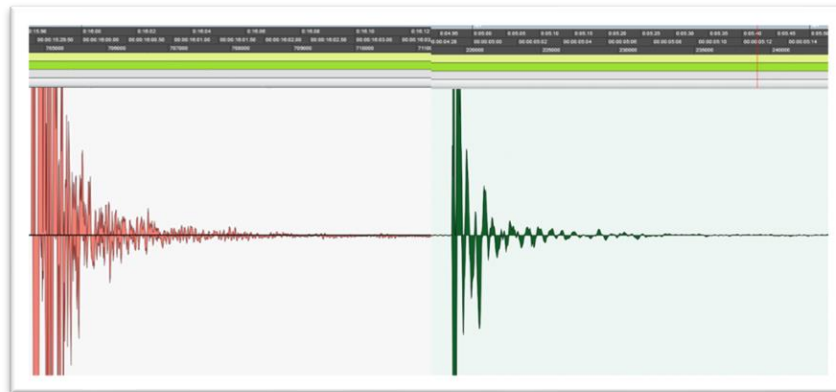
Figura 14. Respuesta material retenido 200 mm más fibra sintética



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 15, se compara la muestra tamaño retenido en el tamiz 200 mm y retenido en el tamiz 200 mm con adición de fibra sintética siliconada. Es notable la diferencia en disminución de niveles de ruido y uniformidad de onda.

Figura 15. Comparativo de señal sin y con fibra sintética



Fuente: Elaboración propia

12.2. BASE GRANULAR

Descripción. Para el desarrollo del ensayo, se tomó material tipo base granular del acopio Planta Aipe, en el departamento del Huila, el cual es fuente de abastecimiento de materiales granulares dentro de la concesión Neiva – Girardot. Los materiales ensayados cumplen con las características solicitadas en la normatividad INVIAS, específicamente Artículo 330-13.

Los ensayos característicos realizados a estos materiales fueron

- Análisis Granulométrico, INV E 123-13, INV E 213-13
- Límites de Consistencia, INV E 125-13, INV E 126-13
- Equivalente de Arena y Azul de Metileno, Art. 330-13 INVIAS
- Índice de Alargamiento y Aplanamiento, INV E 230-13

Selección. Una vez recogida la muestra a analizar, se cuartea y verifica que esté libre de materia orgánica o partículas contaminantes y se toma la cantidad necesaria para realizar el ensayo. En la Figura 16, se observa el material de base granular seleccionada.

Figura 16. Muestra de base granular



Fuente: Elaboración propia

Ensayo acústico. Se colocó el material en la probeta, la cual tiene en la parte de abajo una pastilla piezoeléctrica, la cual transmite la información a la consola de audio.

En la probeta el material es colocado mediante capas, siguiendo la normatividad Invias referente al ensayo modificado de compactación INV E 142-13. Una vez colocado el material en el cilindro, se conecta la pastilla piezoeléctrica a la estación de grabación. En la Figura 17, se indica el montaje y conexión con los equipos para ensayo.

Figura 17. Montaje base granular para ensayo acústico



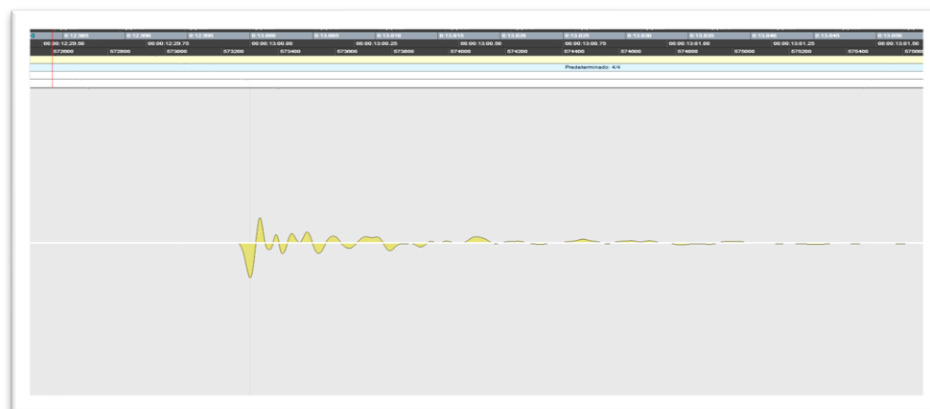
Fuente: Elaboración propia

El procedimiento siguiente, es golpear la muestra, con el fin de generar la señal acústica la cual se transmite a la estación de audio donde se codifica y almacena, para luego ser analizada.

Dentro de los ensayos realizados, se identificó, una onda sinusoidal, envuelta por una exponencial decreciente, sin embargo, no está bien definida, indicando que las partículas que la componen carecen de geometría homogénea. En la Figura 18 se observa el comportamiento de la señal.

La falta de uniformidad establece que el material es heterogéneo, ofreciendo poca información para el estudio acústico. No obstante, se analiza las condiciones de la envolvente, para determinación de algunos parámetros y variables.

Figura 18. Respuesta acústica base granular



Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4, se relaciona algunos parámetros observados en el ensayo realizado.

Tabla 4. Resultados ensayo acústico

DATOS ENSAYO		TENDENCIA		
Continuidad	Si	Ecuación 1	Y=11.673xe ^{-175.8x}	
Uniformidad	No	Ecuación 2		
Parámetro dB Max	16	Área 1	0.062	
Parámetro dB Min	-22	Área 2		
Frecuencia Hz	No definida	Punto inflexión (x,y)	0.00	0.015

Fuente: Elaboración propia

12.3. MEZCLA ASFÁLTICA

Descripción. El material utilizado para el ensayo fue mezcla asfáltica en frío la cual permite facilidad en manipulación sin perder las propiedades características de los asfaltos. En la Figura 19, se indica el material utilizado.

Figura 19. Mezcla asfáltica en frío



Fuente: Elaboración propia

La mezcla está compuesta por material granular 3/8", arena de trituración, asfalto líquido 60-70 y aditivos propios de la marca. En la Tabla 5, se observa algunas propiedades.

Tabla 5. Propiedades mezcla asfáltica

Test	Método	Especificación
Extracción	ASTM D 2172	0.50%
Gradación	AASHTO T-30	Tolerancia con EZ STREET
Resistencia al Agua	AASHTO T-182 Modificado	95%
Afuera o Bodega	Visual	1 año

Fuente: EZ Street Asphalt, <https://www.asfaltoezstreet.com.co/productos/detalles/>

Compactación. Para el desarrollo del ensayo con material asfáltico, se consideró dos condiciones la primera compactar solo la probeta con asfalto y la segunda utilizar la capa asfáltica sobre base granular, con el fin de recrear una condición real en las estructuras de pavimento.

En el primer caso se compacta el asfalto hasta obtener una condición estable de la briqueta, Figura 20.

Figura 20. Muestra de asfalto compacto



Fuente: Elaboración propia

Ensayo acústico. Una vez compacta la mezcla asfáltica, se coloca la pastilla piezoeléctrica en la base del cilindro y se procede a impactar el material con una varilla metálica, grabando la señal en la consola de audio para luego ser procesada.

En el segundo caso se coloca la base granular compacta en la probeta y posteriormente una capa asfáltica, para luego analizarse acústicamente. En la Figura 21, se observa el montaje para ensayo de capa asfáltica más base granular.

Figura 21. Montaje de asfalto sobre base granular compacta

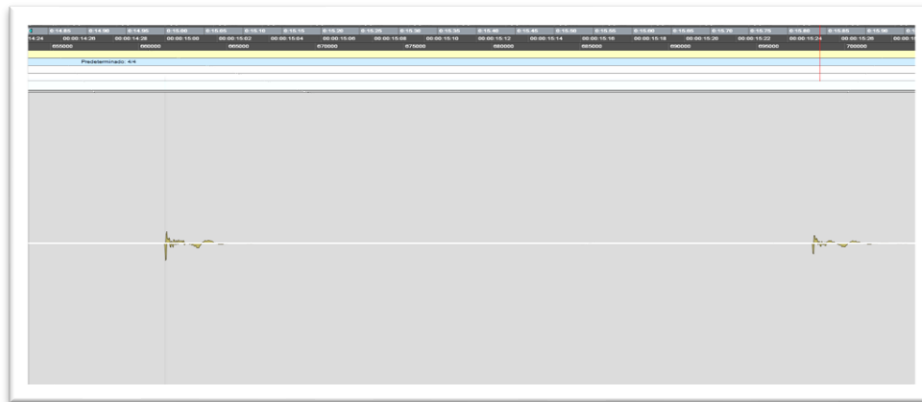


Fuente: Elaboración propia

Realizando el procedimiento descrito anteriormente, se ejecuta el ensayo acústico impactando la parte superior de la mezcla, se obtiene la respuesta del material y se analiza posteriormente.

Como resultado se obtiene una onda sinusoidal, la cual decrece exponencialmente como se observa en la Figura 22.

Figura 22. Respuesta acústica de mezcla asfáltica



Fuente: Elaboración propia

La Tabla 6 indica los resultados del análisis del ensayo a la mezcla asfáltica.

Tabla 6. Resultados ensayo acústico mezcla asfáltica

DATOS ENSAYO		TENDENCIA		
Continuidad	Si	Ecuación 1	$Y=3.9458xe^{-69.69x}$	
Uniformidad	No	Ecuación 2		
Parámetro dB Max	8	Área 1	0.044	
Parámetro dB Min	-6	Área 2		
Frecuencia Hz	No definida	Punto inflexión (x,y)	0.00	0.022

Fuente: Elaboración propia

La mezcla asfáltica ofrece condiciones acústicas moderadamente buenas debido a su flexibilidad, consiguiendo que los impactos generados en la rasante parte se transforman en energía sonora y parte en energía cinética.

Como se observa en la gráfica los valores iniciales de amplitud son bajos, por lo general están en un rango entre -15 a +15 dB para mezcla asfáltica, y entre -20 a +20 dB en mezcla asfáltica con base granular.

Por lo anterior, los niveles de ruido en asfaltos son menores en comparación con pavimentos rígidos, sin embargo, las condiciones de envejecimiento de los asfaltos llevan a que estas condiciones vayan cambiando con el tiempo. Mientras las mezclas asfálticas recién instaladas favorecen las condiciones acústicas, las mezclas envejecidas o rígidas aumentan los niveles de ruido.

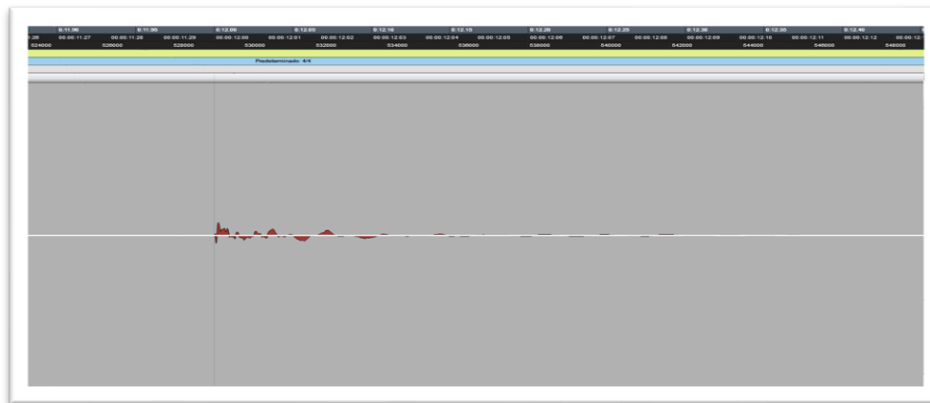
En cuanto a la muestra compuesta por capa asfáltica y base granular, la señal obtenida en respuesta al impacto representa una sinusoidal no definida la cual decrece con tendencia moderadamente exponencial.

Cuando la mezcla asfáltica, se soporta en materiales granulares como bases y subbases los niveles de ruido, se reducen o se “apagan” en el paso de la señal por la estructura de pavimento, sin embargo, como se observa en los diferentes materiales analizados, la

reducción de niveles de ruido implica variar las propiedades de resistencia de las mezclas, a fin de generar estructuras menos rígidas y más flexibles, favoreciendo las propiedades acústicas.

Tal como se observa en la Figura 23, la señal de respuesta acústica obtenida decrece con el tiempo de una forma mucho más rápida.

Figura 23. Respuesta acústica mezcla asfáltica con base granular



Fuente: Elaboración propia

La Tabla 7 indica los resultados del análisis del ensayo a la mezcla asfáltica.

Tabla 7. Resultados del ensayo acústico mezcla asfáltica con base granular

DATOS ENSAYO		TENDENCIA	
Continuidad	Si	Ecuación 1	$Y=4.0637xe^{-13.44x}$
Uniformidad	No	Ecuación 2	
Parámetro dB Max	8	Área 1	0.233
Parámetro dB Min	-6	Área 2	
Frecuencia Hz	No definida	Punto inflexión (x,y)	0.00 0.11

Fuente: Elaboración propia

12.4. CONCRETO HIDRÁULICO

El concreto hidráulico, hoy en día es uno de los materiales de mayor uso en pavimentos el cual tiene como características principales su alta resistencia a esfuerzos, sin embargo, su alta rigidez y densidad, genera una respuesta acústica en la interacción neumático-pavimento altamente reflectiva.

A fin de identificar las propiedades que causan ruido en los pavimentos, se realiza ensayos acústicos, determinando frecuencias, periodos, intensidad sonora y ondas de respuesta del concreto, en cilindros de diferente altura, en este caso 12, 5, 4, 3, 2, 1 pulgadas.

Descripción. Para el ensayo, se fabricaron probetas de concreto de diferentes espesores a fin de determinar la relación entre frecuencia en razón a la altura. Con una mezcla previamente dosificada, se tomó los componentes necesarios en la fabricación de concreto como son, cemento portland, arena, triturado y agua. En la Figura 24, se indica los materiales utilizados.

La mezcla con relación 1:2:2, fue vaciada en moldes o camisas de acero entre 1 y 12 pulgadas.

Figura 24. Materiales para mezcla de concreto



Fuente: Elaboración propia

Una vez mezclados, se vierte en la camisa metálica, para cada altura. Los cilindros de concreto se realizaron según lo descrito en la norma INVIAS, INV-E-402.

En la Figura 25, se observa el concreto en las diferentes camisas o cilindros metálicos.

Figura 25. Concreto vaciado en camisas cilíndricas



Fuente: Elaboración propia

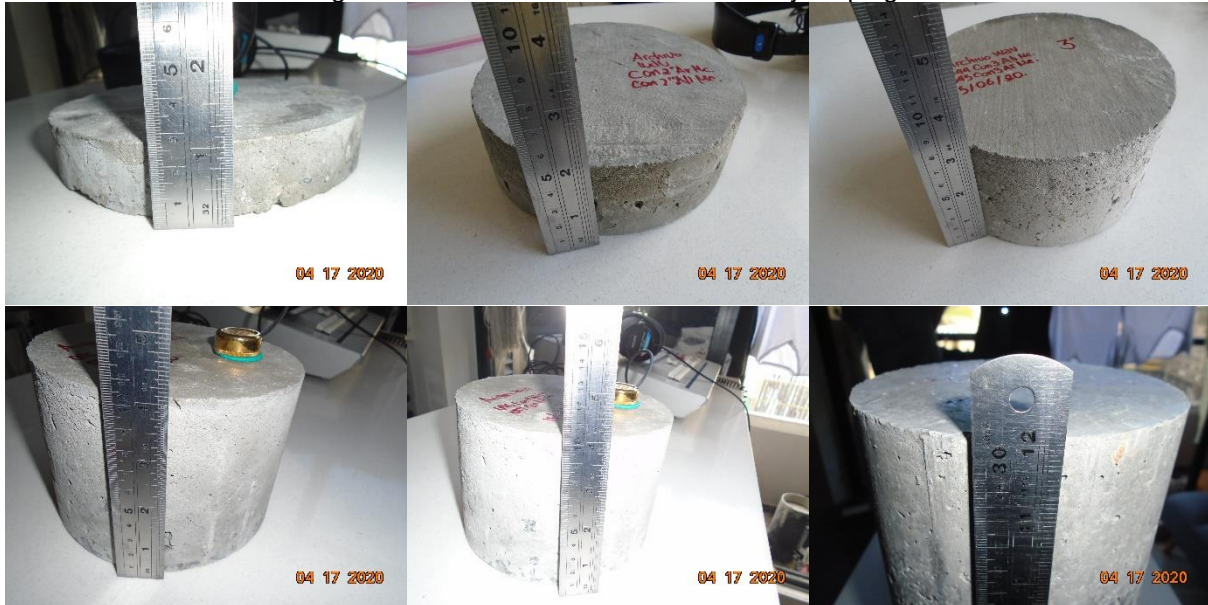
Muestreo. El procedimiento se realizó para varias condiciones de muestra como son:

- Concreto hidráulico simple H=12 pulgadas
- Concreto hidráulico simple H=5 pulgadas
- Concreto hidráulico simple H=4 pulgadas
- Concreto hidráulico simple H=3 pulgadas
- Concreto hidráulico simple H=2 pulgadas
- Concreto hidráulico simple H=1 pulgada

Estas probetas fueron fabricadas para comparar propiedades acusticas teniendo en cuenta la variable altura. Las muestras fueron curadas en agua, con tiempo mayor a 56 días garantizando que la resistencia del concreto sea óptima.

Despues de desencofrar las muestras, se procedio a revisar y medir sus condiciones fisicas y geometricas, caracterizandolas por tamaño. El la Figura 26, se observa las muestras entre 1 y 12 pulgadas, previo al desarrollo del ensayo acústico.

Figura 26. Muestras de concreto entre 1 y 12 pulgadas

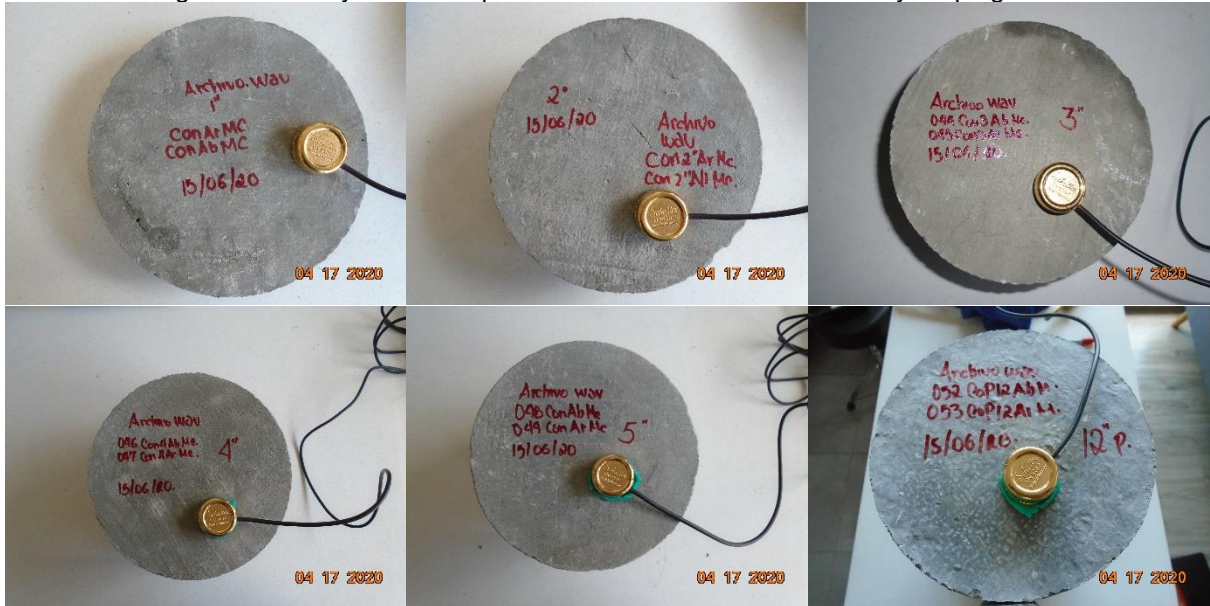


Fuente: Elaboración propia

Ensayo acústico. Luego de identificar y caracterizar las muestras se desarrolla el ensayo acústico, el cual consistió en colocar el sensor de sonido a cada cilindro de concreto en la parte inferior, para luego impactar en su cara posterior, la señal obtenida se guarda y posteriormente se analiza.

En la Figura 27, se observa las diferentes muestras con el sensor de sonido adaptado a una de sus caras.

Figura 27. Ensayo acústico para muestras de concreto entre 1 y 12 pulgadas



Fuente: Elaboración propia

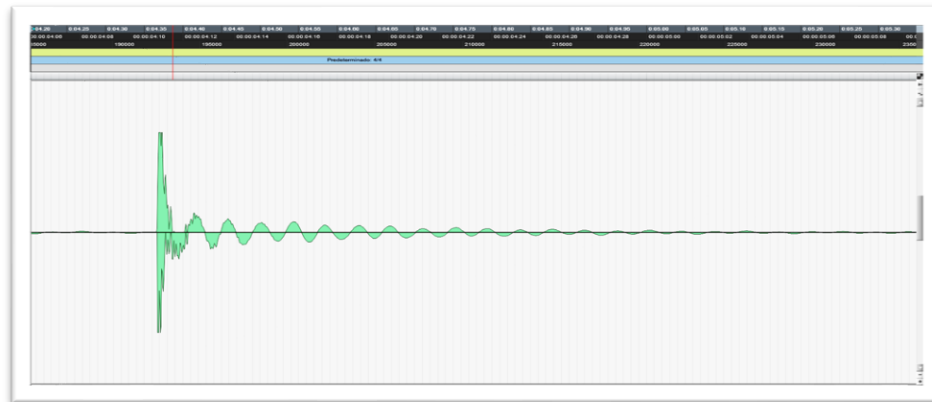
Después de obtener la información desde la consola de sonido, se analiza en software de audio. La modelación se realiza a los 6 cilindros de concreto para luego identificar gráficamente sus características.

Concluido el ensayo, se lleva los cilindros a laboratorio de materiales, con el fin de obtener información como densidad, resistencia, masa y correlacionar con los datos acústicos obtenidos.

A continuación, se describe el desarrollo del ensayo para cada muestra.

Muestra H:12 pulgadas. La respuesta acústica del cilindro se ve en la Figura 28. Como análisis principal, se observa en respuesta al impacto, una función sinusoidal bien definida la cual decrece exponencialmente, conservando las características de una onda amortiguada. Al inicio con mayor amplitud, indicando el alto impacto generado en el ensayo, seguido de la transmisión de la señal en el cilindro, la cual se disipa hasta después de 0.77 s.

Figura 28. Respuesta acústica concreto hidráulico 12 pulgadas



Fuente: Elaboración propia

Por medio de esta gráfica se determinan variables y parámetros necesarios para la interpretación de resultados.

En la Tabla 8, se relacionan las características acústicas luego del análisis gráfico. Dentro del analizado se especifica, continuidad y uniformidad de la señal, tendencia, amplitud máximo y mínimo, frecuencia, área bajo la curva y los puntos de corte con el eje x.

Tabla 8. Datos de ensayo acústico

DATOS ENSAYO		TENDENCIA	
Continuidad	Si	Ecuación 1	$y=14.647e^{-4.27x}$
Uniformidad	Si	Ecuación 2	$y=-11.54\ln(x)-8.2568$
Parámetro dB Max	66	Área 1	3.302
Parámetro dB Min	-67	Área 2	5.638
Frecuencia Hz	24	Punto inflexión (x,y)	0.77 0.47

Fuente: Elaboración propia

Se identifican dos funciones derivadas de dos condiciones, la primera, exponencial producto de la tendencia conservando la respuesta interna, y la segunda, logarítmica teniendo en cuenta el impacto inicial.

Las características físicas del cilindro se determinaron mediante laboratorio obteniendo los resultados indicados en la Tabla 9.

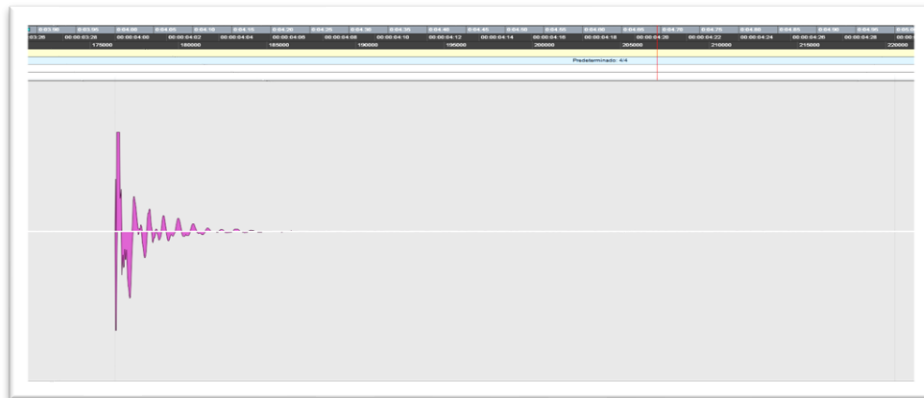
Tabla 9. Datos de laboratorio

DATOS DE LABORATORIO	
Longitud cm	30.37
Área cm ²	183.9
Diámetro cm ²	15.3
Masa g	12792
Densidad g/cm ³	2.291
Carga Máxima kgf	87086
Resistencia a la compresión kg/cm ²	474
Tipo Falla	1A

Fuente: Elaboración propia

Muestra H:5 pulgadas. La respuesta acústica del cilindro se observa en la Figura 29. Como respuesta al impacto se conserva la función sinusoidal, sin embargo, su uniformidad no está bien definida, siendo esta, una característica de la generación de ruido, como se observó en materiales granulares sueltos. La envolvente de la señal es de tendencia exponencial decreciente. Es de notar que la duración en tiempo del evento es de 0.20 s.

Figura 29. Respuesta acústica concreto hidráulico 5 pulgadas



Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 10, se relacionan las características acústicas, donde se identifica, continuidad y uniformidad de la señal, tendencia, los límites máximo y mínimo de amplitud, frecuencia, área bajo la curva y los puntos de corte con el eje x.

Tabla 10. Datos de ensayo acústico

DATOS ENSAYO		TENDENCIA	
Continuidad	Si	Ecuación 1	$y=26.739e^{-19.75x}$
Uniformidad	Si	Ecuación 2	$y=-16.23\ln(x)-32.698$
Parámetro dB Max	66	Área 1	1.328
Parámetro dB Min	-67	Área 2	2.164
Frecuencia Hz	56	Punto inflexión (x,y)	0.20 0.13

Fuente: Elaboración propia

Las características físicas del cilindro se determinaron mediante laboratorio en el cual se obtuvo los resultados mostrados en la Tabla 11.

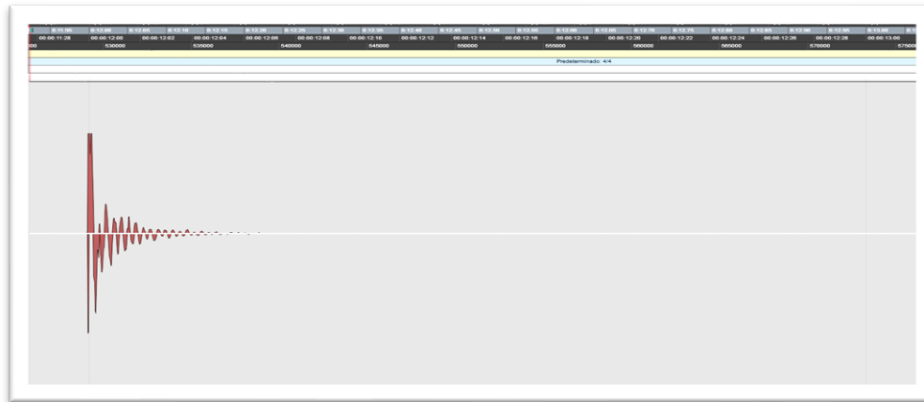
Tabla 11. Datos de laboratorio

DATOS DE LABORATORIO	
Longitud cm	13.00
Área cm ²	178.70
Diámetro cm	15.00
Masa g	5122.00
Densidad g/cm ³	2.23
Carga Máxima kgf	60950.00
Resistencia a la compresión kg/cm ²	345.00
Tipo Falla	3

Fuente: Elaboración propia

Muestra H:4 pulgadas. La respuesta acústica del cilindro se observa en la Figura 30. Con frecuencia alta, tendencia sinusoidal, y duración de 0.18 s.

Figura 30. Respuesta acústica concreto hidráulico 4 pulgadas



Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 12, se relacionan las características acústicas del cilindro de 4 pulgadas. Dentro del análisis se identifica, continuidad y uniformidad de la señal, amplitud máxima y mínima, frecuencia, área bajo la curva y los puntos de corte con el eje x.

Tabla 12. Datos del ensayo acústico

DATOS ENSAYO		TENDENCIA	
Continuidad	Si	Ecuación 1	$y=25.985e^{-22.49x}$
Uniformidad	Si	Ecuación 2	$y=-13.91\ln(x)-29.446$
Parámetro dB Max	66	Área 1	1.135
Parámetro dB Min	-53	Área 2	1.670
Frecuencia Hz	98	Punto inflexión (x,y)	0.18 0.13

Fuente: Elaboración propia

Las características físicas del cilindro se determinaron mediante laboratorio en el cual se obtuvo los resultados mostrados en la Tabla 13.

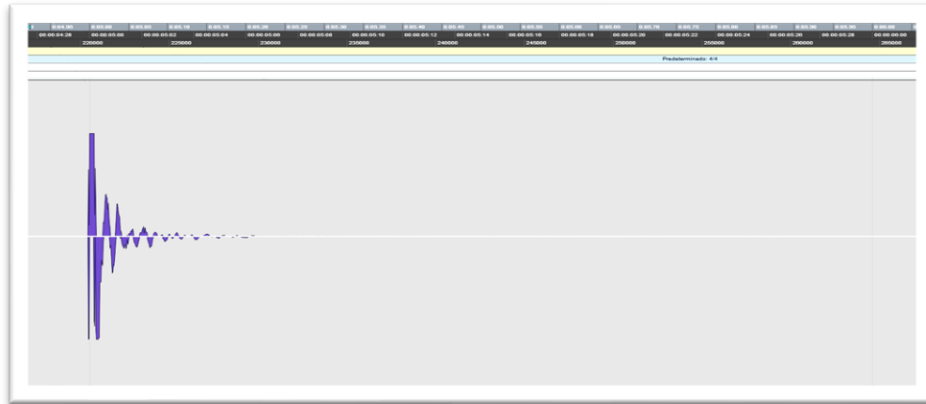
Tabla 13. Datos de laboratorio

DATOS DE LABORATORIO	
Longitud cm	10.10
Área cm ²	179.10
Diámetro cm	15.10
Masa g	4178.00
Densidad g/cm ³	2.31
Carga Máxima kgf	47260.00
Resistencia a la compresión kg/cm ²	264.00
Tipo Falla	3

Fuente: Elaboración propia

Muestra H:3 pulgadas. La respuesta acústica del cilindro se observa en la Figura 31; la señal aún continúa indicando aspectos sinusoidales, pero existe una variación importante en la amplitud del inicio del evento. Es de notar que la duración es de 0.22 s.

Figura 31. Respuesta acústica concreto hidráulico 3 pulgadas



Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 14, se relacionan las características acústicas, luego del análisis. Dentro de él se define continuidad y uniformidad, tendencia, amplitud máximo y mínimo, frecuencia, área bajo la curva y los puntos de corte con el eje x.

Tabla 14. Datos del ensayo acústico

DATOS ENSAYO		TENDENCIA	
Continuidad	Si	Ecuación 1	$y=22.003e^{-20x}$
Uniformidad	Si	Ecuación 2	$y=-14.58\ln(x)-29.19$
Parámetro dB Max	66	Área 1	1.080
Parámetro dB Min	-67	Área 2	1.956
Frecuencia Hz	63	Punto inflexión (x,y)	0.20 0.12

Fuente: Elaboración propia

Las características físicas se obtuvieron mediante laboratorio, los cuales se indican en la Tabla 15.

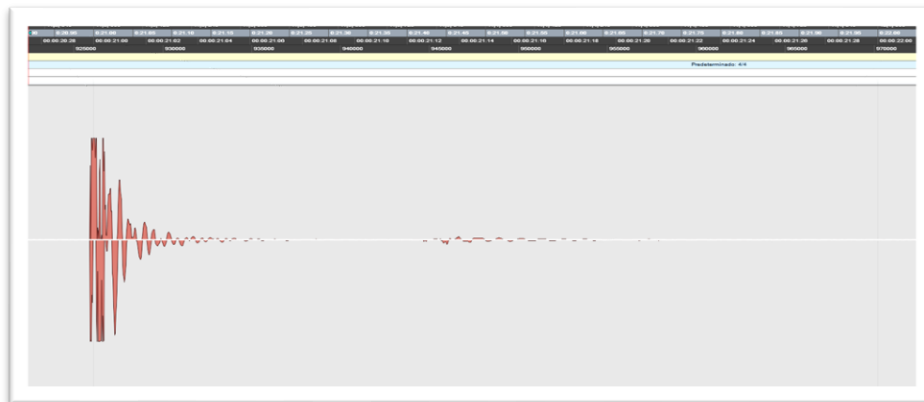
Tabla 15. Datos de laboratorio

DATOS DE LABORATORIO	
Longitud cm	7.80
Área cm ²	17910
Diámetro cm	15.10
Masa g	3142.00
Densidad g/cm ³	2.31
Carga Máxima kgf	86386
Resistencia a la compresión kg/cm ²	482.00
Tipo Falla	3

Fuente: Elaboración propia

Muestra H:2 pulgadas. La respuesta acústica se ve reflejada en la Figura 32, gráficamente se observa oscilaciones no métricas, sin uniformidad sinusoidal, existe variación en la amplitud inicial y corta duración del evento, 0.20 s. Para su análisis de envolvente se mantienen las condiciones de tendencia exponencial decreciente.

Figura 32. Respuesta acústica concreto hidráulico 2 pulgadas



Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 16, se relacionan las características acústicas, como son continuidad y uniformidad de la señal, tendencia, amplitud máxima y mínima, frecuencia, área bajo la curva, y los puntos de corte con el eje x.

Tabla 16. Datos de ensayo acústico

DATOS ENSAYO		TENDENCIA		
Continuidad	Si	Ecuación 1	$y=43.962e^{-24.51x}$	
Uniformidad	No	Ecuación 2	$y=-15.61\ln(x)-28.734$	
Parámetro dB Max	66	Área 1	1.780	
Parámetro dB Min	-67	Área 2	2.474	
Frecuencia Hz	NA	Punto inflexión (x,y)	0.20	0.15

Fuente: Elaboración propia

Las características físicas del cilindro se determinaron mediante laboratorio en el cual se obtuvo los resultados mostrados en la Tabla 17.

Tabla 17. Datos de laboratorio

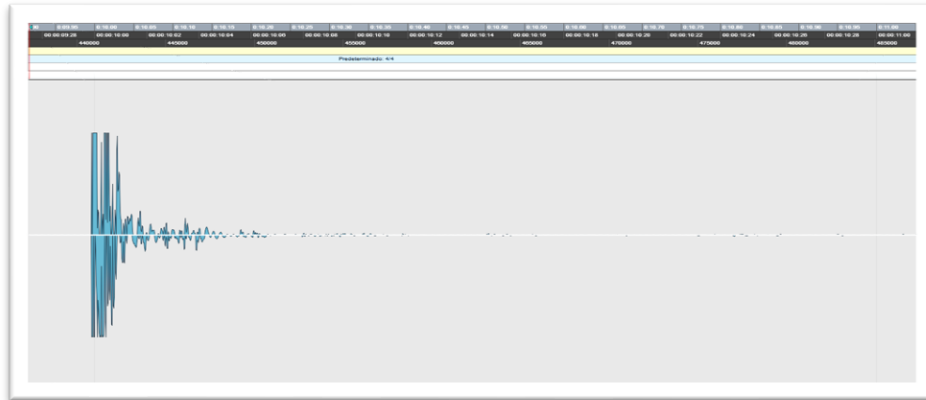
DATOS DE LABORATORIO	
Longitud cm	5.07
Área cm ²	176.70
Diámetro cm	15.00
Masa g	1982.00
Densidad g/cm ³	2.21
Carga Máxima kgf	74360
Resistencia a la compresión kg/cm ²	421.00
Tipo Falla	3

Fuente: Elaboración propia

Su primer nodo después del impacto es 66 dB, es posible que el incremento de la amplitud de onda obedezca a vibraciones de reacción en la muestra por su bajo espesor.

Muestra H:1 pulgada. La respuesta acústica se observa en la Figura 33, la señal se caracteriza por oscilaciones no métricas y no uniformes, variación de la amplitud y corta duración del evento, 0.25 s. Para su análisis de envolvente se mantienen las condiciones de tendencia exponencial decreciente.

Figura 33. Respuesta acústica concreto hidráulico 1 pulgada



Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 18, se relacionan las características acústicas, como son, continuidad, uniformidad, amplitud, frecuencia, duración, área bajo la curva, y los puntos de corte con el eje x.

Tabla 18. Datos de ensayo acústico

DATOS ENSAYO		TENDENCIA	
Continuidad	Si	Ecuación 1	$y=34.074e^{-17.56x}$
Uniformidad	No	Ecuación 2	$y=-15.22\ln(x)-26.581$
Parámetro dB Max	66	Área 1	1.916
Parámetro dB Min	-66	Área 2	2.653
Frecuencia Hz	NA	Punto inflexión (x,y)	0.25 0.18

Fuente: Elaboración propia

Las características físicas del cilindro se determinaron mediante laboratorio, con los resultados mostrados en la Tabla 19.

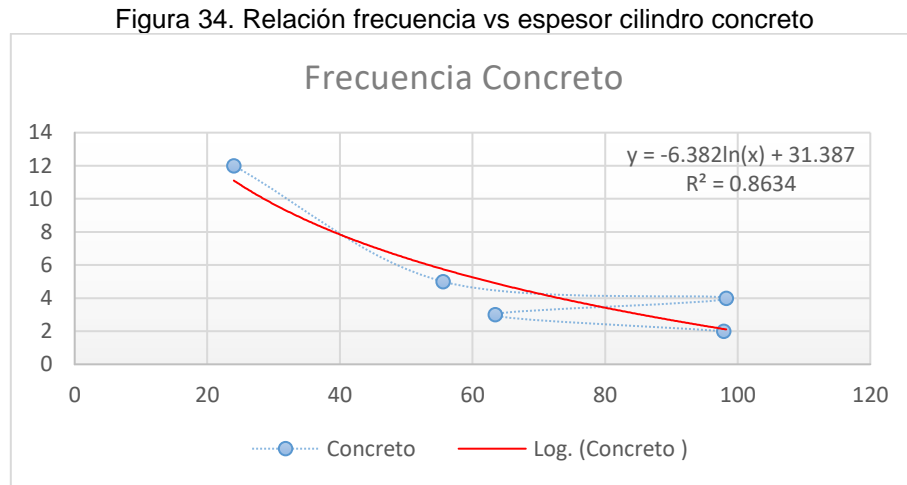
Tabla 19. Datos de laboratorio

DATOS DE LABORATORIO	
Longitud cm	2.53
Área cm ²	178.30
Diámetro cm	15.07
Masa g	1035.00
Densidad g/cm ³	2.292
Carga Máxima kgf	104160.00
Resistencia a la compresión kg/cm ²	584.00
Tipo Falla	3

Fuente: Elaboración propia

Uno de los comparativos de los ensayos fue, la relación entre frecuencia y altura del cilindro, observando que existe una relación de proporcionalidad inversa entre ellas.

A mayor altura o espesor del cilindro disminuye la frecuencia en la señal, como se indica en la Figura 34.



Fuente: Elaboración propia

Para este análisis se identificó la frecuencia por cada señal. No se tuvo en cuenta la señal registrada para 1 pulgada debido a su irregularidad.

12.5. PIEDRA PÓMEZ

Descripción. Una de las variables consideradas en la disminución de ruido en materiales, es la porosidad de los agregados, por esta razón se utiliza un material altamente poroso, que reduce los niveles de ruido en la interacción Neumático – pavimento. La piedra pómez o pumita, se caracteriza por su baja densidad y alta porosidad, sin embargo, como agregado que aporte resistencia, no satisface los requerimientos estructurales en pavimentos.

Para este caso se tomó piedra pómez como agregado grueso en la mezcla de concreto, consiguiendo una mezcla muy manejable y de bajo peso.

En la Figura 35, se observa el montaje previo al ensayo acústico de la mezcla.

Figura 35. Ensayo acústico mezcla con piedra pómez



Fuente: Elaboración propia

El principal concepto a identificar en el ensayo con piedra pómez, fue el aporte de los materiales porosos en la señal acústica. En la Figura 36, se observa el cilindro con mezcla de concreto a base de piedra pómez, el cual después de pasar por el tiempo de curado se ensayó acústicamente.

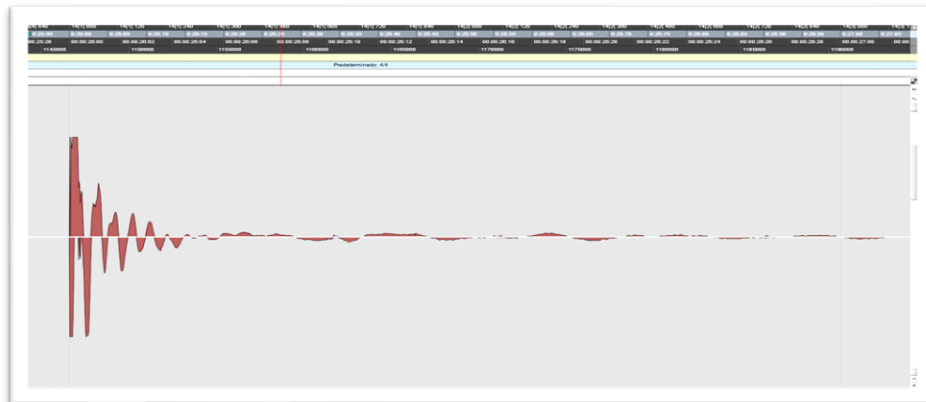
Figura 36. Mezcla de concreto a base de piedra pómez



Fuente: Elaboración propia

Una vez realizado el ensayo y procesada la información, se analiza la respuesta obtenida. En la Figura 37, se observa como el nivel de ruido es reducido. Sin embargo, la resistencia a compresión del material es muy baja.

Figura 37. Respuesta acústica concreto con piedra pómez 12 pulgadas



Fuente: Elaboración propia

La señal muestra como la amplitud se reduce rápidamente, interpretando absorción acústica. Se observa que la señal tiene por duración un corto periodo en comparación con cilindros de concreto hidráulico convencional

En la Tabla 20, se relaciona las características acústicas del cilindro de concreto con piedra pómez. Dentro del análisis, se determina la continuidad y uniformidad de la señal, tendencia, amplitud, frecuencia, área bajo la curva y puntos de corte con el eje x.

Tabla 20. Datos de ensayo acústico

DATOS ENSAYO		TENDENCIA	
Continuidad	Si	Ecuación 1	$y=35.786*e^{-14.83x}$
Uniformidad	Si	Ecuación 2	$y=-19.24\ln(x)-31.336$
Parámetro dB Max	66	Área 1	2.369
Parámetro dB Min	-67	Área 2	3.774
Frecuencia Hz	25	Punto inflexión (x,y)	0.27 0.20

Fuente: Elaboración propia

El registro del primer nodo después del impacto es 35 dB, seguido de 16 dB, identificando la caída continua del nivel sonoro. En la Tabla 21 se observa los resultados obtenidos en laboratorio.

Tabla 21. Datos de ensayo

DATOS DE LABORATORIO	
Longitud cm	30.50
Área cm ²	183.10
Diámetro cm	15.27
Masa g	9125.00
Densidad g/cm ³	1.63
Carga Máxima kgf	11261.00
Resistencia a la compresión kg/cm ²	62.00
Tipo Falla	2A

Fuente: Elaboración propia

Acústicamente se observa una señal de baja intensidad, tiempo 0.27 s, indicando reducción de nivel de ruido, sin embargo, la resistencia a la compresión es muy baja llegando tan solo a 62 kg/cm² (882 psi)

12.6. CONCRETO ELÁSTICO

Descripción. Uno de los materiales que tiene alta capacidad de absorber ruido es el caucho y sus derivados, físicamente el material transforma la energía sonora en energía cinética, convirtiendo las señales acústicas en movimiento. Existe diversidad de materiales que logra este efecto, sin embargo, la mezcla de materiales especialmente con cemento, que proviene de un proceso exotérmico donde interviene químicamente la reacción entre los componentes de la piedra caliza y el agua, originan un material con grandes capacidades de resistencia como es el concreto hidráulico.

Como se observa en el contenido de este trabajo investigativo, el concreto hidráulico aporta alta resistencia estructural, sin embargo, en tema de disipación de energía acústica no es el mejor. Por ello para realizar el presente ensayo, se cambió el agua quien es el agente necesario para la formación de concreto, por otro líquido con la propiedad de reaccionar con el cemento, se trata de látex natural el cual contiene en su fórmula

química el agua. Así, la composición de esta muestra está dada por cemento, agregado grueso, agregado fino y como vehículo acuoso, látex a base de agua.

La preparación del material se realiza sobre la camisa metálica utilizada en los anteriores ensayos, se realiza por capas ya que la reacción del látex con el cemento es inmediata, generando un aglomerante que envuelve las partículas de los agregados formando una malla de textura elástica.

Por capas se colocó los agregados mezclados con cemento, a los cuales se adiciona látex, se repite varias veces el procedimiento hasta llenar el molde. En la Figura 38 se observa la camisa metálica cubierta de plástico aislante y la colocación de materiales pétreos, arena y látex.

Figura 38. Mezcla de látex con cemento y agregados



Fuente: Elaboración propia

Una vez curado el cilindro en agua, se realiza el ensayo acústico y se envía la muestra a laboratorio para determinar propiedades físicas y mecánicas como densidad, resistencia a la compresión, masa.

Ensayo acústico. Dentro del análisis acústico la respuesta del material describe un comportamiento de movimiento y alta vibración interpretando como transformación de la energía acústica en energía cinética.

El ensayo se realizó para cilindros de 3 y 12 pulgadas, en general la respuesta del material es similar.

Muestra H:3 pulgadas. En la Figura 39, se observa una señal sinusoidal bien definida la cual decrece exponencialmente en un intervalo de tiempo de 2 segundos, superior a la duración en el resto de los materiales ensayados.

Figura 39. Respuesta acústica concreto con látex natural



Fuente: Elaboración propia

La primera parte de la señal, hasta 0.5 segundos, los valores de la amplitud, superan el rango presentado por el software. Por ello es factible que la señal mantenga el comportamiento de una función exponencial decreciente.

El objetivo de la prueba es observar el comportamiento acústico del material, con un producto con altas características elásticas, dando origen a materiales compuestos, con nuevas opciones constructivas.

En la Tabla 22, se observa los resultados obtenidos al ensayo acústico.

Tabla 22. Datos de ensayo acústico

DATOS ENSAYO		TENDENCIA	
Continuidad	Si	Ecuación 1	$y=80.347e^{-1.51x}$
Uniformidad	Si	Ecuación 2	
Parámetro dB Max	66	Área 1	28.201
Parámetro dB Min	-67	Área 2	
Frecuencia Hz	34	Punto inflexión (x,y)	0 0.5

Fuente: Elaboración propia

Como características de la mezcla, se observó que su alta elasticidad no permitió falla del cilindro, el tornillo de la prensa llegó a su tope aplastando la muestra sin producir fractura. Esta consideración se obtuvo de los resultados emitidos por el laboratorio de materiales.

El comportamiento acústico del cilindro es bueno, ya que, debido a su baja rigidez, transforma el impacto sonoro (energía acústica) en movimiento (energía cinética), sin embargo, el alto movimiento, baja rigidez y alto desgaste no favorece en la construcción de pavimentos.

En la Tabla 23, se observa el resumen de los datos obtenidos.

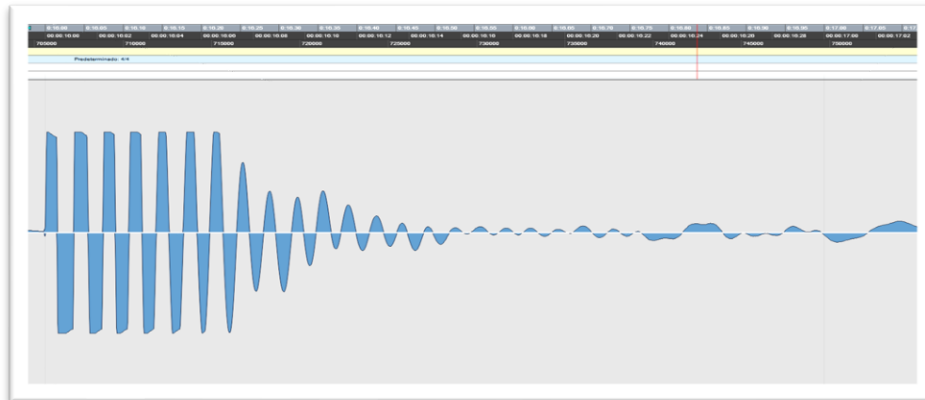
Tabla 23. Datos de ensayo

DATOS DE LABORATORIO	
Longitud cm	30.37
Área cm ²	183.9
Diámetro cm	15.3
Masa g	12792
Densidad g/cm ³	2.291
Carga Máxima kgf	87086
Resistencia a la compresión kg/cm ²	474
Tipo Falla	

Fuente: Elaboración propia

Muestra H:12 pulgadas. La Figura 40, muestra la respuesta acústica de cilindro. En ella se observa, como el comportamiento sinusoidal de la onda representa el movimiento vibratorio del elemento. Se puede ver una frecuencia definida de 28 hz, y amplitud decreciente con tendencia exponencial.

Figura 40. Respuesta acústica concreto con látex natural



Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 24, se observa los resultados del ensayo acústico, como parámetros DB Max y DB Min, se colocan valores no determinados debido a que no es factible dar un dato exacto.

Tabla 24. Datos de ensayo acústico

DATOS ENSAYO		TENDENCIA		
Continuidad	Si	Ecuación 1	$y=143.15e^{-6.424x}$	
Uniformidad	Si	Ecuación 2	$y=345.28e^{-8.27x}$	
Parámetro dB Max	Max	Área 1	21.982	
Parámetro dB Min	Min	Área 2	41.587	
Frecuencia Hz	28	Punto inflexión (x,y)	0.67	0.67

Fuente: Elaboración propia

En la gráfica se observa, que el comportamiento del material presenta características muy diferentes a los diversos materiales analizados, el tiempo del evento supera los dos segundos, manteniendo gran intensidad de vibración a lo largo del suceso.

Se observó, que, debido a su alta elasticidad, no es posible fracturar la muestra en el ensayo de compresión, el tornillo de la prensa llegó a su tope aplastando la muestra sin producir falla.

En la Tabla 25 se indican los valores de las diferentes propiedades.

Tabla 25. Datos de ensayo

DATOS DE LABORATORIO	
Longitud cm	29.43
Área cm ²	177.50
Diámetro cm	15.03
Masa g	7002.00
Densidad g/cm ³	1.34
Carga Máxima kgf	1681.60
Resistencia a la compresión kg/cm ²	9.00
Tipo Falla	

Fuente: Elaboración propia

12.7. CONCRETO + NEOPRENO

Descripción. Considerando los diversos materiales utilizados anteriormente, es necesario revisar la interacción entre concreto hidráulico y neopreno, actuando como una estructura compuesta.

El concreto hidráulico ofrece la resistencia necesaria en la construcción de pavimentos, mientras que los neoprenos, dependiendo de su dureza y espesor, aportan la disipación y absorción acústica necesaria en la disminución de niveles de ruido.

Al realizar ensayos utilizando el sonómetro digital referencia UNIT-135, se comprobó, que la disminución de ruido, en un impacto sonoro reduce entre 4 a 14 dB comparando concreto hidráulico y concreto hidráulico + membrana de neopreno.

En la Figura 41, se observa el montaje para toma de datos usando sonómetro digital.

Figura 41. Prueba con sonómetro, muestras con neopreno



Fuente: Elaboración propia

La prueba se realizó para todas las muestras de concreto de 1 hasta 12 pulgadas. En la Figura 42, se observa algunas mediciones verificando la diferencia en dB en el impacto realizado a concreto descubierto y concreto cubierto por neopreno.

Figura 42. Lectura obtenida en placa de 2 pulgadas con y sin neopreno



Fuente: Elaboración propia

Como resultado se obtuvo que la diferencia, está entre 4 y 14 dB. Mientras los valores reportados por impacto sonoro en concreto hidráulico sin neopreno oscilan entre 63 y 80 dB, cuando se coloca el neopreno, reduce el nivel de ruido en un rango entre 59 y 69 dB. En la Tabla 26 se indica el resumen de resultados obtenidos.

Tabla 26. Resumen de lecturas realizadas con sonómetro en cilindros de 1 a 12 pulgadas

ID	Muestra	Medición Decibeles con Sonómetro			
		Al Aire	Con Neopreno	Sin Neopreno	Diferencia
1	Concreto 1 pulgadas	38.00	61.10	75.00	13.90
2	Concreto 2 pulgadas	43.00	68.10	73.00	4.90
3	Concreto 3 pulgadas	47.00	67.30	79.10	11.80
4	Concreto 4 pulgadas	40.10	60.10	67.80	7.70
5	Concreto 5 pulgadas	38.70	64.20	68.20	4.00
12	Concreto 12 pulgadas	38.50	59.00	63.90	4.90

Fuente: Elaboración propia

Simultáneamente al realizar el ensayo con sonómetro, se hizo el ensayo acústico con sensor o pastilla piezoeléctrica.

Ensayo acústico. Usando neopreno de alta densidad, se realiza el ensayo acústico, primero una capa en la parte superior y luego dos capas, superior e inferior.

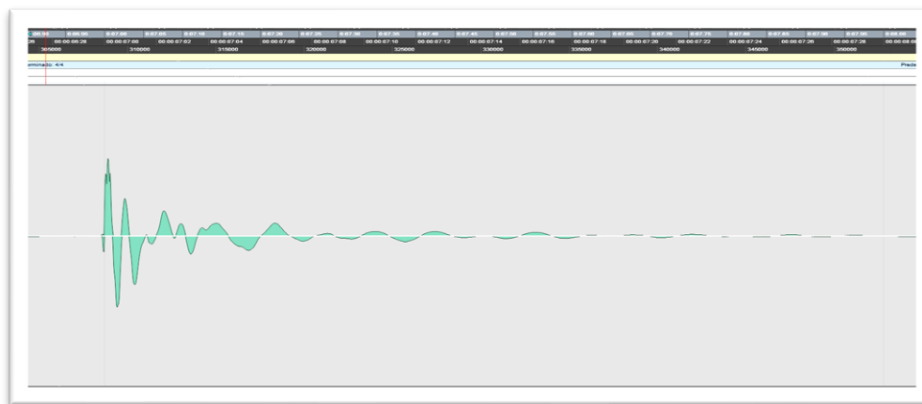
Se observa que el uso de neoprenos reduce efectivamente los niveles de ruido, recomendado en pavimentos de vías urbanas donde exista altas emisiones de ruido, como también en estructuras cerradas aplicándose como recubrimiento sobre el concreto, ya sea adherido o sobrepuesto con anclajes que permitan extraer fácilmente en caso de mantenimiento. En pavimentos y estructuras donde el contacto con móviles sea continuo, el uso de neoprenos conlleva a estudiar condiciones de desgaste, adherencia, dureza, también es esencial realizar programas de mantenimiento, remplazo del neopreno y regulación de velocidad operativa.

El uso de neoprenos abre una nueva posibilidad de estudio de materiales para reducción de ruido, como es prefabricados que se adhieren a la carpeta de pavimento, la cual ofrece mediante estructuras porosas o elastoméricas la disipación del impacto sonoro.

La combinación de neoprenos con estructuras rígidas, evaluadas desde el punto acústico, ofrece características apropiadas para disminución de niveles de ruido, realizando un “apagado” inicial o atenuación de la señal sonora en el momento del impacto. Como se observa en la Figura 43, usando la muestra de concreto de 12 pulgadas, el ruido representado por la señal ondulatoria es ampliamente reducido cuando se coloca una capa de neopreno y más aún cuando se coloca la segunda capa.

Concreto 12 pulgadas + neopreno. Gráficamente se observa, Figura 43, cómo la señal reduce la intensidad, la transmisión al pasar por el cilindro de 12 pulgadas es baja en comparación con el cilindro de concreto hidráulico convencional.

Figura 43. Respuesta acústica concreto 12 pulgadas con una capa de neopreno



Fuente: Elaboración propia

Con ayuda del modelo, se observa como la amplitud, se reduce en comparación con los modelos acústicos realizados a cilindros de concreto sin neoprenos.

Para el primer ensayo se utilizó una capa de neopreno en la parte superior del cilindro, como resultado se obtiene una onda, no uniforme y continua, con duración reducida. En la Tabla 27, se muestra los datos identificados de la señal.

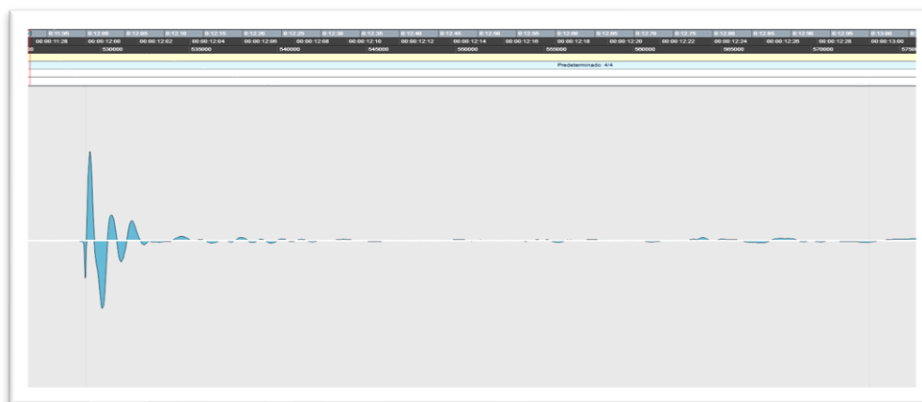
Tabla 27. Datos de ensayo acústico

DATOS ENSAYO		TENDENCIA	
Continuidad	Si	Ecuación 1	$y=-9.713\ln(x)-10.671$
Uniformidad	No	Ecuación 2	
Parámetro dB Max	51	Área 1	3.237
Parámetro dB Min	-48	Área 2	
Frecuencia Hz	18	Punto inflexión (x,y)	0.33

Fuente: Elaboración propia

Al realizar el ensayo, adicionando dos capas de neopreno, una en la parte superior y otra en la parte inferior, se identifica que la intensidad y la amplitud, continúan reduciendo, tal como se observa en la Figura 44.

Figura 44. Respuesta acústica concreto 12 pulgadas con dos capas de neopreno



Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 28, se observa los datos de la señal.

Tabla 28. Datos de ensayo acústico

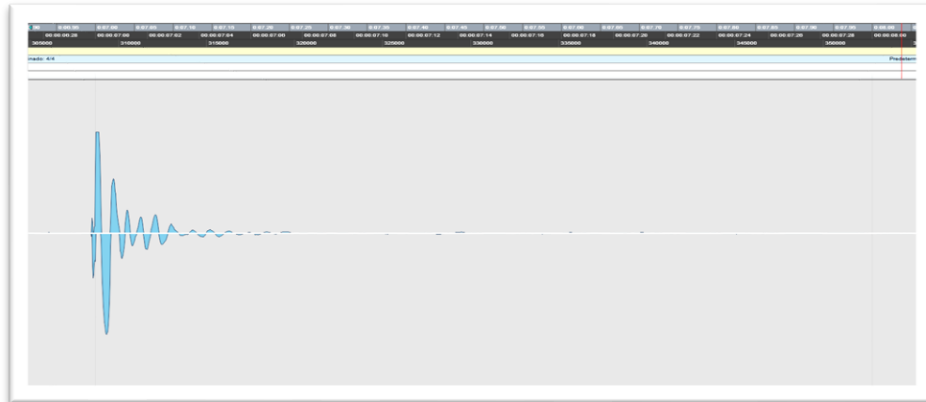
DATOS ENSAYO		TENDENCIA	
Continuidad	Si	Ecuación 1	$y=-17.94\ln(x)-38.709$
Uniformidad	No	Ecuación 2	
Parámetro dB Max	47	Área 1	2.063
Parámetro dB Min	-44	Área 2	
Frecuencia Hz	NA	Punto inflexión (x,y)	0.104

Fuente: Elaboración propia

Se observa que la amplitud va disminuyendo entre cada nodo desde 33 dB a 16 dB a 13 dB y luego a 0dB, en 0.1 s, representando reducción de niveles de ruido importantes.

Concreto 5 pulgadas + neopreno. El análisis gráfico indica, que el uso de neopreno reduce la intensidad y en la transmisión de la señal. En la Figura 45, se observa dicha disminución, en comparación con la muestra de concreto sin neopreno.

Figura 45. Respuesta acústica concreto 5 pulgadas más una capa de neopreno



Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 29, se observa los datos identificados de la señal.

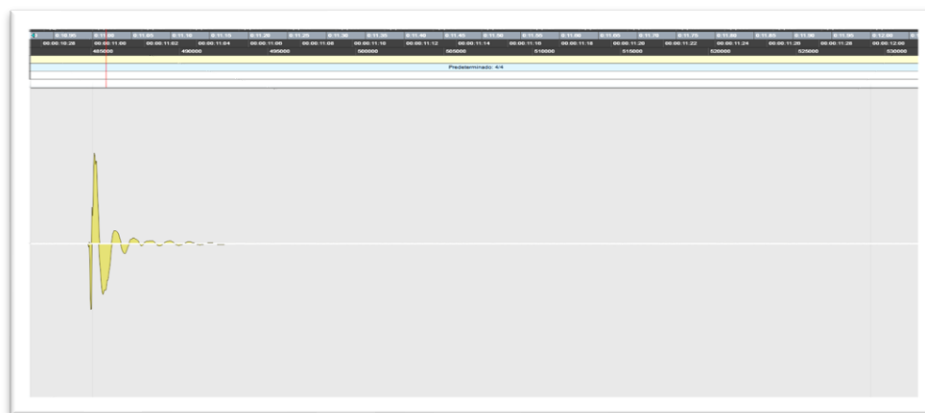
Tabla 29. Datos de ensayo acústico

DATOS ENSAYO		TENDENCIA	
Continuidad	Si	Ecuación 1	$y=-13.86\ln(x)-23.116$
Uniformidad	Si	Ecuación 2	
Parámetro dB Max	64	Área 1	2.612
Parámetro dB Min	-66	Área 2	
Frecuencia Hz	46	Punto inflexión (x,y)	0.18

Fuente: Elaboración propia

En el ensayo realizado a la muestra de 5 pulgadas con adición de dos capas de neopreno, la intensidad y la amplitud, continúan reduciendo, como se indica en la Figura 46.

Figura 46. Respuesta acústica concreto 5 pulgadas más dos capas de neopreno



Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 30, se observa los datos de la señal, para dos capas de neopreno.

Tabla 30. Datos de ensayo acústico

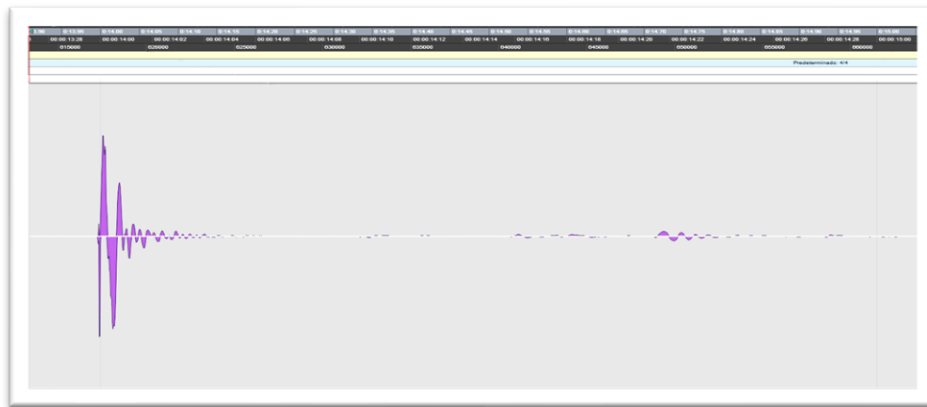
DATOS ENSAYO		TENDENCIA	
Continuidad	Si	Ecuación 1	$y=-13.02\ln(x)-28.85$
Uniformidad	Si	Ecuación 2	
Parámetro dB Max	58	Área 1	1.415
Parámetro dB Min	-33	Área 2	
Frecuencia Hz	41	Punto inflexión (x,y)	0.10

Fuente: Elaboración propia

La amplitud va disminuyendo entre cada nodo, desde 8 dB a 3 dB a 2 dB y luego a 1 dB, en 0.1 s.

Concreto 4 pulgadas + neopreno. Igualmente, a los anteriores ensayos, para la muestra de 4 pulgadas se utilizó el cilindro en concreto, con adición de una capa de neopreno. Se obtuvo una considerable reducción de intensidad sonora, como se verifica en la Figura 47.

Figura 47. Respuesta acústica concreto 4 pulgadas con una capa de neopreno



Fuente: Elaboración propia

Si bien el inicio de la señal está caracterizado por amplitudes de 66 dB, en los siguientes nodos el cambio es diferenciable, indicando que al inicio ocurre una alta absorción y/o transformación del impacto sonoro en movimiento del neopreno, para luego transmitir una señal baja.

En la Tabla 31, se observa los datos de la señal, para una capa de neopreno.

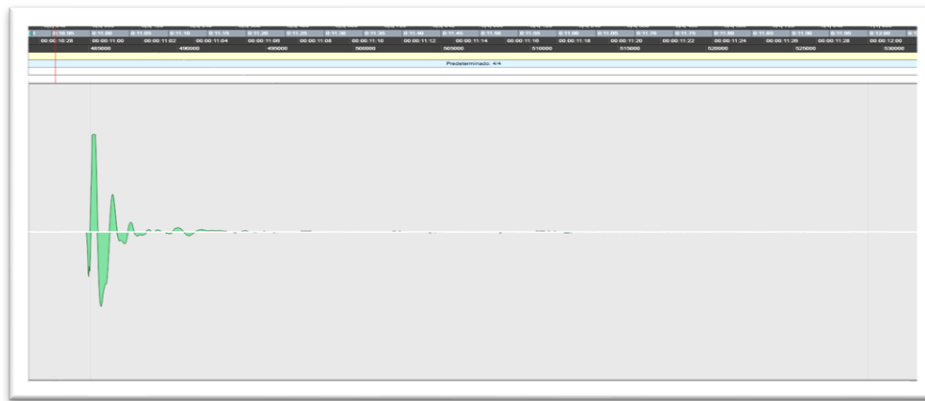
Tabla 31. Datos de ensayo acústico

DATOS ENSAYO		TENDENCIA	
Continuidad	Si	Ecuación 1	$y=-17.48\ln(x)-40.517$
Uniformidad	No	Ecuación 2	
Parámetro dB Max	63	Área 1	1.715
Parámetro dB Min	-61	Área 2	
Frecuencia Hz	NA	Punto inflexión (x,y)	0.09

Fuente: Elaboración propia

Igual ocurre cuando se coloca la segunda capa de neopreno (cara inferior), después del impacto la señal se reduce, como también el tiempo del evento, Figura 48.

Figura 48. Respuesta acústica concreto 4 pulgadas más dos capas de neopreno



Fuente: Elaboración propia

Cuando se adicionan dos capas de neopreno (cara superior y cara inferior). Se observa que la amplitud de la señal se reduce notablemente entre cada nodo desde 25 dB a 6 dB a 1 dB y luego a 1 dB, en 0.11 s, representando reducción de niveles de ruido importantes.

En la Tabla 32, se observa los datos de la señal, para dos capas de neopreno

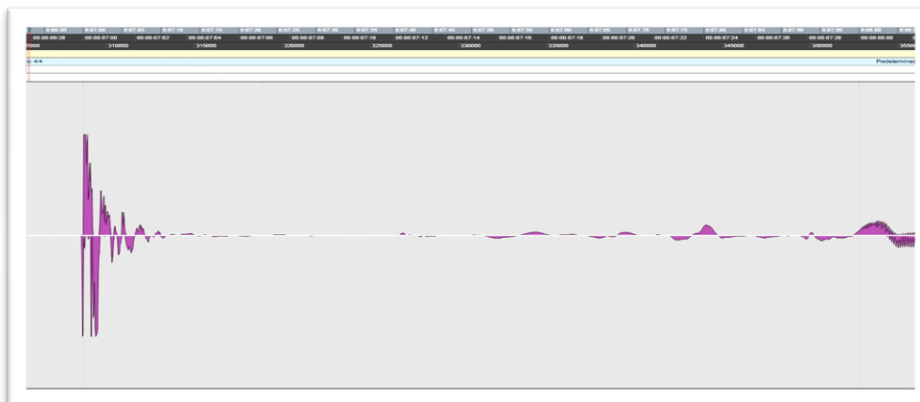
Tabla 32. Datos de ensayo acústico

DATOS ENSAYO		TENDENCIA	
Continuidad	Si	Ecuación 1	$y=-17.95\ln(x)-38.603$
Uniformidad	No	Ecuación 2	
Parámetro dB Max	63	Área 1	2.089
Parámetro dB Min	-51	Área 2	
Frecuencia Hz	NA	Punto inflexión (x,y)	0.113

Fuente: Elaboración propia

Concreto 3 pulgadas + neopreno. Para el cilindro de 3 pulgadas se continuó el mismo procedimiento del ensayo anterior, observando reducción del área de intensidad. En la Figura 49, se detalla dicha variación.

Figura 49. Respuesta acústica concreto 3 pulgadas más una capa de neopreno



Fuente: Elaboración propia

La señal presenta irregularidad, no es uniforme, con valores altos en amplitud al momento del impacto sobre la capa de neopreno, deduciendo absorción y conversión de la energía del impacto en movimiento de la membrana elástica, para luego pasar a la placa de 3 pulgadas de concreto, mostrando una señal distorsionada, de corta duración.

Aunque se observa una señal continua, y su envolvente de tendencia exponencial decreciente, no es definida la frecuencia. En la Tabla 33 se muestra los diferentes datos obtenidos.

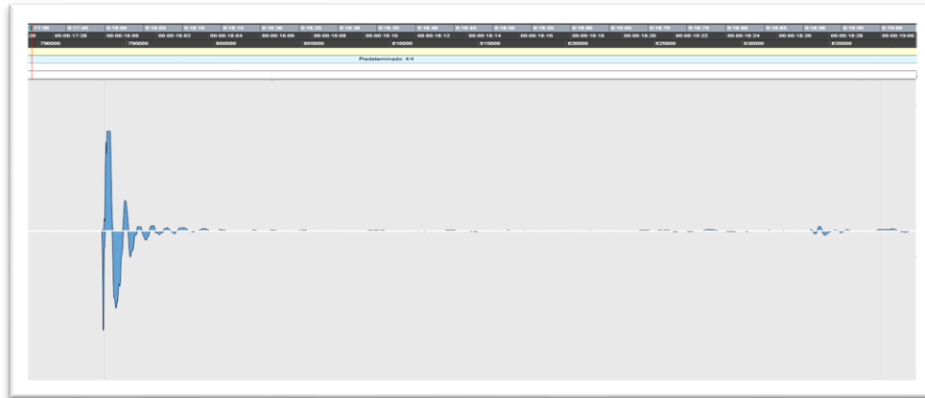
Tabla 33. Datos de ensayo acústico

DATOS ENSAYO		TENDENCIA	
Continuidad	Si	Ecuación 1	$y=-17.96\ln(x)-38.871$
Uniformidad	No	Ecuación 2	
Parámetro dB Max	66	Área 1	2.060
Parámetro dB Min	-66	Área 2	
Frecuencia Hz	NA	Punto inflexión (x,y)	0.11

Fuente: Elaboración propia

Para el cilindro de 3 pulgadas, el uso de dos capas de neopreno reduce aún más la intensidad sonora como se aprecia en la Figura 50.

Figura 50. Respuesta acústica concreto 3 pulgadas con dos capas de neopreno



Fuente: Elaboración propia

Se nota la reducción del área en comparación con la muestra con una capa de neopreno.

Gráficamente se observa, que la señal reduce completamente los niveles de ruido, la amplitud se disminuye notablemente entre cada nodo desde 20 dB a 3 dB a 3 dB y luego a 2 dB, en 0.11 s.

La Tabla 34, muestra los valores obtenidos del análisis gráfico.

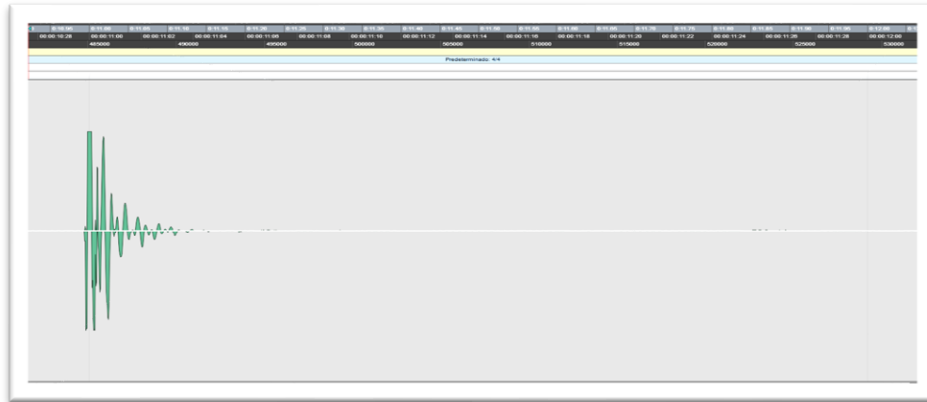
Tabla 34. Datos de ensayo acústico

DATOS ENSAYO		TENDENCIA	
Continuidad	Si	Ecuación 1	$y=-18.33\ln(x)-42.488$
Uniformidad	No	Ecuación 2	
Parámetro dB Max	66	Área 1	1.793
Parámetro dB Min	-52	Área 2	
Frecuencia Hz	NA	Punto inflexión (x,y)	0.11

Fuente: Elaboración propia

Concreto 2 pulgadas + neopreno. Claramente se observa en la Figura 51, como existen dos regiones marcadas, por la diferencia en amplitud, inicialmente superando los 66 dB, para luego reducir súbitamente a >20 dB en 0.03 s.

Figura 51. Respuesta acústica concreto 2 pulgadas con una capa de neopreno



Fuente: Elaboración propia

La Tabla 35, muestra la información obtenida de la señal, se indica la no uniformidad, frecuencia indefinida y duración del evento, entre otros.

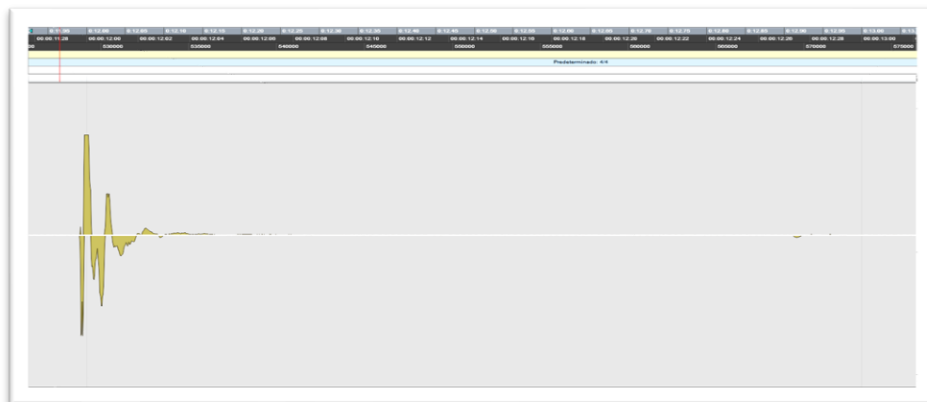
Tabla 35. Datos de ensayo acústico

DATOS ENSAYO		TENDENCIA	
Continuidad	Si	Ecuación 1	$y=-13.8\ln(x)-31.881$
Uniformidad	No	Ecuación 2	
Parámetro dB Max	66	Área 1	1.369
Parámetro dB Min	-67	Área 2	
Frecuencia Hz	NA	Punto inflexión (x,y)	0.10

Fuente: Elaboración propia

Para el cilindro de 2 pulgadas, el uso de dos capas de neopreno reduce el área de intensidad, igualmente el tiempo del evento. En la Figura 52, se observa la señal obtenida.

Figura 52. Respuesta acústica concreto 2 pulgadas con dos capas de neopreno



Fuente: Elaboración propia

Se observa, una disminución en el área de intensidad sonora igual que los casos anteriores, la reducción es evidente cuando se compara con los modelos de concreto convencionales.

La Tabla 36, muestra los datos obtenidos del análisis gráfico.

Tabla 36. Datos de ensayo acústico

DATOS ENSAYO		TENDENCIA	
Continuidad	Si	Ecuación 1	$y=64.622e^{-34.07x}$
Uniformidad	No	Ecuación 2	
Parámetro dB Max	66	Área 1	1.852
Parámetro dB Min	-45	Área 2	
Frecuencia Hz	NA	Punto inflexión (x,y)	0.11

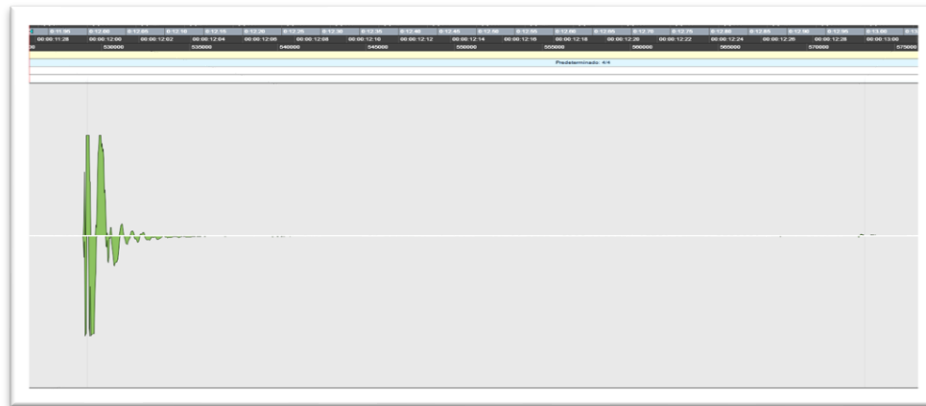
Fuente: Elaboración propia

La señal reduce completamente los niveles en la escala de dB (eje y), cuando se adiciona dos capas de neopreno (cara superior y cara inferior). Se observa que la amplitud, se reduce notablemente entre cada nodo, desde 27 dB, a 4 dB, a 1 dB y luego a 0 dB, en 0.11 s, representando reducción de niveles de ruido importantes.

Concreto 1 pulgadas + neopreno. Para el cilindro de 1 pulgada se continuo el mismo procedimiento de los ensayos anteriores, en el cual también se observa reducción del área de intensidad. El cambio de materiales es marcado, pasando de 66 a 20 dB en 0.03 s.

En la Figura 53, se muestra la señal, con su correspondiente reducción de área de intensidad y duración del evento.

Figura 53. Respuesta acústica concreto 1 pulgada más una capa de neopreno



Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 37, se indica los datos obtenidos.

Tabla 37. Datos de ensayo acústico

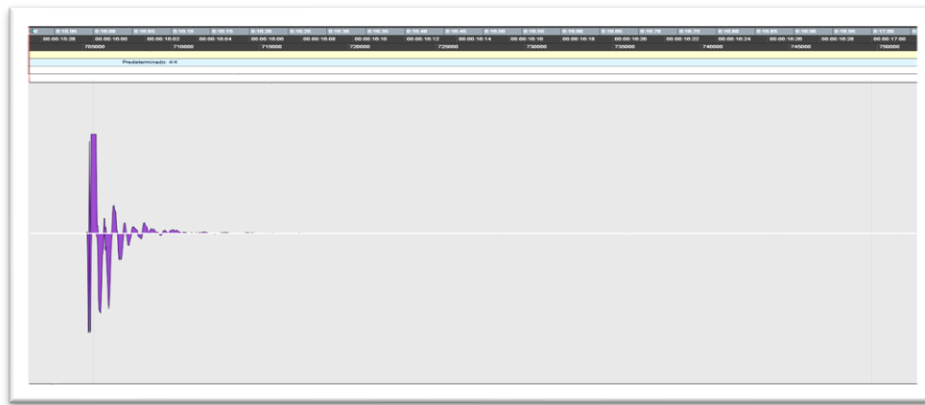
DATOS ENSAYO		TENDENCIA	
Continuidad	Si	Ecuación 1	$y=-15.83\ln(x)-35.734$
Uniformidad	No	Ecuación 2	
Parámetro dB Max	66	Área 1	1.655
Parámetro dB Min	-66	Área 2	
Frecuencia Hz	NA	Punto inflexión (x,y)	0.10

Fuente: Elaboración propia

Con la adición de dos capas de neopreno, se observa la reducción de intensidad, igualmente el tiempo del evento.

En la Figura 54, se visualiza gráficamente las características de la señal.

Figura 54. Respuesta acústica concreto 1 pulgada más dos capas de neopreno



Fuente: Elaboración propia

La Tabla 38, muestra los datos obtenidos del ensayo acústico. Gráficamente se observa, como la señal disminuye los niveles en la escala de dB (eje y) cuando se adiciona dos capas de neopreno (cara superior y cara inferior). La amplitud varía entre cada nodo desde 10 dB a 18 dB a 7 dB y luego a 4 dB, en 0.11 s, representando reducción de niveles de ruido importantes.

Tabla 38. Datos de ensayo acústico

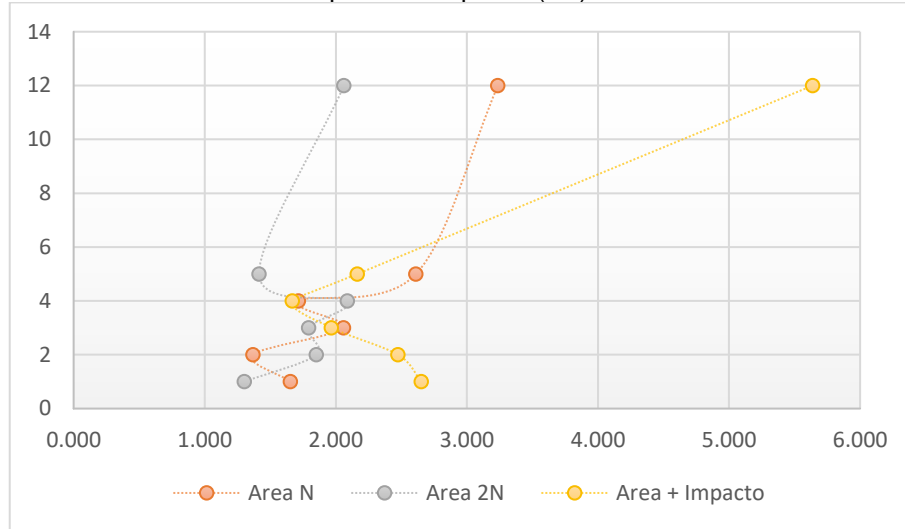
DATOS ENSAYO		TENDENCIA	
Continuidad	Si	Ecuación 1	$y=-12.14\ln(x)-27.093$
Uniformidad	No	Ecuación 2	
Parámetro dB Max	66	Área 1	1.303
Parámetro dB Min	-54	Área 2	
Frecuencia Hz	NA	Punto inflexión (x,y)	0.11

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 55 se relacionan las áreas de intensidad de las muestras de concreto con neopreno de una y dos capas, la línea y puntos amarillos indica el área de intensidad en

concreto normal, la línea y puntos naranja, en concreto con una capa de neopreno y la línea y puntos grises, con dos capas de neopreno, inferior y superior.

Figura 55. Comparación Área de intensidad sonora, impacto libre, con 1 capa de neopreno (1N), con 2 capas de neopreno (2N)



Fuente: Elaboración propia

12.8. CONCRETO + ESFERAS DE VIDRIO

Descripción. Dentro de lo observado en los ensayos acústicos, la uniformidad de onda está definida en parte, por la geometría de los agregados, característica importante en la transmisión del sonido. Por esta razón se estudia mezclas donde los agregados presenten geometrías definidas, para este caso el uso de esferas de vidrio 3/8". En la Figura 56, se muestra el material utilizado.

Figura 56. Esferas de vidrio para mezcla de concreto



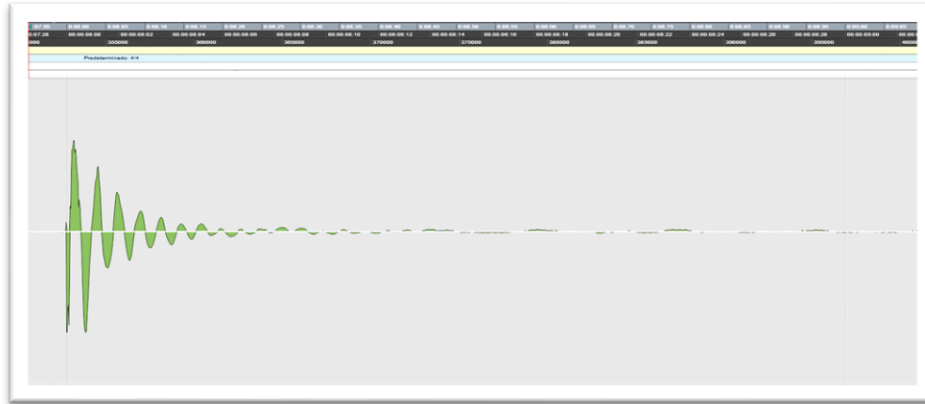
Fuente: Elaboración propia

Ensayo acústico. La prueba se realizó para dos cilindros. El primero de altura 12 pulgadas y el segundo 3 pulgadas.

Muestra H:12 pulgadas. Se realiza, un cilindro de concreto, el cual contiene esferas de vidrio. El objetivo es observar el comportamiento acústico con materiales geoméricamente homogéneos.

En la Figura 57, se observa la respuesta del material, al impacto sonoro. La señal presenta continuidad y uniformidad sinusoidal, frecuencia definida de 37 Hz, y amplitud decreciente con tendencia exponencial.

Figura 57. Respuesta acústica concreto con esferas de vidrio



Fuente: Elaboración propia

Se observa, disminución de la intensidad sonora y duración de la señal de 0.30 s.

En la Tabla 39, se muestra los resultados del ensayo.

Tabla 39. Datos de ensayo acústico

DATOS ENSAYO		TENDENCIA	
Continuidad	Si	Ecuación 1	$y=63.288e^{-16.27x}$
Uniformidad	Si	Ecuación 2	$y=-18.28\ln(x)-26.28$
Parámetro dB Max	59	Área 1	3.860
Parámetro dB Min	-67	Área 2	4.335
Frecuencia Hz	37	Punto inflexión (x,y)	0.30 0.25

Fuente: Elaboración propia

Es notable la baja resistencia a la compresión del material, generado por diferencia de rigideces y fundamentalmente por la baja adherencia en la mezcla, dando origen a falla interna longitudinal.

En la Tabla 40, se detallan los resultados obtenidos en el laboratorio.

Tabla 40. Datos de ensayo

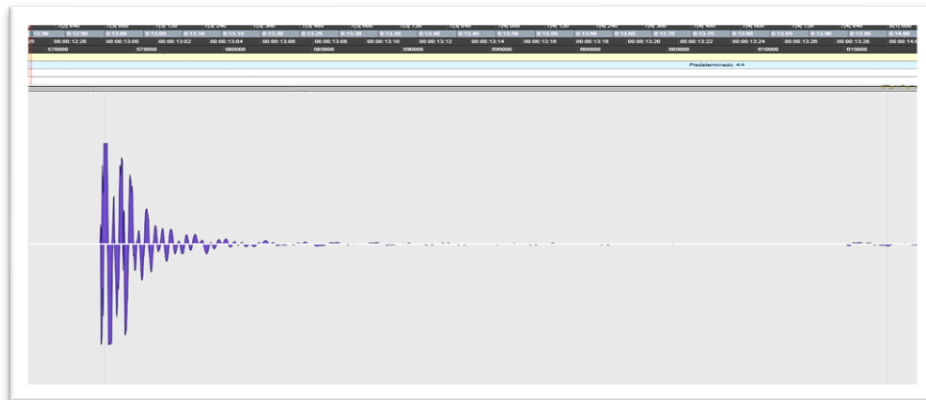
DATOS DE LABORATORIO	
Longitud cm	30.27
Área cm ²	177.50
Diámetro cm	15.03
Masa g	12077.00
Densidad g/cm ³	2.25
Carga Máxima kgf	28521.00
Resistencia a la compresión kg/cm ²	161.00
Tipo Falla	2B

Fuente: Elaboración propia

Muestra H:3 pulgadas. Se realiza, un cilindro de concreto, el cual contiene esferas de vidrio. El motivo por el cual se toma muestras de 3 pulgadas radica que a esta altura la señal ondulatoria presenta condiciones de no uniformidad.

En la Figura 58, se observa la señal obtenida

Figura 58. Respuesta acústica concreto con esferas de vidrio



Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 41, se observa los resultados obtenidos de la respuesta ondulatoria.

Tabla 41. Datos de ensayo acústico

DATOS ENSAYO		TENDENCIA	
Continuidad	Si	Ecuación 1	$y=41.872e^{-19.12x}$
Uniformidad	No	Ecuación 2	$y=-13.83\ln(x)-22.788$
Parámetro dB Max	66	Área 1	2.163
Parámetro dB Min	-67	Área 2	2.656
Frecuencia Hz	NA	Punto inflexión (x,y)	0.23 0.18

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 42 se observa los resultados obtenidos de laboratorio.

Tabla 42. Datos de ensayo

DATOS DE LABORATORIO	
Longitud cm	7.17
Área cm ²	179.10
Diámetro cm	15.10
Masa g	2576.00
Densidad g/cm ³	2.01
Carga Máxima kgf	33159.00
Resistencia a la compresión kg/cm ²	185.00
Tipo Falla	3

Fuente: Elaboración propia

12.9. CONCRETO CON ACERO Y POLIPROPILENO

Descripción. Después de analizar diferentes materiales, es conveniente unificar conceptos según lo observado. Uno de los materiales ideales para absorción y disipación de energía acústica será aquel que posea alta resistencia para responder a esfuerzos e impactos generados en la interacción neumático – pavimento, capaz de absorber, disipar y transmitir el ruido originado entre la estructura de pavimento.

Para obtener mezclas que reduzcan niveles de ruido, también se considera el reemplazo del agua de mezclado por líquidos que reaccionen con el cemento, y a su vez incluyan propiedades de disipación del sonido, por ello se realiza varias pruebas con sustancias compuestas a base de agua y sintéticos para observar el comportamiento de la mezcla acústicamente.

Se realiza ensayo acústico a muestras de concreto hidráulico, en la cual se utiliza camisas o esferas de acero con poliestireno expandido, el objetivo, conseguir una mezcla que contenga vacíos que absorban la energía acústica disminuyendo el ruido en el material. El acero será el encargado de balancear y equilibrar la resistencia.

En este ensayo, la disposición de los cilindros de acero incide totalmente en la resistencia del espécimen de concreto, como se observa en el tipo de falla es 3, lo cual era esperado, al generarse diferencia de rigidez entre los materiales y su posición longitudinal, contribuye a la generación de falla en el eje axial.

En la Figura 59, se indica las camisas metálicas con polipropileno, utilizado en la mezcla. Se aclara que el uso de esta camisa metálica fue la alternativa considerada al no conseguir en el mercado, esferas vacías de acero, para el desarrollo del ensayo, sin embargo, el análisis deseado parte de la inclusión de materiales con características de absorción sonora, lo cual se consigue con el material suministrado, esperando valores bajos en resistencia.

Figura 59. Camisas con poliestireno expandido



Fuente: Elaboración propia

Para el ensayo se utilizó varios tamaños, $\frac{1}{2}$ ", 1 pulgada, $1\frac{1}{4}$ ". En la Figura 60, se observa los diferentes tamaños usados.

Figura 60. Tamaños utilizados en las mezclas, $\frac{1}{2}$ ", 1 pulgada, $1\frac{1}{4}$ "



Fuente: Elaboración propia

La mezcla de concreto fue compuesta por cemento, agua, agregado fino y las diferentes camisas de acero con polipropileno. Debido a la geometría circular se hicieron varios arreglos, dependiendo del tamaño. Para el diámetro $1\frac{1}{4}$ ", se colocó 5 capas de 7 unidades cada una, para un total de 35. Para 1 pulgada, se colocó 7 capas de 10 unidades, para un total de 70 unidades y para $\frac{1}{2}$ ", se colocó 10 capas de 21 unidades para un total de 210 unidades. En la Figura 61, se observa la disposición realizada.

Figura 61. Elaboración: concreto con polipropileno de $1\frac{1}{4}$ ", 1 pulgada, $\frac{1}{2}$ "



Fuente: Elaboración propia

Ensayo acústico. En la Figura 62, se indica los cuatro especímenes de concreto, a los cuales se realiza ensayo acústico. Cada muestra es diferente, ya que uno de sus componentes interno corresponde a elementos de diferente diámetro.

El ensayo acústico muestra, que, para cada tamaño, la respuesta difiere en su frecuencia, por tanto, es importante estudiar diferentes geometrías y tamaños, y diseñar los materiales incluidos a la mezcla, logrando garantizar una frecuencia según se requiera, produciendo sonidos armónicos, para construcción de pavimentos en proyectos de vías musicales.

Figura 62. Cilindros de concreto con acero y polipropileno



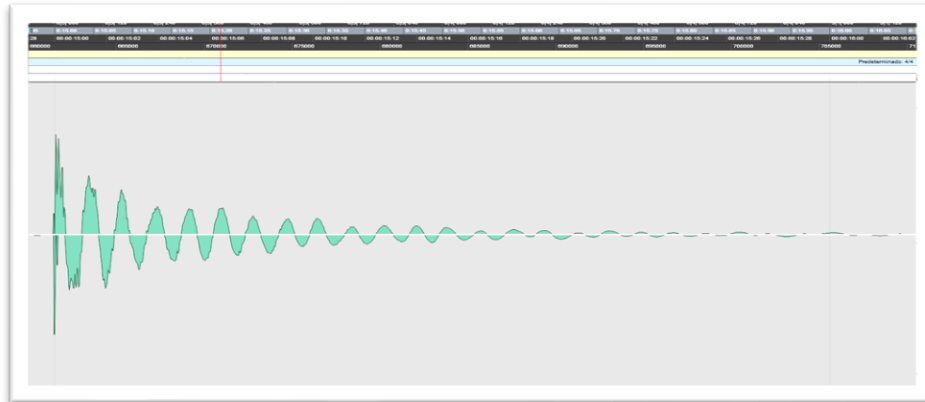
Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra los cuatro ensayos desarrollados.

Concreto 12 pulgadas con Acero 1/2 y Poliestireno. Para este ensayo se utilizó concreto hidráulico, con cápsulas o camisas de acero de 1/2, con polipropileno expandido. El polipropileno cumple por función absorber el impacto sonoro, mientras que el acero reforzar la mezcla originando una compensación en los materiales. Como resultado se obtiene una mezcla de baja densidad.

Como se observa en la Figura 63, la señal ondulatoria presenta características definidas como continuidad, uniformidad, frecuencia. El comportamiento de la amplitud obedece a una función exponencial decreciente.

Figura 63. Respuesta acústica concreto con acero y poliestireno expandido



Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 43, se muestra los resultados obtenidos del análisis gráfico de la señal ondulatoria.

Tabla 43. Datos de ensayo acústico

DATOS ENSAYO		TENDENCIA	
Continuidad	Si	Ecuación 1	$y=-9.532\ln(x)-4.6733$
Uniformidad	Si	Ecuación 2	$y=12.308e^{-3.219x}$
Parámetro dB Max	58	Área 1	5.821
Parámetro dB Min	-67	Área 2	3.671
Frecuencia Hz	24	Punto inflexión (x,y)	0.66 1.00

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 44, se muestra los resultados del laboratorio.

Tabla 44. Datos de laboratorio

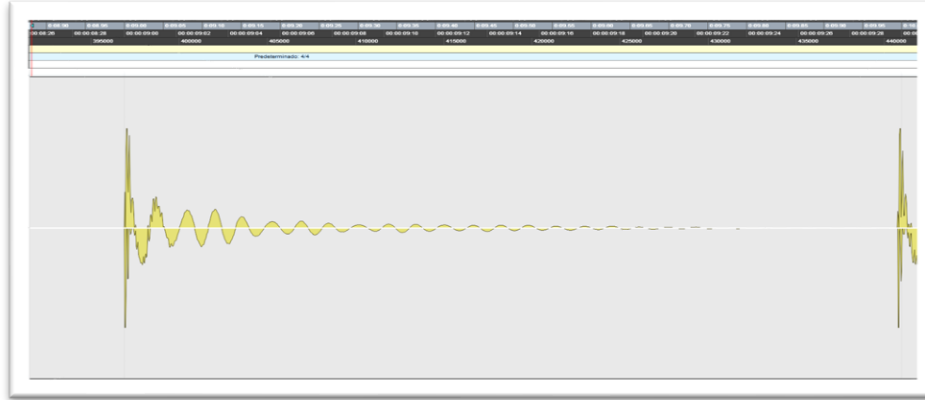
DATOS DE LABORATORIO	
Longitud cm	30.50
Área cm ²	183.10
Diámetro cm	15.27
Masa g	8724.00
Densidad g/cm ³	1.56
Carga Máxima kgf	7567.00
Resistencia a la compresión kg/cm ²	41.00
Tipo Falla	3

Fuente: Elaboración propia

Concreto 12 pulgadas con Acero 1 pulgada y Poliestireno. En el ensayo se utilizó concreto hidráulico, con cápsulas de acero de 1 pulgada, y polipropileno expandido.

En la Figura 64, se muestra la respuesta ondulatoria del material al impacto. La señal se caracteriza por su uniformidad y continuidad, se evidencia un comportamiento sinusoidal, en el cual está definida su frecuencia de 28 Hz. Su amplitud decrece exponencialmente.

Figura 64. Respuesta acústica concreto con acero y poliestireno expandido



Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 45, se indica las variables identificadas en el ensayo, de acuerdo a los valores de área, se observa que la transmisión de la señal es de mayor magnitud (en comparación con los otros ensayos), indicando, que la respuesta del material al impacto es transmitir la señal.

Tabla 45. Datos de ensayo acústico

DATOS ENSAYO		TENDENCIA	
Continuidad	Si	Ecuación 1	$y=30.339e^{-4.22x}$
Uniformidad	Si	Ecuación 2	$y=-11.6\ln(x)-3.25$
Parámetro dB Max	58	Área 1	7.084
Parámetro dB Min	-67	Área 2	8.751
Frecuencia Hz	28	Punto inflexión (x,y)	0.8 1.0

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 46, se observa los resultados de laboratorio.

Tabla 46. Datos de ensayo

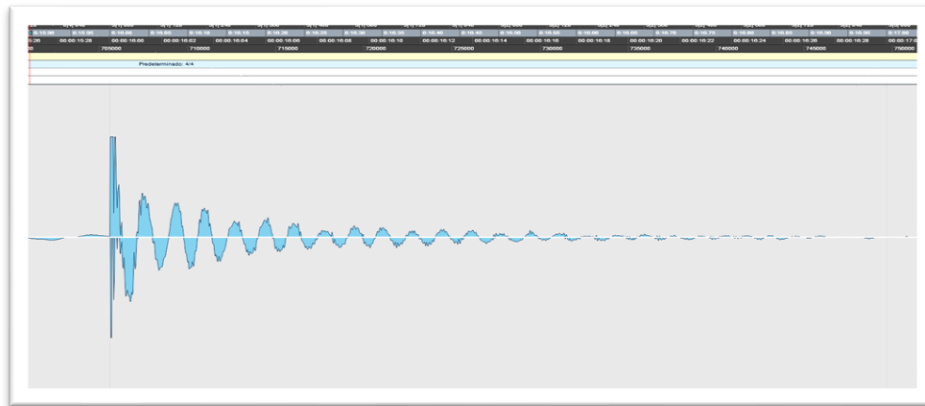
DATOS DE LABORATORIO	
Longitud cm	30.53
Área cm ²	177.50
Diámetro cm	15.03
Masa g	9090.00
Densidad g/cm ³	1.68
Carga Máxima kgf	8313.50
Resistencia a la compresión kg/cm ²	47.00
Tipo Falla	3

Fuente: Elaboración propia

Concreto 12 pulgadas con Acero 1¼” y Poliestireno. Para este ensayo se utilizó concreto hidráulico, con cápsulas de acero 1¼”, y polipropileno expandido. El polipropileno cumple por función absorber el impacto sonoro, mientras que el acero reforzar la mezcla originando una compensación en los materiales. Como resultado se obtiene una mezcla de baja densidad.

En la Figura 65, se observa la respuesta ondulatoria del material al impacto. La señal se caracteriza por su uniformidad y continuidad, se evidencia un comportamiento sinusoidal, en el cual está definida su frecuencia de 27 Hz. Su amplitud decrece exponencialmente.

Figura 65. Respuesta acústica concreto con acero y poliestireno expandido



Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 47, se relaciona algunas variables analizadas gráficamente, cabe resaltar la definición de la frecuencia de 27 Hz, y la uniformidad de la señal ondulatoria.

Tabla 47. Datos de ensayo acústico

DATOS ENSAYO		TENDENCIA	
Continuidad	Si	Ecuación 1	$y=24.36e^{-3.895x}$
Uniformidad	Si	Ecuación 2	$y=-10.26\ln(x)-3.2105$
Parámetro dB Max	60	Área 1	6.127
Parámetro dB Min	-67	Área 2	7.471
Frecuencia Hz	27	Punto inflexión (x,y)	1.0 0.8

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 48, se observa los resultados de laboratorio.

Tabla 48. Datos de laboratorio

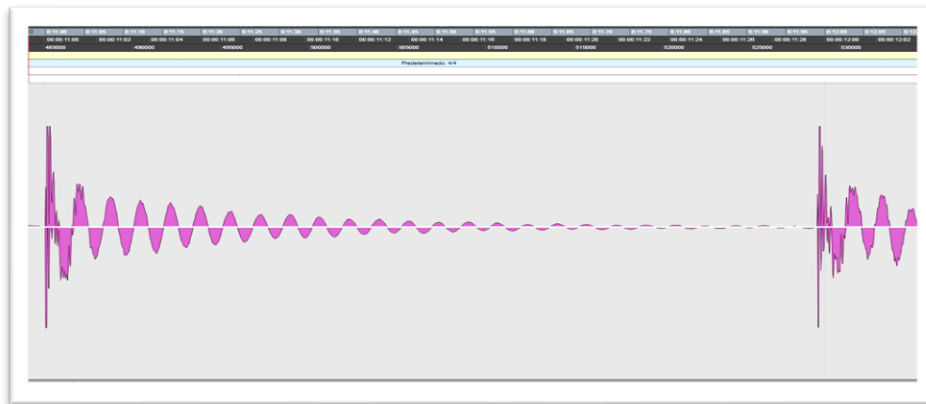
DATOS DE LABORATORIO	
Longitud cm	30.53
Área cm ²	177.50
Diámetro cm	15.03
Masa g	8775.00
Densidad g/cm ³	1.62
Carga Máxima kgf	9385.10
Resistencia a la compresión kg/cm ²	53.00
Tipo Falla	3

Fuente: Elaboración propia

Concreto 12 pulgadas con Acero 1 pulgada, poliestireno y material granular. Para este ensayo se utilizó concreto hidráulico, en el cual se reemplazó parte del agregado grueso por cápsulas de acero de 1 pulgada, y polipropileno expandido. El polipropileno cumple por función absorber el impacto sonoro, mientras que el acero reforzar la mezcla originando una compensación en los materiales. Como resultado se obtiene una mezcla de baja densidad.

En la Figura 66, se observa una señal continua y uniforme, de comportamiento sinusoidal, la cual decrece exponencialmente.

Figura 66. Respuesta acústica concreto con acero y poliestireno expandido



Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 49, se observa algunos resultados del análisis gráfico realizado a la muestra. Nótese el alto valor de las áreas de intensidad, indicando como se transmite la señal.

Tabla 49. Datos de ensayo acústico

DATOS ENSAYO		TENDENCIA		
Continuidad	Si	Ecuación 1	y=28.922e ^{-4.179x}	
Uniformidad	Si	Ecuación 2	y=-11.49ln(x)-4.0615	
Parámetro dB Max	47	Área 1	6.815	
Parámetro dB Min	-67	Área 2	8.069	
Frecuencia Hz	26	Punto inflexión (x,y)	1.0	0.7

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 50, se observa los resultados de laboratorio.

Tabla 50. Datos de laboratorio

DATOS DE LABORATORIO	
Longitud cm	30.53
Área cm ²	177.50
Diámetro cm	15.03
Masa g	9958.00
Densidad g/cm ³	1.84
Carga Máxima kgf	9208.30
Resistencia a la compresión kg/cm ²	52.00
Tipo Falla	3

Fuente: Elaboración propia

Luego de realizar los ensayos a las mezclas de concreto y acero con polipropileno, se obtiene valores bajos de resistencia a la compresión los cuales obedecen a la diferencia de rigidez entre el acero y la mezcla de cemento y arena, adicionalmente la disposición de las cápsulas de acero en forma longitudinal, contribuyo a generar falla interna a corte.

13. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez realizado los ensayos acústicos, se obtuvo los resultados, que dieron respuesta a varios interrogantes en cuanto a comportamiento del sonido, en materiales utilizados en pavimentos y carreteras en general.

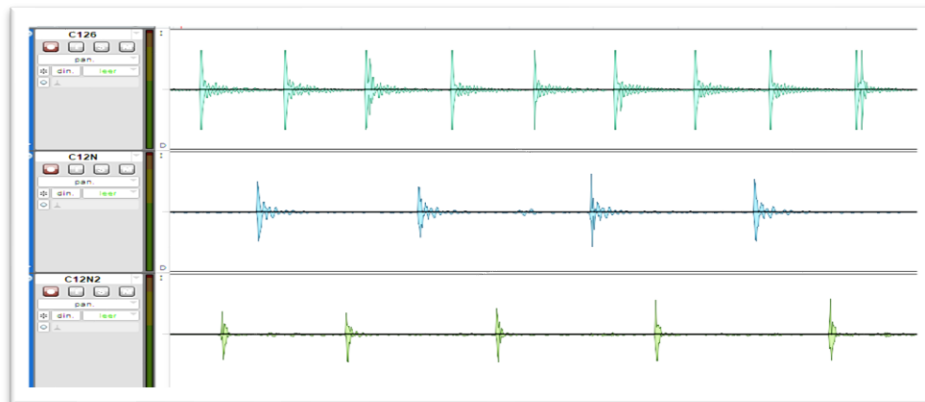
Los resultados describen, como la geometría, densidad, composición, homogeneidad y uniformidad de los agregados son fundamentales para la reducción de niveles de ruido y obtención y propagación de señales definidas.

La respuesta de los materiales al impacto sonoro, indica que existe varias maneras de reducir niveles de ruido, para este caso se observa como en algunos materiales dicha reducción obedece a disminuir la intensidad del ruido (apagar el sonido), mientras que en otros, ocurre por transformación de la energía.

Uno de los resultados de mayor incidencia obtenido fue, el comportamiento de los materiales en los cuales su composición está sujeta a formas geométricas, generando señales ondulatorias definidas, demostrando que es posible diseñar formas y mezclas que generen sonido en beneficio de los conductores y demás usuarios.

En la Figura 67, se observa la diferencia de respuesta al impacto del cilindro de 12 pulgadas, para 3 diferentes análisis, primero en su modo normal, el segundo cubierto con una capa de neopreno en la parte superior y el tercero el cilindro cubierto por dos capas de neopreno en su parte inferior y superior.

Figura 67. Respuesta del concreto 12 pulgadas utilizando 1 y 2 capas de neopreno

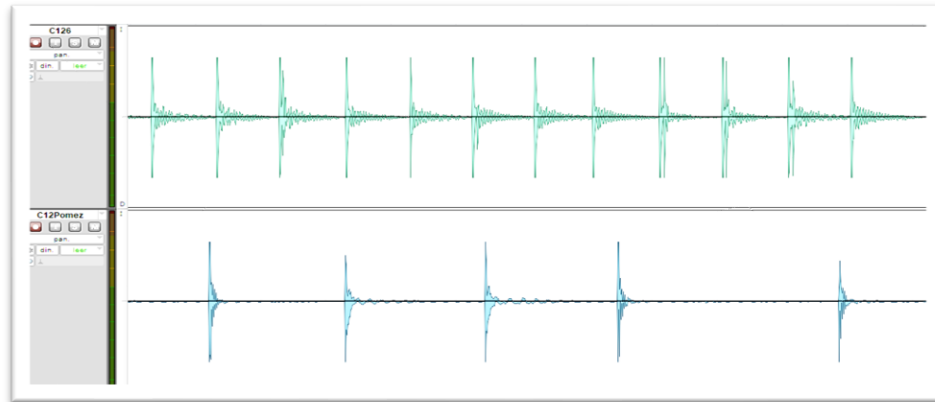


Fuente: Elaboración propia

Es notable como la amplitud e intensidad en la transmisión de la señal, se reduce. Mientras que la magnitud de la amplitud para el primer caso es de 67 dB, para el segundo y tercer evento, disminuye a 52 y 43 dB.

Comparando concreto hidráulico normal versus concreto con piedra pómez, se observa una disminución importante en la intensidad sonora, Figura 68.

Figura 68. Comparación señal entre concreto hidráulico normal y concreto hidráulico con adición de piedra pómez

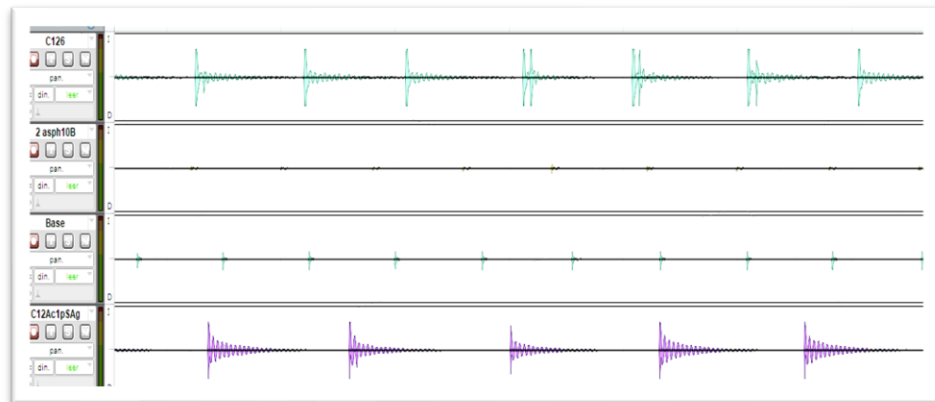


Fuente: Elaboración propia

En mediciones realizadas gráficamente, se resalta la diferencia de intensidad de la señal y amplitud entre 5 a 8 dB, entre los dos eventos.

En forma general en la Figura 69, se comparan varios materiales, como concreto hidráulico normal, concreto asfáltico, base granular y concreto con acero y polipropileno, donde se observa la diferencia en amplitud e intensidad de la señal generada por los diferentes materiales, resalta los bajos niveles en dB emitidos en la mezcla asfáltica y base granular en comparación con el concreto hidráulico.

Figura 69. Comparativo de señal entre concreto hidráulico (C126), asfalto (2 asph10B), base granular (base), concreto hidráulico con acero (C12Ac1pSAg)

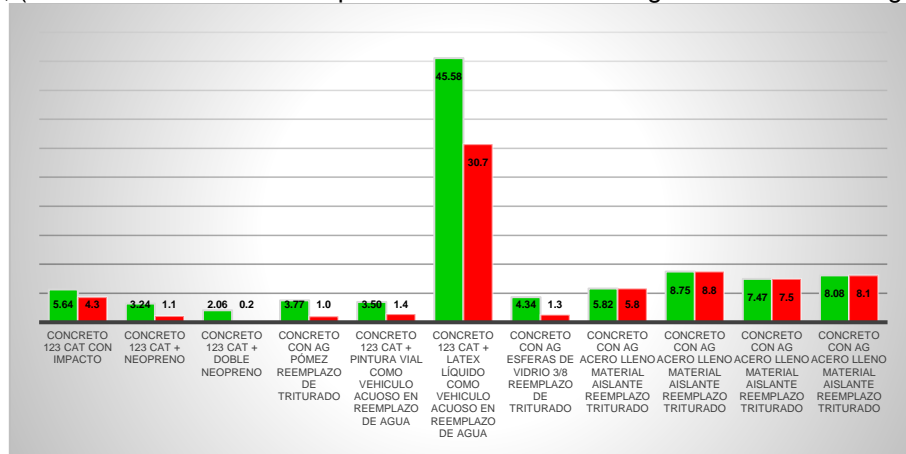


Fuente: Elaboración propia

La grafica indica cuatro comportamientos ondulatorios de diferentes materiales, se observa la amplitud y resistencia acústica del asfalto y base granular, son inferiores a los registrados para concretos rígidos, incluso entre ellos existe reducción en amplitud, frecuencia e intensidad. La mejor condición acústica se da en concreto con estructura interna en acero y polipropileno (color violeta).

La Figura 70, muestra el comparativo del área de intensidad sonora obtenido en cilindros de diferentes materiales de tamaño 12 pulgadas, exceptuando la muestra de concreto elástico (látex), existe gran diferencia en la transmisión de la señal en los concretos donde se utilizó acero y polipropileno

Figura 70. Comparación de áreas de intensidad sonora de las diferentes muestras ensayadas con h:12 pulgadas, (la muestra con látex es atípica al transformar la energía acústica en energía cinética)



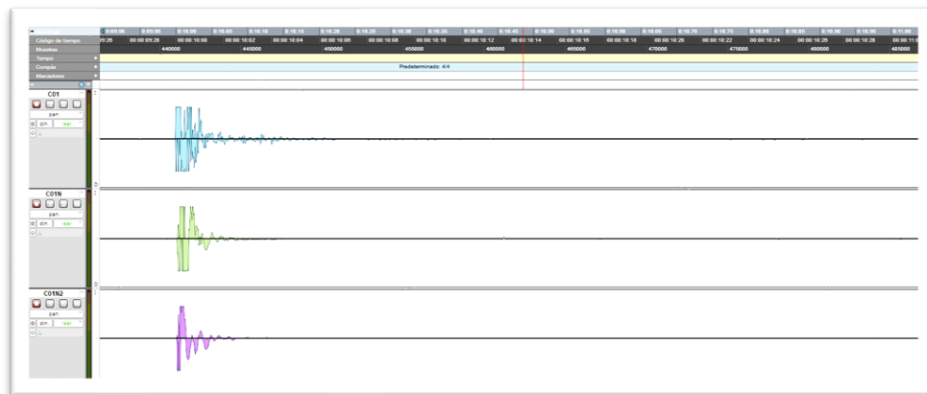
Fuente: Elaboración propia

El resultado de utilizar neopreno en los ensayos con concreto hidráulico, mostro como el material disipa y absorbe el impacto, reduciendo la amplitud y la intensidad sonora.

En las Figuras 71 a 81, se observa la variación de estas variables para las muestras de 1, 2, 3, 4 y 5 pulgadas.

En la figura 71, se observa cómo reacciona la muestra de concreto de 1 pulgada a tres eventos, a) impacto en superficie de la muestra de concreto hidráulico, relación 1:2:2 espesor 1 pulgada (C01), b) impacto sobre capa superior de neopreno en la muestra de concreto (C01N) y c) impacto sobre capa superior e inferior de neopreno en la muestra de concreto (C01N2).

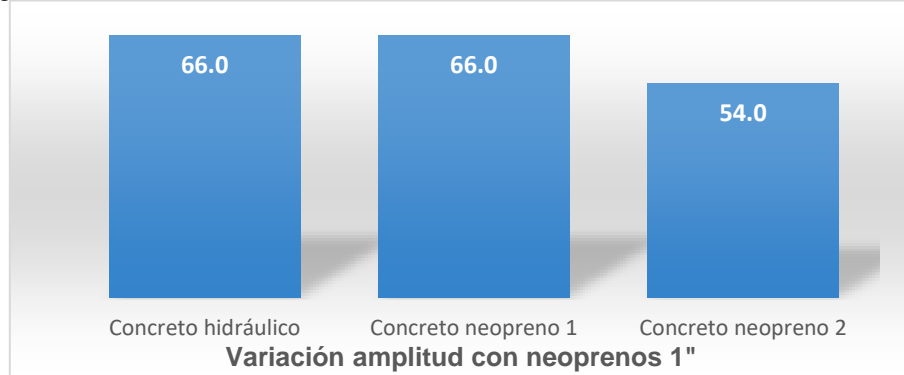
Figura 71. Comparativo entre muestra concreto hidráulico 1 pulgada con 1 y 2 capas de neopreno



Fuente: Elaboración propia

El ensayo muestra como cuanto más se coloca capas de neopreno, la intensidad de la señal de transmisión y la amplitud se reducen. En la figura 72, se indica la relación de valores.

Figura 72. Variación amplitud con neopreno muestra 1 pulgada concreto hidráulico

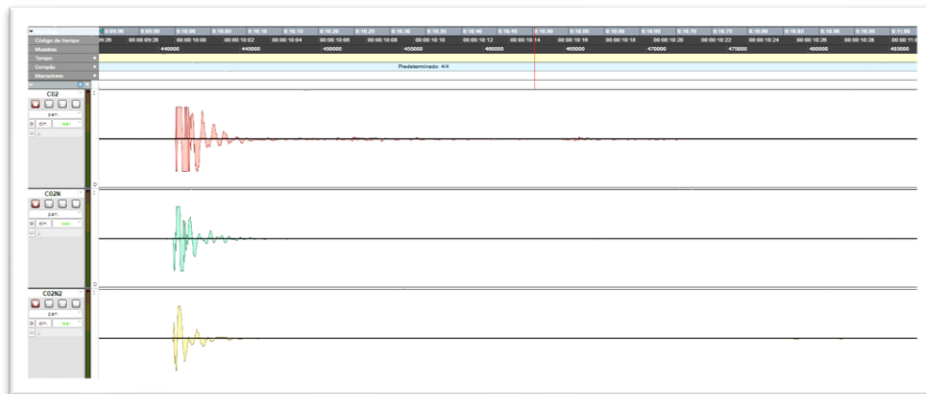


Fuente: Elaboración propia

La reducción de 12 dB (18%), entre concreto normal y concreto con dos capas de neopreno, ofrecen condiciones acústicas favorables.

En la figura 73, para la muestra de concreto de 2 pulgadas la reacción al impacto, se indica gráficamente en los tres eventos, a) impacto en superficie de la muestra de concreto hidráulico, relación 1:2:2 espesor 2 pulgadas (C02), b) impacto sobre capa superior de neopreno en la muestra de concreto (C02N) y c) impacto sobre capa superior e inferior de neopreno en la muestra de concreto (C02N2). El ensayo muestra como cuanto más se dispone o coloca capas de neopreno, la intensidad y la amplitud de la señal se reduce.

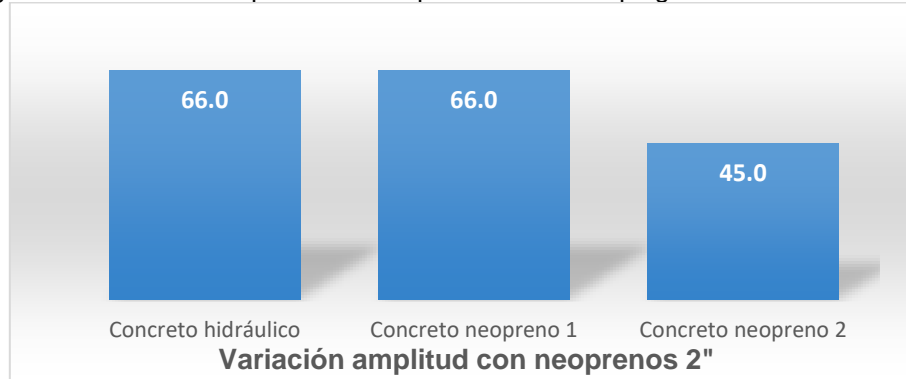
Figura 73. Comparativo entre muestra de concreto hidráulico 2 pulgadas con 1 y 2 capas de neopreno



Fuente: Elaboración propia

En la figura 74, se indica la relación de valores. Nótese la variación de 21 dB, correspondiendo al 31.8%.

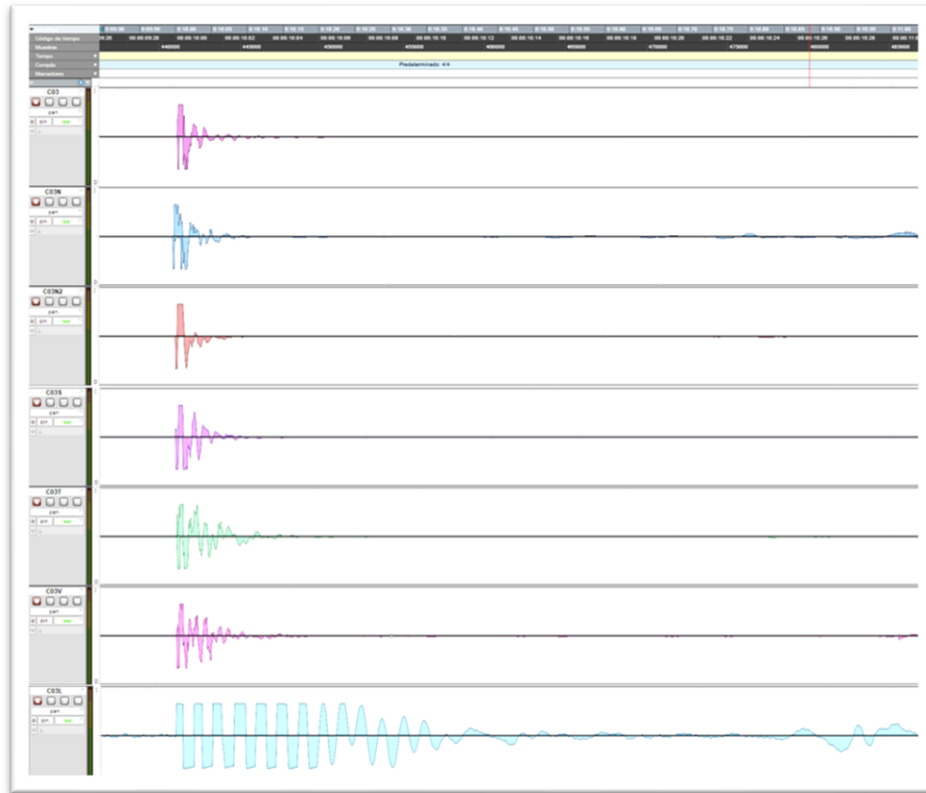
Figura 74. Variación amplitud con neopreno muestra 2 pulgadas concreto hidráulico



Fuente: Elaboración propia

En la figura 75, se indica gráficamente como las diferentes mezclas, reaccionan al impacto; a) impacto en superficie de la muestra de concreto hidráulico relación 1:2:2 espesor 3 pulgadas (C03), b) impacto sobre capa superior de neopreno en la muestra de concreto (C03N), c) impacto sobre capa superior e inferior de neopreno en la muestra de concreto (C03N2), d) impacto en superficie de la muestra de concreto con adición de caucho sintético (C03S), e) impacto en superficie de la muestra de concreto con adición de pegante a base de agua (C03T), f) impacto en superficie de la muestra de concreto con esferas de vidrio (C03V), y g) impacto en superficie de la muestra de concreto elástico (C03L).

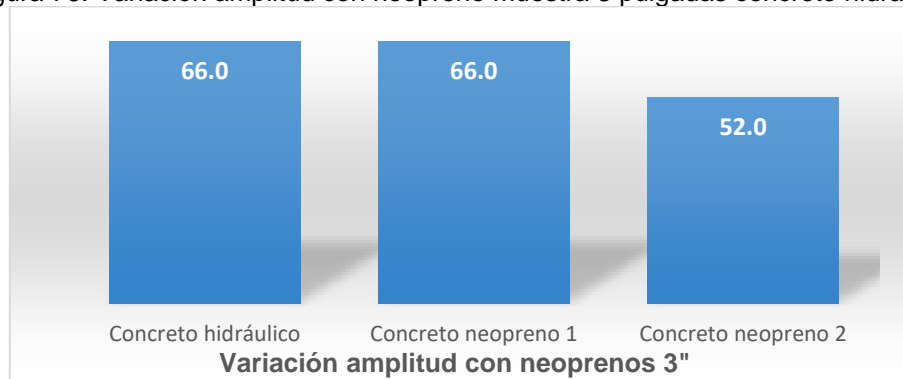
Figura 75. Comparativo entre muestra concreto hidráulico 3 pulgadas con 1 y 2 capas de neopreno, concreto con sintético, pegante base agua, esferas de vidrio, látex



Fuente: Elaboración propia

En la figura 76, se indica la relación de valores obtenidos entre concreto normal y con adición de una y dos capas de neopreno.

Figura 76. Variación amplitud con neopreno muestra 3 pulgadas concreto hidráulico

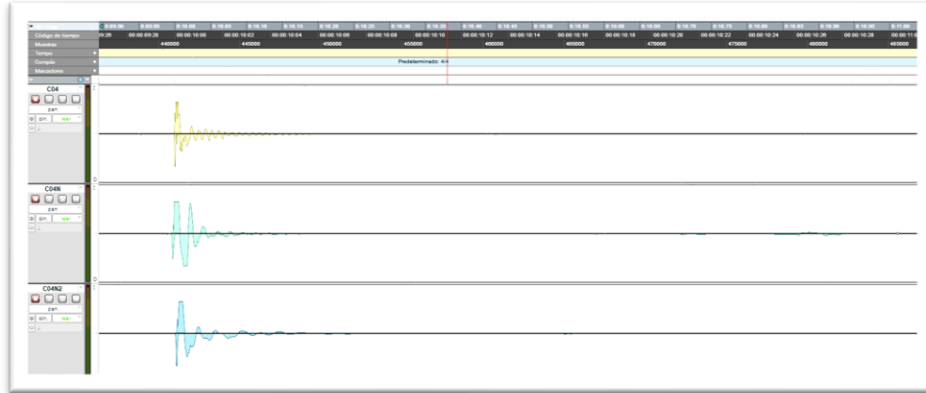


Fuente: Elaboración propia

La amplitud reduce su magnitud en 14 dB, respecto a la muestra original, es decir el 21%, al colocar dos capas de neopreno.

En la figura 77, se observa como la muestra de concreto reacciona al impacto. a) impacto en superficie de la muestra de concreto hidráulico, relación 1:2:2 espesor 4 pulgadas (C04), b) impacto sobre capa superior de neopreno en la muestra de concreto (C04N) y c) impacto sobre capa superior e inferior de neopreno en la muestra de concreto (C04N2). El ensayo muestra como cuanto más se dispone o coloca capas de neopreno en la muestra, la intensidad de la señal de transmisión se reduce, igualmente la magnitud de la amplitud.

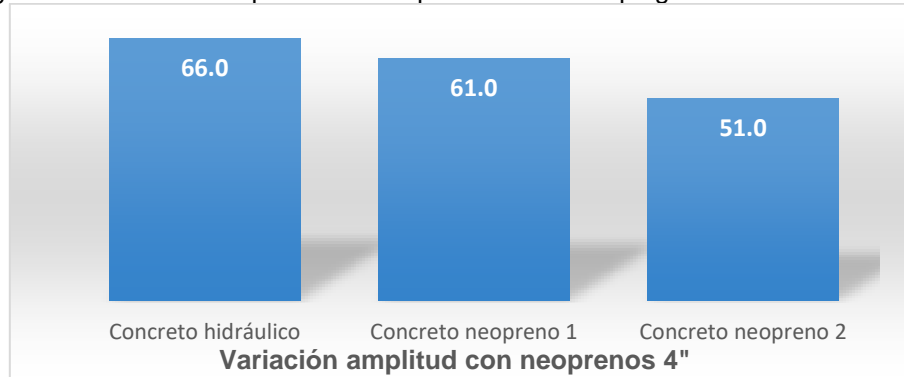
Figura 77. Comparativo entre muestra concreto hidráulico 4 pulgadas con 1 y 2 capas de neopreno



Fuente: Elaboración propia

En la figura 78, se muestra la reducción de la amplitud en la señal, 5 dB cuando se coloca una capa de neopreno y 15 dB con dos capas, correspondiendo a 7.5% y 22.7% respectivamente.

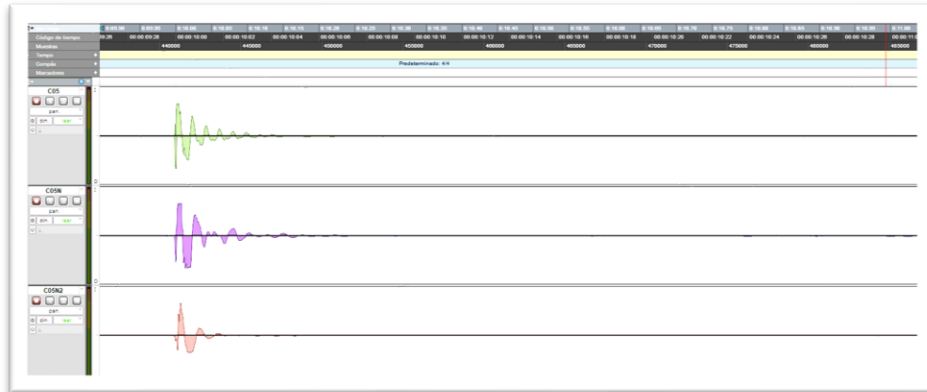
Figura 78. Variación amplitud con neopreno muestra 4 pulgadas concreto hidráulico



Fuente: Elaboración propia

En la figura 79, se observa como la muestra de concreto de 5 pulgadas reacciona al impacto. a) impacto en superficie de la muestra de concreto hidráulico, relación 1:2:2 espesor 5 pulgadas (C05), b) impacto sobre capa superior de neopreno en la muestra de concreto (C05N) y c) impacto sobre capa superior e inferior de neopreno en la muestra de concreto (C05N2).

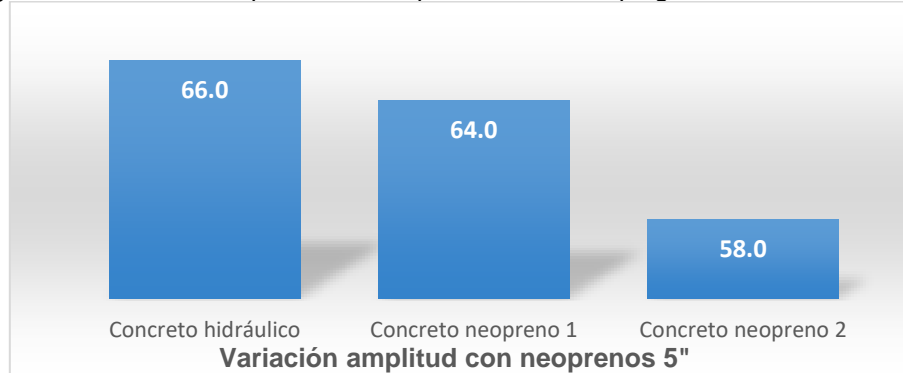
Figura 79. Comparativo entre muestra concreto hidráulico 5 pulgadas con 1 y 2 capas de neopreno



Fuente: Elaboración propia

En la figura 80, se muestra la reducción en la amplitud en la señal, 2 dB cuando se coloca una capa de neopreno y 8 dB con dos capas, correspondiendo a 3% y 12% respectivamente.

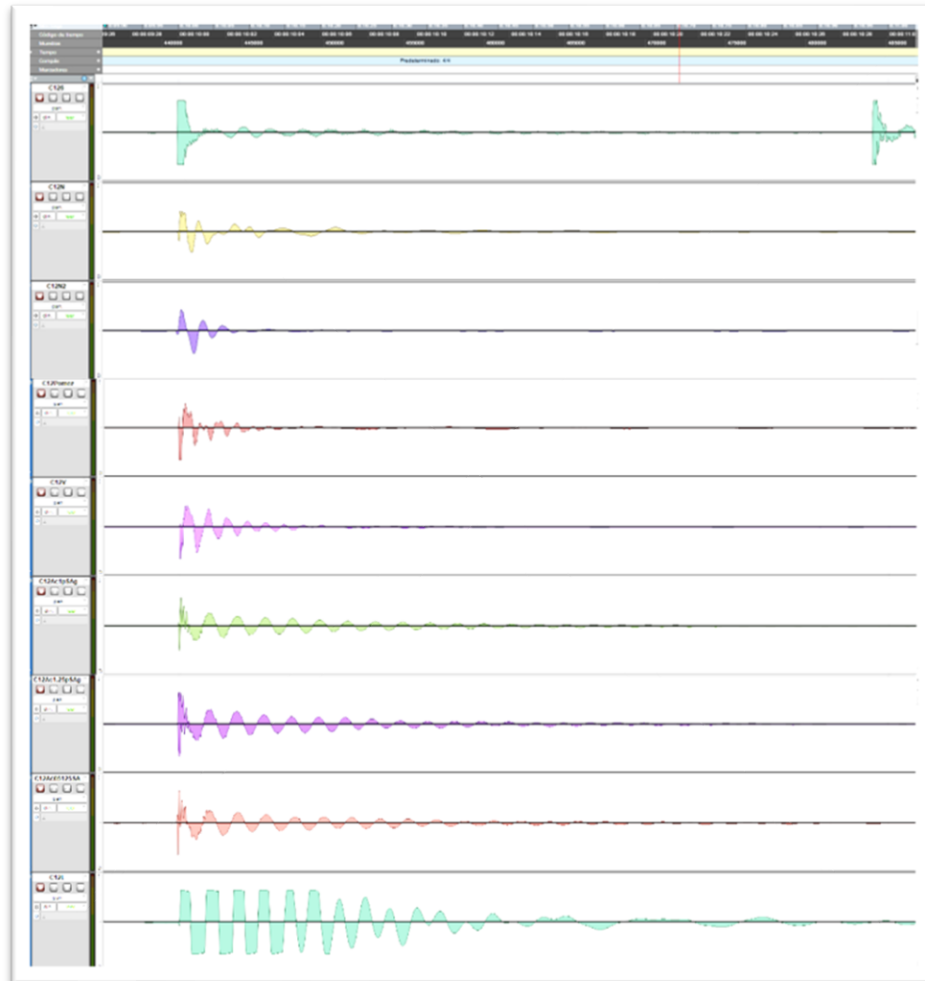
Figura 80. Variación amplitud con neopreno muestra 5 pulgadas concreto hidráulico



Fuente: Elaboración propia

Para la muestra de concreto de 12 pulgadas, además de analizar el comportamiento con neoprenos (C12N, C12N2), se evaluó con diferentes materiales como concreto a base de pumita o piedra pómez (C12pomez), concreto con adición de esferas de vidrio (C12V), concreto con látex natural como reemplazo de agua (C12L) y mezclas de concreto con cilindros de acero al vacío con polipropileno expandido (C12Ac1pSAg, C12Ac1.25pSAg, C12Ac05125pSA), como se observa en la figura 81.

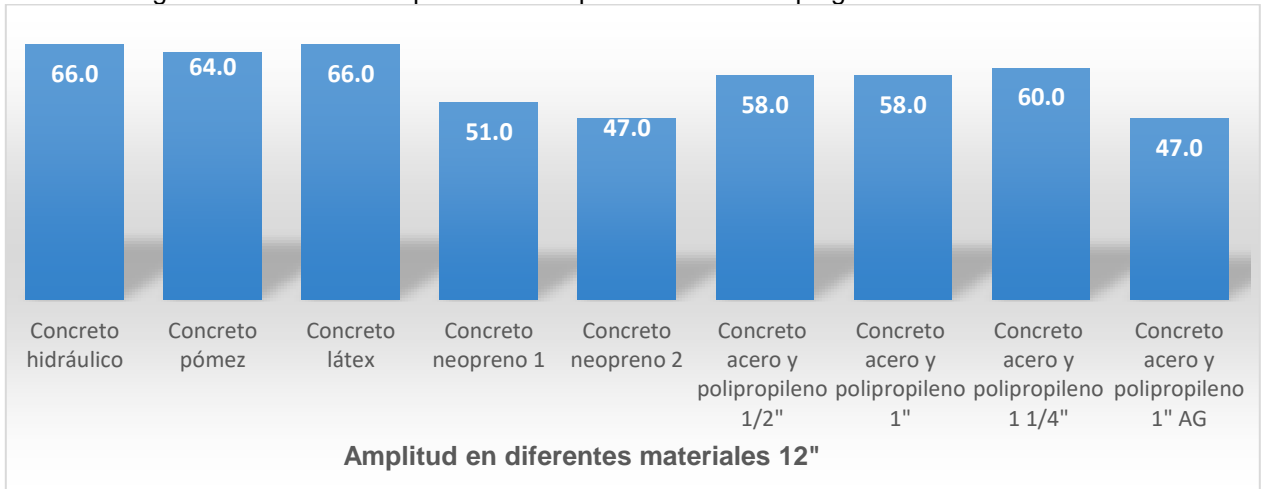
Figura 81. Comparativo entre muestra concreto hidráulico 12 pulgadas con 1 y 2 capas de neopreno, concreto pómez, concreto con esferas de vidrio, concreto con látex y concreto con acero y polipropileno



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 82, se detalla la magnitud de la amplitud en dB de diferentes materiales, destacándose la reducción con el uso de neoprenos, como también acero más polipropileno.

Figura 82. Variación amplitud con neopreno muestra 12 pulgadas concreto hidráulico



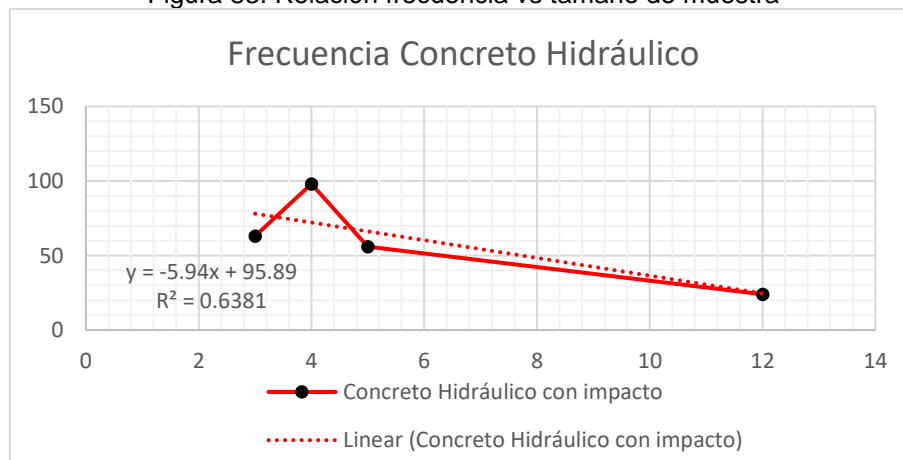
Fuente: Elaboración propia

Se destaca la reducción de la amplitud entre las muestras con neoprenos, acero y polipropileno y piedra pómez, respecto a la muestra original. Al utilizar neoprenos la reducción es 15 dB para una capa y 19 dB para dos capas, representando 22.7% y 28.7% respectivamente. Con acero y polipropileno donde se adiciona elementos de 1/2", 1 pulgada, 1 1/4" y 1 pulgada Ag, se observa reducción en 8, 8, 6, 19 dB, correspondiente a 12%, 12%, 9% y 28% respectivamente. Utilizando piedra pómez la amplitud se reduce 2 dB, lo cual representa 3%.

Otra variable estudiada es la frecuencia, los resultados indican su relación con la altura de la muestra. En los cilindros de 12 pulgadas se observa frecuencias bajas en relación con probetas de menor dimensión.

En la Figura 83, se observa la relación de frecuencia en Hz versus tamaño de muestra en pulgadas, notándose la tendencia lineal decreciente.

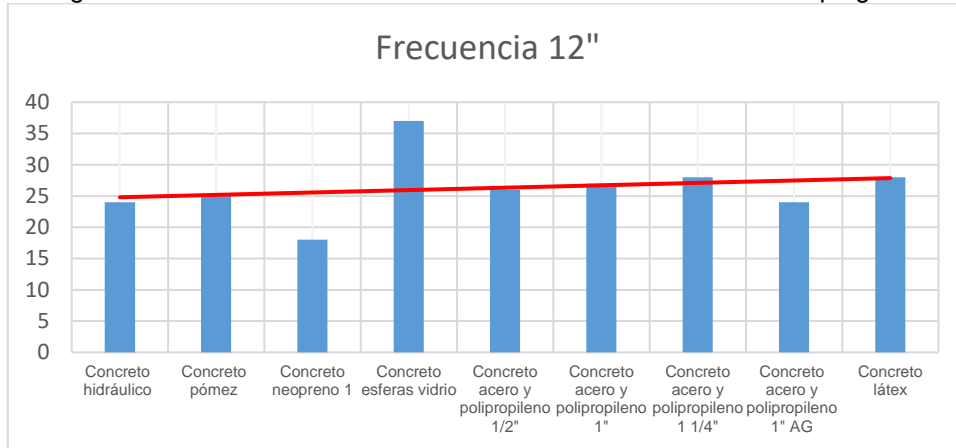
Figura 83. Relación frecuencia vs tamaño de muestra



Fuente: Elaboración propia

Un indicador importante en el estudio de frecuencias fue que, al analizar diferentes materiales con cilindros de igual altura, la variable tiende a ser constante, definiendo que, la frecuencia depende de la longitud axial del elemento. En la Figura 84, se observa la tendencia lineal constante en muestras de diferente material para el tamaño 12 pulgadas.

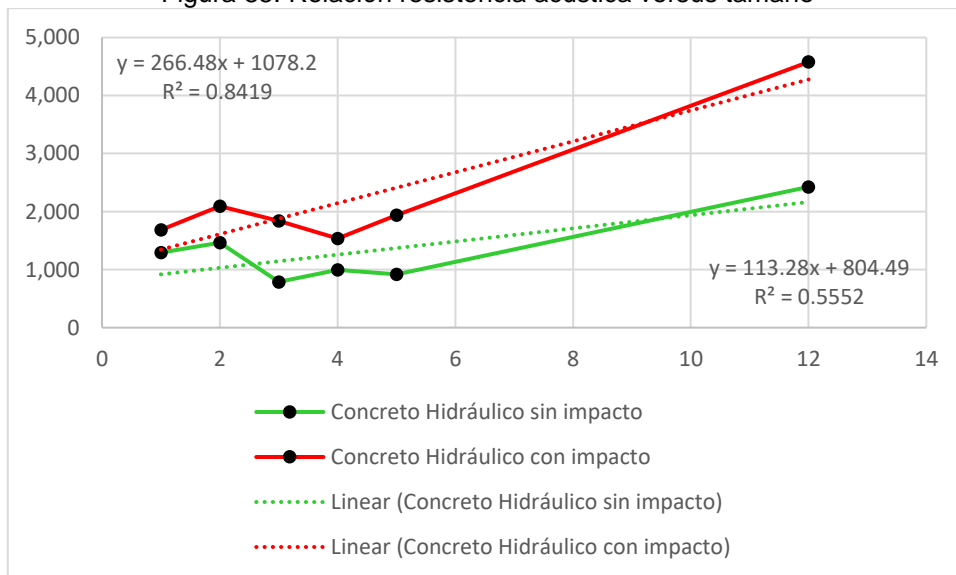
Figura 84. Relación frecuencia versus material en muestra de 12 pulgadas



Fuente: Elaboración propia

Cuando se compara el área de intensidad o resistencia acústica, se observa la, tendencia lineal creciente entre la resistencia acústica y la longitud. Entendiéndose que, a mayor longitud o espesor, existe mayor resistencia. En la Figura 85, se indica como los cilindros de concreto hidráulico, resisten a la señal proporcionalmente a su tamaño.

Figura 85. Relación resistencia acústica versus tamaño

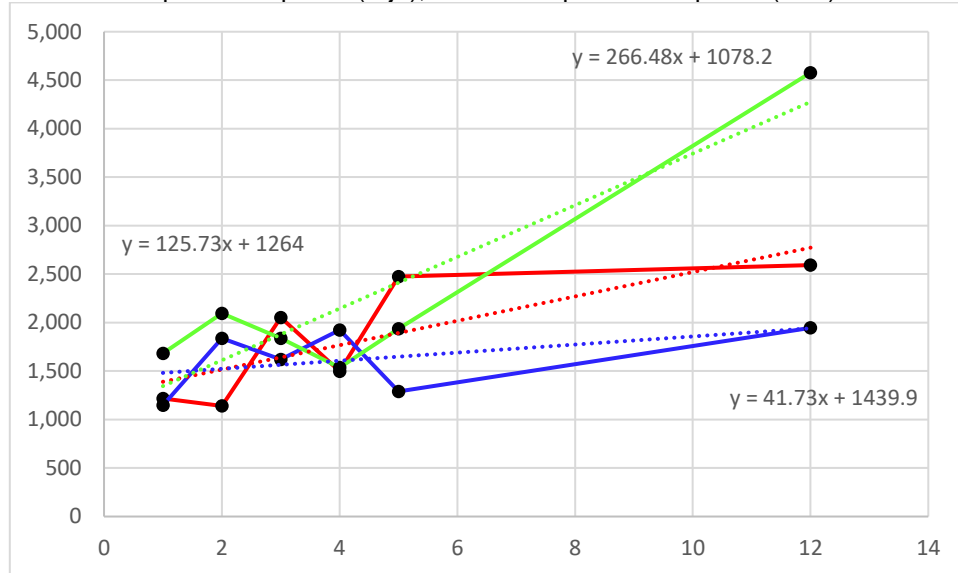


Fuente: Elaboración propia

Es importante estudiar la relación entre resistencia acústica y la combinación concreto hidráulico más neopreno, con el fin de observar la diferencia de intensidad de la señal.

En la Figura 86, se observa como dicha relación disminuye cuando se coloca neopreno a la muestra, siendo consecuente el análisis realizado con la variable amplitud.

Figura 86. Relación entre resistencia acústica versus muestra de concreto hidráulico (verde), con una capa de neopreno (rojo), con dos capas de neopreno (azul).



Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos a las variables frecuencia y resistencia acústica, indican la relación de éstas con la longitud de la muestra y tipo de material, con ello su importancia en estudios de ingeniería inversa y desarrollo de equipos de chequeo de espesores y densidades de materiales en construcción de obras.

13.1. DISEÑO PROPUESTO

Teniendo en cuenta la respuesta al impacto sonoro, y los resultados del ensayo acústico, como son, variación de niveles de ruido y resistencia de los diferentes materiales, se propone diseños para pavimentos y recubrimientos de estructuras, donde se incluyan elementos y materiales con propiedades de disipación, absorción y transformación de energía acústica, con el objeto de reducir niveles de ruido y controlar vibraciones internas generando frecuencias estables.

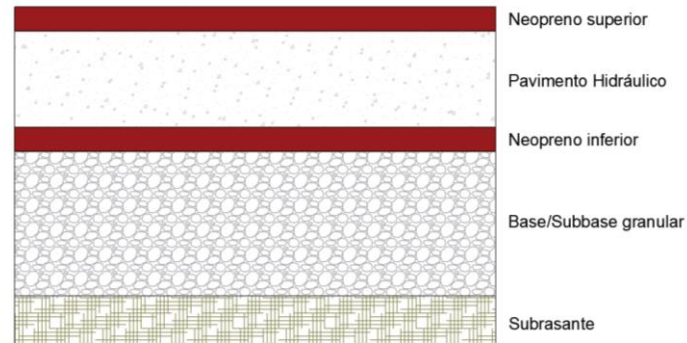
13.1.1. Diseño estructura de pavimento rígido con neopreno

El uso de neoprenos de alta densidad, en la estructura de pavimento, reduce el nivel de ruido derivado de la interacción neumático pavimento. Esta estructura principalmente es concebida para sectores urbanos con alta contaminación ambiental por ruido.

La Figura 87, representa una propuesta estructural de pavimento rígido incluyendo dos capas de neopreno, el cual debe tener propiedades especiales de densidad, resistencia

a esfuerzos, deformaciones, punzonamiento, abrasión y reacciones químicas, igualmente debe realizarse modelaciones de durabilidad y programación de mantenimiento.

Figura 87. Estructura de pavimento rígido con doble neopreno

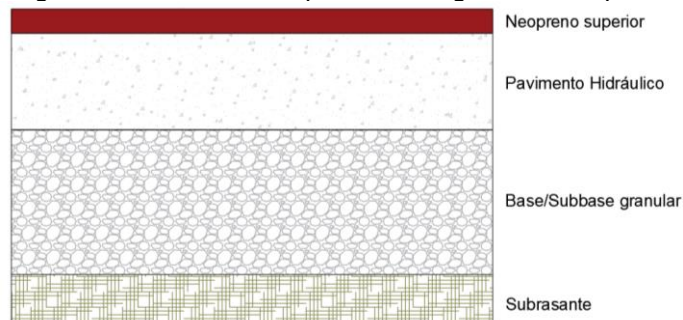


ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RIGIDO CON DOBLE NEOPRENO

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 88, se propone estructuralmente, el pavimento rígido con una capa de neopreno, las características de este material deben ser consideradas para el diseño. Igual al diseño anterior, se recomienda su aplicación en zonas de alta contaminación ambiental por ruido.

Figura 88. Estructura de pavimento rígido con neopreno



ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RIGIDO CON NEOPRENO

Fuente: Elaboración propia

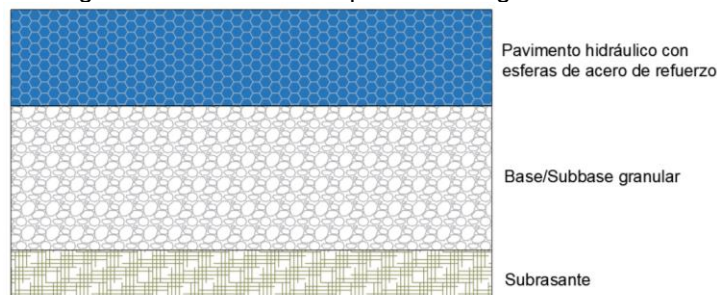
13.1.2. Diseño estructura de pavimento rígido reforzado

Al sustituir el agregado pétreo en la mezcla de concreto hidráulico, por esferas de acero al vacío o con polipropileno, mejora las condiciones de transmisión de señales acústicas.

Es posible controlar campos frecuenciales para beneficio de los usuarios viales, generando sonido con características apropiadas aptas para nuestro sistema auditivo.

En la Figura 89, se indica una propuesta estructural utilizando esferas de acero al vacío.

Figura 89. Estructura de pavimento rígido reforzado



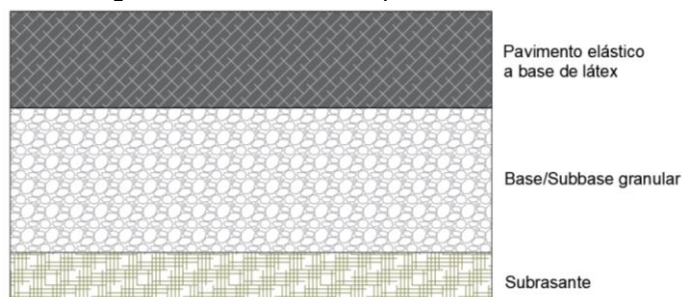
ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RIGIDO CON ACERO

Fuente: Elaboración propia

13.1.3. Diseño estructura de pavimento elástico

Al considerar el látex como elemento sustitutivo del agua en el concreto hidráulico, se observó la formación de una mezcla con propiedades elásticas, lo cual tiene beneficios desde lo acústico, como es la reducción de ruido, sin embargo como se identificó en análisis de resistencia en condiciones normales la estructura no es apropiada para uso en tráfico vehicular, recomendando realizar mayor investigación al material para lograr mayores capacidades en esta característica y obtener la estructura deseada. En la Figura 90, se indica la propuesta del pavimento elástico.

Figura 90. Estructura de pavimento elástico



ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ELÁSTICO

Fuente: Elaboración propia

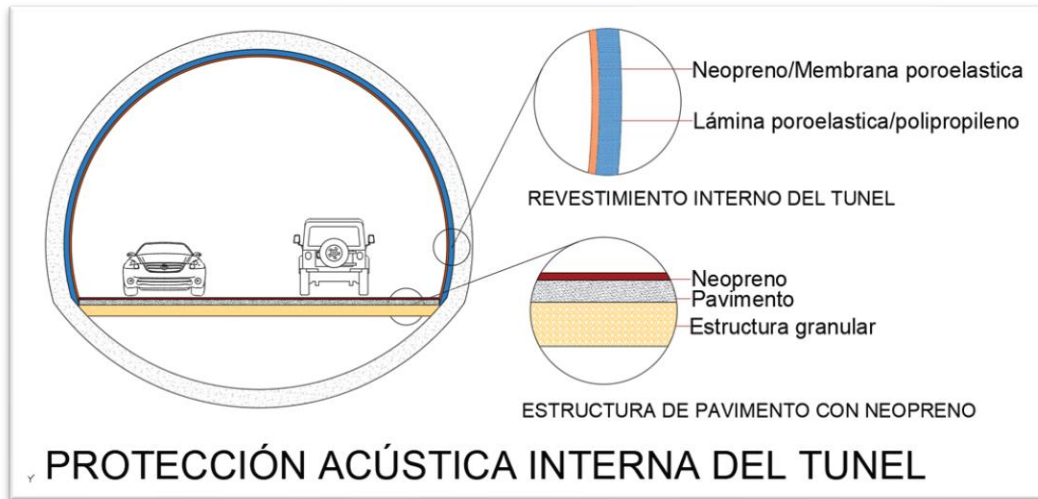
13.1.4. Recubrimiento estructural

Una aplicación importante identificada con el uso de neopreno como disipador de energía acústica, es utilizarlo como recubrimiento en paredes estructurales, lo cual permite atenuar, disipar y transformar las señales acústicas. La reducción de niveles de ruido está entre 10 y 15 dB, según el ensayo acústico realizado a concreto de 12 pulgadas, convirtiendo el uso de láminas de neopreno y elementos poroelásticos, en una alternativa óptima en túneles, soterrados, muros y pantallas estructurales.

En estructuras y recintos cerrados, la reducción del nivel de ruido depende de dos factores principales, primero el relacionado con el origen de la señal sonora, en carreteras, se genera en la interacción neumático-pavimento. El segundo aspecto, se

relaciona con la capacidad de la estructura en reflejar la señal, entendiéndose, como las paredes absorben o disipan el sonido. En el caso particular de un túnel donde se presentan las dos situaciones, es necesario analizar los materiales en la estructura de pavimento, al igual que las paredes estructurales, para lo cual es recomendable usar revestimientos capaces de controlar y reducir el nivel de decibeles. En la Figura 91, se observa la propuesta de revestimiento para túneles.

Figura 91. Protección acústica interna de túneles



Fuente: Elaboración propia

13.2. ANÁLISIS DE COSTOS

Comparando materiales de varias estructuras, se observa que las mezclas recomendadas para reducción de niveles de ruido son más costosas en referencia al concreto convencional. Sin embargo, la reducción de morbilidades en audición y problemas psicológicos causados por estrés auditivo genera un impacto positivo en calidad de vida y salud pública. En la Tabla 51, se observa los costos por m² de placa de concreto de 12 pulgadas utilizando diferentes materiales de reducción sonora.

Tabla 51. Costo m² de estructuras de pavimento con reducción acústica

COSTO M2 ESTRUCTURA PAVIMENTO E:12"								
ESTRUCTURA	MATERIALES							COSTO
	CEMENTO Kg	ARENA M3	TRITURADO M3	AGUALt	NEOPRENO M2	ESFERA ACERO UN	LATEX Lt	
	520	67500	78750	50	80000	100	5000	
Concreto hidráulico	126.0	0.2	0.2	60.0				97,916.25
Concreto látex	126.0	0.2	0.2				80.0	494,770.00
Concreto neopreno 1	126.0	0.2	0.2	60.0	1.0			177,770.00
Concreto neopreno 2	126.0	0.2	0.2	60.0	2.0			257,770.00
Concreto acero y polipropileno	150.0	0.2	0.1	60.0		1,800.0		282,375.00

Fuente: Elaboración propia

14. CONCLUSIONES

El comportamiento acústico, como respuesta de los materiales granulares, define características a mejorar, para realizar diseños acústicos optimizados, ambiental y armónicamente. Al encontrar gráficamente cómo el tamaño, el acomodamiento, la densidad, los vacíos y la geometría de los materiales, juegan un papel fundamental en la reducción de niveles de ruido en las carreteras, es muy importante avanzar en el estudio acústico y diseñar geoméricamente las estructuras granulares obteniendo entornos acústicamente armónicos y agradables al oído.

La comparación de materiales mezclados con otros capaces de absorber ruido, evidencia que es posible reducir el ruido en carreteras. Los materiales sintéticos, fabricados exclusivamente para absorber sonido dentro de estructuras granulares, puede ser la combinación deseada para controlar niveles de ruido.

Según el análisis comparativo de frecuencias obtenidas en los ensayos acústicos, se observa la relación directa entre frecuencia, duración del evento y altura de la muestra, por consiguiente, es factible conseguir por medio de ensayo acústico propiedades y características de materiales en servicio, evitando ensayos destructivos, tal como densidad, resistencia, dureza, espesor. Siendo este procedimiento la base para fabricación de dispositivos electrónicos que ofrezcan estas cualidades.

El diseño de mezclas para construcción representa un gran campo en la investigación de materiales, especialmente el análisis con diferentes materiales, obteniendo nuevas características y cualidades en beneficio de la salud, el ambiente, el bienestar y la convivencia.

El reemplazo del agua en la mezcla de concreto por soluciones acuosas con propiedades elásticas como el látex y otros sintéticos, posibilitan la formación de mezclas con características especiales, como absorción de ruido. Sin embargo, debe considerarse estudiar como aumentar resistencia y reducción de desgaste de las mezclas.

El estudio y diseño de agregados, definidos en su geometría y control de niveles de ruido, dan origen a nuevos conceptos en la construcción de pavimentos y estructuras viales. Centros o sectores urbanos con altos niveles de contaminación por ruido, podrán ser intervenidos con la implementación de estos nuevos conceptos, beneficiando a la población afectada. En carretera el control en la generación de frecuencias beneficiará al construir vías teniendo en cuenta el diseño acústico de materiales, variable que aportará una solución para tramos con alta accidentabilidad por somnolencia.

Desde la ingeniería de vías, el aporte a la reducción de niveles de ruido en la interacción neumático – pavimento es factible con el estudio y diseño de mezclas y materiales, sin embargo este es solo una parte para la solución completa del problema, la gran parte está en la cadena de producción de vehículos a combustión y como los gobiernos deben proponer un cambio definitivo al uso de energías renovables, desarrollo en planeación urbana, cumplimiento de legislación en tema acústico para el uso de motores por

combustión, regulación de dB en fabricación de motores para vehículos, peatonalización de zonas urbanas, entre otros.

Los ensayos realizados a mezclas con látex natural ofrecen características importantes para el correcto entendimiento del comportamiento acústico en mezclas de concreto. Demostrando que los materiales elásticos, permiten desarrollar condiciones que optimizan las características físicas para disipar y reducir niveles de ruido, no solo en pavimentos, también en estructuras viales donde es necesario el control del ruido.

La selección geométrica de agregados en la mezcla es muy importante tanto en la reducción como en la transformación del ruido, mientras las diferentes formas permiten dirigir y controlar la señal acústica y transmitirla obteniendo frecuencias, calculadas previamente, con fines de diseño acústico vial.

Una de las aplicaciones encontradas a través de este trabajo investigativo, es determinar por medio de ensayo acústico, características como densidad, dureza, espesor, las cuales se obtienen al analizar la señal acústica. Este principio es un gran aporte para el desarrollo de instrumentación de monitoreo y medición de elementos estructurales y materiales de construcción.

Un aporte importante para reducir niveles de ruido en materiales es el uso de recubrimientos con neoprenos, en paredes y pantallas estructurales, tal es el caso de muros, soterrados y túneles viales. La conformación de paneles adheridos a estructuras móviles o desmontables, que permitan no solo realizar la disipación y absorción acústica, también dar manejo y control para mantenimiento tanto de la estructura como las membranas de neopreno.

El uso de variables acústicas es un concepto, que, aunque no es valorado actualmente en los modelos de diseño de pavimentos en carreteras, considero debe ser incorporado dentro de las especificaciones de diseño para desarrollo de pavimentos, ya que con este requerimiento se reducen niveles de ruido, principalmente en centros urbanos donde existe afectación en diferentes aspectos de salud, originados por contaminación sonora. Esta nueva variable debería considerarse en manuales técnicos de entidades estatales, aportando en la disminución de niveles de ruido.

15. RECOMENDACIONES

El análisis realizado combinando materiales, particularmente los desarrollados con neoprenos, indican como estos, reducen significativamente los niveles sonoros, siendo una opción para trabajar y diseñar estructuras de pavimento utilizando recubrimientos a base de neopreno. Desde este concepto, es recomendable profundizar en estudios, a materiales que aporten propiedades como porosidad, elasticidad, transmisión, y resistencia, que permitan disipar y/o absorber ruido.

El desarrollo de ensayos con sonómetro en este trabajo permite cuestionar las lecturas del equipo, ya que en varias pruebas donde se utilizó el UNIT-35, se observó que al trabajar con un sensor que indica los niveles de presión en dB, la interpretación de la información generada puede variar según las variables relacionadas. Es decir, el sensor reacciona bajo presión de impacto, sin discriminar si es producida por energía acústica, energía eólica, u otro tipo. Cuando se utiliza sonómetros que no diferencian el tipo de presión, inducen al error, en la interpretación de los datos obtenidos. Al realizar el ejercicio a un evento sonoro, éste reporta en pantalla el número de dB producto de presión sonora, sin embargo, el sonómetro también indica dB derivados de presión producida no necesariamente de una fuente acústica, únicamente se debe generar presión de una fuente diferente y se consigue obtener valores en dB. Esta observación se realiza con el fin de identificar y seleccionar con precisión los equipos utilizados en las investigaciones acústicas.

Como profundización del estudio, se recomienda el análisis de variables acústicas dentro de recintos cerrados simulando estructuras viales como túneles. El modelo a configurar debe evaluar las condiciones de absorción, disipación y transformación de señales sonoras en su origen (interacción neumático – pavimento), como la capacidad de reflexión, absorción y transformación de las paredes de la estructura en análisis.

16. REFERENCIAS



- Alfie, C. M. & Salinas, C. O. (2015), Ruido en la ciudad. Contaminación auditiva y ciudad caminable. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 32 (1) (94), 65-96. <https://estudiosdemograficosyurbanos.colmex.mx/index.php/edu/article/view/1613/pdf>.
- António, J. (2011). 11 - Acoustic behaviour of fibrous materials. En Figueiro R. (Ed.). *Fibrous and Composite Materials for Civil Engineering Applications*. (pp.306-324). Woodhead Publishing. doi:<https://doi-org.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/10.1533/9780857095583.3.306>.
- Arriaga, M. (1993). Pavimentos con bases en mezclas porosas. Gobierno de México.
- Bérengrier, M., Pallas, M-A., Kennedy, J., Morgan, P., Gasparoni, S. & Reinhard, W. (2014). Noise emission levels for electric and hybrid vehicles – First results of FOREVER project. Transport Research Arena. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01032049>.
- Bronzaft, A. L. (2002). Noise pollution: A hazard to physical and mental well-being. En R. Bechtel and A. Churchman (eds.). *HandBook of Environmental Psychology*. John Wiley & Sons.
- Cahan, D. (1993). Hermann Von Helmholtz and the Foundations of Nineteenth-Century Science. University of California Press.
- Chisholm, H. (ed.) (1911). *Encyclopedia Britannica. A Dictionary of Arts, Sciences, Literature, and General information (en inglés) (11.edición)*. Encyclopædia Britannica, Inc.
- Gandía, S. (2003). Curso de contaminación acústica. Facultad de Física, Dpto. de Termodinámica. Universidad de Valencia. <http://www.uv.es/~segarra/docencia/apuntes%20contam%20sonora/Cont%20Ac%3st%2003-04t.pdf>.
- González, J.A., Serralda C. G., Morcillo M. A. & Hernandez M^a J. (2008). Propiedades acústicas intrínsecas de los asfaltos porosos: porosidad, tortuosidad y resistividad al flujo estatico de aire. Diseño óptimo de un asfalto. Universidade de Coimbra. <http://www.sea-acustica.es/fileadmin/Coimbra08/id063.pdf>
- Instituto Nacional de Vías [INVIAS] (2018). Especificaciones generales de construcción de carreteras y normas de ensayo para materiales de carreteras. INVIAS.
- Lawrence E. K. Austin R. F. Alan B. C. & James V. S. (1999). *Fundamentos de acústica*. Editorial Limusa.
- Leibniz, G. W. (2011). Estudio introductorio de Javier Echeverría. Editorial Gredos.

- Liu, P. S. & Chen, G. F. (2014). Chapter one. General introduction to porous materials. en Liu P. S. Chen G. F. (Eds.). Porous materials. (1-20). Butterworth-Heinemann. doi:<https://doi-org.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/10.1016/B978-0-12-407788-1.00001-0>
- López Barrio, I. & Herranz, K. (2010). Factores físicos medioambientales. En, Aragonés, J. I. & Américo, M. (coords.). Psicología Ambiental. (4ª Edición). Pirámide.
- Manfred, H. (2011). Investigación y clasificación de pavimentos silenciosos de hormigón. Revista Técnica de la Asociación Española de la Carretera, (176).
- Miraya F. (2001). Aspectos legales de la lucha contra el ruido y pautas para su mejoramiento. Facultad de Ciencias exactas, Ingeniería y Agrimensura. <https://www.fceia.unr.edu.ar/acustica/biblio/legales.htm>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos [OCDE] (2012). Pedestrian safety, urban space and health. Reporte de investigación, París, Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos.
- Osman, 2010, Ruido y salud. Guías profesionales, Andalucía, Observatorio de Salud y Medio Ambiente de Andalucía.
- O'Connor, J. J., Robertson, E. F., (2003). The MacTutor History of Mathematics archive. Universidad de Saint Andrews.
- Peng, L. (2017). 13 - Sound absorption and insulation functional composites. En Fan M., Fu F. (Eds.). Advanced High Strength Natural Fibre Composites in Construction. (pp 336-373). Woodhead Publishing. doi:<https://doi-org.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/10.1016/B978-0-08-100411-1.00013-3>
- Ramírez González, A. & Domínguez Calle, E. A. (2011). El ruido vehicular urbano: problemática agobiante de los países en vías de desarrollo. Revista Academia Colombiana de Ciencias, XXXV(137), 510-518. <https://xdoc.mx/preview/9-2-el-ruido-okp65-5d1d0c0d65e19>
- Recio, A., Carmona, R., Linares, C., Ortiz, C., Banegas, J.R. & Díaz, J. (2016). Efectos del ruido urbano sobre la salud: estudios de análisis de series temporales realizados en Madrid. Instituto de Salud Carlos III, Escuela Nacional de Sanidad.
- SandBerg, U. (2012). Adding noise to quiet electric and hybrid vehicles: an electric issue, Acoustics Australia, 40(3). https://www.researchgate.net/publication/281168688_Adding_noise_to_quiet_electric_and_hybrid_vehicles_An_electric_issue.
- Schafer, R. M. (2013). El paisaje sonoro y la afinación del mundo. Intermedio Editores.

- Sociedad Española de Acústica [SEA] (2016). EuroRegio/Tecniacústica 2016. Sociedad Española de Acústica. sea-acustica.es/index.php?id=723
- Triches, G. (2018). El ruido en las carreteras y la construcción de revestimientos silenciosos. Consejo Nacional de Desarrollo Tecnológico. Volvo.
- Volvo (2018, 7 de marzo). El ruido en las carreteras y la construcción de revestimientos silenciosos. Volvo. <https://www.roadexpertsia.com/es/noticias/detalhes/el-ruido-en-las-carreteras-y-la-construccion-de-revestimientos-silenciosos>.
- Wang, H., Gao, H., & Cai, M. (2019). Simulation of traffic noise both indoors and outdoors based on an integrated geometric acoustics method. *Building and Environment*, 160(106201). doi:<https://doi-org.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/10.1016/j.buildenv.2019.106201>
- Wójcik, J., & Gambin, B. (2017). Theoretical and numerical aspects of nonlinear reflection–transmission phenomena in acoustic. *Applied Mathematical Modelling*, 46, 771-784. doi:<https://doi-org.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/10.1016/j.apm.2016.10.026>
- Yamaha Corporation (2005). U.R.G., Pro Audio & Digital Musical Instrument Division, Manual AW1600. Yamaha Corporation https://uk.yamaha.com/files/download/other_assets/3/334123/aw1600_es_om.pdf

17. ANEXOS

17.1. FICHA TÉCNICA ASFALTO

FICHA TECNICA

Descripción

EZ Street es una mezcla fabricada en caliente, empacada y de aplicación en frío para reparaciones permanentes.

Usos Primarios

- Parqueo y Bacheo
- Redes de servicios Públicos
- Pistas de Aeropuertos
- Autopistas
- Entrada de Vehículos
- Parqueaderos
- Campos deportivos
- Ciclo rutas
- Microzanjados

Ventajas

- Garantizado para reparaciones permanentes
- Listo para usar, no necesita mezclar
- No requiere imprimación ni calentar.
- Se puede aplicar inclusive sobre el agua.
- Trabaja en todas las temperaturas y condiciones climáticas.
- De fácil uso, manejo y limpieza.
- Inmediato al tráfico
- Amigable al medio ambiente
- Aumento en la eficiencia y productividad.
- Disponible 365 días /7-24
- No es más duro que el concreto es más durable.

Empaque

Bolsas de 22.6 Kg y/o Granel

Cubrimiento

22.6 Kg cubre 0.50m² a 2.50 cms de espesor.

Componentes

Grava triturada de 3/8, arena producto de la trituración, asfalto líquido AC 60-70, Aditivo EZ STREET con polímeros y reactivo, No contiene emulsiones

Riesgos para la salud y manejo del producto

NTC 4702 - N/A (No es peligroso)
NTC 4435 - ver hoja de seguridad MSDS

Propiedades Típicas

Test	Método	Especificación
Extracción	ASTM D 2172	0.5%
Gradación	AASHTO T-30	Tolerancia con EZ STREET
Resistencia al Agua	AASHTO 182 Modificado	+ 95%
Afuera o Bodega	Visual	1 año

Normas INVIAS:

INV E 218 INV E 230 INV 133
INV E 220 INV E 125 EN 933-9
INV E 227 INV E 126

Norma IDU: Mezclas asfálticas almacenadas al vacío, septiembre 2009 - No 3649

Preparación:

Limpiar el área y remover todo el escombrosuelto, como concreto, ladrillos, arcillas o cualquier material extraño que pueda dañar la aplicación

Aplicación

Aplique EZ STREET en el área que va a reparar. Compacte con un apisonador o plato Compactador, dejando un 25% más alto del nivel del pavimento existente. Para aplicaciones mayores de 10 cm de profundidad aplique EZ STREET en capas de 5cm compactando cada capa.

Limitaciones


No agregar agua, petróleo o rendir con otro material.

Almacenaje

Durante un año después de su fabricación.

Peso Especifico

1.6 Tons x Mt 3



Contáctenos para mayor información:
Planta Cali: Km 4, antigua vía Cali - Yumbo
PBX. (57+2) 695 91 91 / 315 859 42 75
www.asfaltoezstreet.com / www.cachibi.com.co

17.2. FICHA TÉCNICA GRAVA

Ficha Técnica. Versión 1. Septiembre 2017.

GRAVA

Peña Sedimentaria



CONÓCELA:

Agregado Grueso, con múltiples posibilidades de uso y soluciones a la medida en la industria de la construcción, su clasificación por tamaño está definida entre 4.8 mm y 38 mm.



USOS:

Concretos.	Mezclas asfálticas.	Bases para adoquines.	Prefabricados.
Llenos y filtros.	Pavimentación de carreteras.	Balasto para líneas ferroviarias.	



RECOMENDACIONES

- Evitar que el material permanezca mucho tiempo almacenado ya que los factores climáticos pueden alterar sus condiciones. Recomendable utilizar el sistema Primero en Entrar Primero en Salir.
- Almacenar el material en un lugar cubierto para que no sea afectado por lluvias u otros agentes externos; o en su defecto cubrir con algún elemento protector, de tal forma que se impida el arrastre de los mismos por acción del viento o de la lluvia.
- El lugar destinado para el almacenamiento de los agregados se debe diseñar para que los vehículos que circulen por la zona no contaminen el material ni lo fracturen.
- Evitar hacer pilas mayores de 4 metros de alto porque esto produce segregación en los materiales.
- Lavado de llantas de la maquinaria móvil para evitar la contaminación de los agregados.
- Los últimos quince centímetros (15 cm) de cada acopio que se encuentran en contacto con el terreno no deberán ser utilizados, a menos que se haya colocado sobre éste, una superficie que prevenga la contaminación del material.
- Se debe diseñar un sistema de drenaje para que permita evacuar el agua libre del material.

Argos. Luz Verde.





ENTÉRATE DE SUS BENEFICIOS:

Alternativas para optimización de mezclas de concreto.

Rangos de especificaciones controladas que permiten un control y optimización de los procesos productivos.

Geología caracterizada para mezclas especializadas.

Posibilidad de ajustes de materiales hechos a la medida del cliente.



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:

CARACTERÍSTICA	LÍMITES DE COMPORTAMIENTO		
	INFERIOR	SUPERIOR	PROMEDIO
Densidad (kg/m ³)	2276	2327	2302
Absorción (%)	3,9	4,8	4,3
PT 200 (%)	0,1	1,6	0,8
Desgaste (%)	28	45	37
Caras Fracturadas (Dos Caras) (%)	84	100	92

▪ Disponible en el departamento de Cundinamarca



MÁS VALOR PARA TI:

Acompañamiento técnico con experto para soporte al desempeño del producto.

Materias primas extraídas y procesadas con los más altos estándares de calidad.

Implementación de las mejores prácticas de minería responsable.

Generación de informes de calidad de manera periódica.



CONTÁCTANOS:

- Si deseas más información acerca de este producto contáctate con la **Línea de Servicio 01 8000 527 467** o marcando desde tu celular **#250 - Opción 5**.
- En caso de requerir asesoría sobre este producto, puedes escribir al correo **agregados@argos.com.co**

17.3. FICHA TÉCNICA ARENA

Ficha Técnica. Versión 1. Septiembre 2017.

ARENA

Depósito Aluvial



CONÓCELA:

Conjunto de fragmentos sueltos de rocas o minerales, su clasificación por tamaño está definida entre 0.074 mm y 4,75 mm, permitiendo múltiples posibilidades de uso y soluciones a la medida en la industria de la construcción.

Disponible en el departamento de Boyacá.



USOS:

Morteros
■ Pega
■ Pañete
■ Revoque
■ Grouts

Concretos.

Mezclas
asfálticas.

Bases para
adoquines.

Prefabricados.



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:

CARACTERÍSTICA	LÍMITES DE COMPORTAMIENTO		
	INFERIOR	SUPERIOR	PROMEDIO
Densidad (kg/m ³)	2574	2605	2586
Absorción (%)	1,0	2,0	1,5
PT 200 (%)	3,0	5,0	4,0
Equivalente de Arena (%)	60	70	65
Módulo de finura*	2,7	3,2	2,9

* Arenas Intermedias a Gruesas, usos: Concretos, prefabricados y Granulares para vías.

RANGOS Módulos de Finura:

Arenas Intermedias-Gruesas: $2,7 < MF < 3,1$

Arenas Gruesas: $MF > 3,1$

Argos. Luz Verde.





RECOMENDACIONES

- Evitar que el material permanezca mucho tiempo almacenado ya que los factores climáticos pueden alterar sus condiciones. Recomendable utilizar el sistema Primero en Entrar Primero en Salir.
- Almacenar el material en un lugar cubierto para que no sea afectado por lluvias u otros agentes externos; o en su defecto cubrir con algún elemento protector, de tal forma que se impida el arrastre de los mismos por acción del viento o de la lluvia.
- El lugar destinado para el almacenamiento de los agregados se debe diseñar para que los vehículos que circulen por la zona no contaminen el material ni lo fracturen.
- Evitar hacer pilas mayores de 4 metros de alto porque esto produce segregación en los materiales.
- Lavado de llantas de la maquinaria móvil para evitar la contaminación de los agregados.
- Los últimos quince centímetros (15 cm) de cada acopio que se encuentran en contacto con el terreno no deberán ser utilizados, a menos que se haya colocado sobre éste, una superficie que prevenga la contaminación del material.
- Se debe diseñar un sistema de drenaje para que permita evacuar el agua libre del material.



ENTÉRATE DE LOS BENEFICIOS DEL PRODUCTO:

Alternativas para optimización de mezclas de concreto.

Rangos de especificaciones controladas que permiten un control y optimización de los procesos productivos.

Geología caracterizada para mezclas especializadas.

Posibilidad de ajustes de materiales hechos a la medida del cliente.



MÁS VALOR PARA TI CON AGREGADOS ARGOS:

Acompañamiento técnico con experto para soporte al desempeño del producto.

Materias primas extraídas y procesadas con los más altos estándares de calidad.

Implementación de las mejores prácticas de minería responsable.

Generación de informes de calidad de manera periódica.



CONTÁCTANOS:

- Si deseas más información acerca de este producto o realizar una solicitud de pedido contáctate con la **Línea de Servicio 01 8000 527 467**, marcando desde tu celular **#250 - Opción 5** o escribiendo al correo **agregados@argos.com.co**

Argos. Luz Verde.



17.4. CARACTERIZACIÓN BASE GRANULAR

REV. No. 0 01-12-2018 CCANG-FOM24	CONSORCIO CONSTRUCTOR AUTOVÍA NEIVA GIRARDOT		CONSORCIO CONSTRUCTOR ANG					
UNIDAD FUNCIONAL: 2			Consecutivo: CCANG-FOM24 -17	EQUIPO UTILIZADO EN EL ENSAYO				
NORMA DE ENSAYO QUE APLICA: FMAS E-236-2013			Código Serie:	Fecha última verificación: 14/02/2019				
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL: Base Granular estabilizada con cemento			Descripción: tamiz de selección de alargamiento					
PROCEDENCIA: Acopio Planta Aipe			Descripción: tamiz de selección aplanamiento					
MUESTRA No.: 576	FECHA MUESTRA: 12-08-2019							
ENSAYO No.: 27	FECHA ENSAYO: 12-08-2019							
LOCALIZACIÓN: 20K40+900 K40+100K40+300K40+500K40+600 K40+300K40+450K40+								
TRAMO: K34+820K35+180 K35+100K36+300 K40+730K40+880 K40+100K42+300 K40+500K40+650 K40+300K42+800 K43+00K45+100 K39+600K40+000								
PARTÍCULAS APLANADAS								
Tamiz				Masa muestra inicial (g)	Masa partículas planas (g)	Partículas planas (%) (A)	Retenido gradación original (%) (B)	Partículas planas promedio
Pasa	Retiene							
2 1/2"	63.5 mm	2"	50.8 mm					
2"	50.8 mm	1 1/2"	38.1 mm					
1 1/2"	38.1 mm	1"	25.4 mm	1500	40,37	2,7	1,13	3,0
1"	25.4 mm	3/4"	19.05 mm	2000	38,0	1,9	0,7	1,3
3/4"	19.05 mm	1/2"	12.7 mm	1000	269,1	26,9	18,2	489,8
1/2"	12.7 mm	3/8"	9.52 mm	500	112,6	22,5	10,5	236,5
3/8"	9.52 mm	1/4"	6.35 mm	300	68,7	22,9	11,36	260,1
TOTALES				5300	528,77	76,9	41,89	990,7
INDICE DE APLANAMIENTO = $\Sigma C / \Sigma B$						23,7	%	
PARTÍCULAS ALARGADAS								
Tamiz				Masa muestra inicial (g)	Masa partículas largas (g)	Partículas largas (%) (A)	Retenido gradación original (%) (B)	Partículas planas promedio (C)
Pasa	Retenido							
2 1/2"	63.5 mm	2"	50.8 mm					
2"	50.8 mm	1 1/2"	38.1 mm					
1 1/2"	38.1 mm	1"	25.4 mm	1500	48	3,2	1,1	3,6
1"	25.4 mm	3/4"	19.05 mm	2000	101	5,1	0,7	3,5
3/4"	19.05 mm	1/2"	12.7 mm	1000	73,2	7,3	18,2	133,2
1/2"	12.7 mm	3/8"	9.52 mm	500	114,7	22,9	10,5	240,9
3/8"	9.52 mm	1/4"	6.35 mm	300	78,2	26,1	11,4	296,1
TOTALES				5300	415,1	64,6	41,9	677,4
INDICE DE ALARGAMIENTO = $\Sigma C / \Sigma B$						16,2	%	
OBSERVACIONES:								
Cumple características para base granular según tabla 330-2 de ART. 330 INVIAS 13								
	ELABORÓ			SUPERVISOR DE LABORATORIO			RESIDENTE DE CONTROL DE CALIDAD	
PRIMA								
NOMBRE	EIDER JIMENEZ			CAMILO RAMON			FABIAN LOMBANA	

REV. No. 0 01/12/2016 CCANG-FGM-22	CONSORCIO CONSTRUCTOR AUTOVÍA NEIVA GIRARDOT CONTENIDO DE VACÍOS EN AGREGADOS FINOS NO COMPACTADOS	
--	---	---


UNIDAD FUNCIONAL:	UNF 2	Consecutivo:	CCANG-FGM-22 -26	EQUIPO UTILIZADO EN EL ENSAYO		
NORMA DE ENSAYO QUE APLICA:	INV E-239-13			Código / Serie	Descripción	Fecha última verificación.
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL:	Base Granular estabilizada con cemento Acopio Planta Aipe			B449317040	BALANZA 4 Kg	14/02/2019
PROCEDENCIA	Planta Aipe	CÓDIGO:	0		PITNOMETROS 500 ML	14/02/2019
MUESTRA No:	576	FECHA MUESTRA:	12/08/2019		TAMIZ #4	14/02/2019
ENSAYO No:	26	FECHA ENSAYO:	12/08/2019		TAMIZ #8	14/02/2019
LOCALIZACIÓN:	Base Granular estabilizada con cemento Acopio Planta Aipe				TAMIZ #30	14/02/2019
TRAMO:	<small>K34-100K35-100 K35-100K35-500 K40-100K40-500 K40-100K40-300 K40-100K40-600 K40-100K40-450 K40-100K40-100 K30-100K40-000 K50-100K50-300</small>				TAMIZ #50	14/02/2019
				20516100879	TERMOMETRO bi_metalico	14/02/2019

MÉTODO A		
PRUEBA	1	2
Volumen cilindro (cm3)	98,7	98,7
Peso cilindro con material (gr)	393,9	394,2
Peso cilindro vacío (gr)	274,2	274,2
Peso material en el cilindro (gr)	119,7	120
Gravedad específica fracción fina	2,680	2,680
Vacios en fracción fina sin compactar (%)	54,75	54,63
Vacios promedio en fracción fina sin compactar (%)	54,69	
Mínimo (%) requerido según Art. 330-13 INVIAS	35,00	

Observaciones:

Cumple características para base granular según tabla 330-2 del ART. 330 INVIAS 13

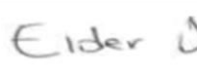

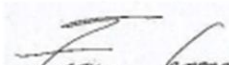
	ELABORÓ	SUPERVISOR DE LABORATORIO	RESIDENTE DE CONTROL DE CALIDAD
Firma:			
Nombre:	EIDER JIMENEZ	CAMILO RAMON	FABIAN LOMBANA

REV. No. 0 1/12/2018 CCANG-FGM-16		CONSORCIO CONSTRUCTOR AUTOVÍA NEIVA GIRARDOT				
		PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS				
UNIDAD FUNCIONAL:	UF2	Consecutivo:	CCANG-FGM-16 -22	EQUIPO UTILIZADO EN EL ENSAYO		
NORMA DE ENSAYO QUE APLICA:			I.N.V.E.227 - 13	Código	Descripción	Fecha última verificación / calibración
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL:	Gravilla estabilizada con cemento Planta			8337282737	BASCULA 15000 g	14/02/2019
PROCEDENCIA:	Planta Aipe	CÓDIGO:	0		selector de caras fracturadas	14/02/2019
MUESTRA No.:	576	FECHA MUESTRA:	12/08/2019			
ENSAYO No.:	22	FECHA ENSAYO:	12/08/2019			
LOCALIZACIÓN:	K54+800K55+100 K55+100K55+500 K40+700K40+900 K40+100K40+300 K40+500K40+600 K40+300K40+450 K40+00K40+100 K39+800K40+000					

FRACCIÓN GRANULOMÉTRICA		A	B	C	D	P
Pasa Tamiz	Retiene Tamiz	Peso de la muestra (gr)	Peso partículas con una cara fracturada (gr)	Peso partículas cuestionables o frontera (gr)	Peso partículas sin caras fracturadas (gr)	Caras fracturadas (%)
1 1/2"	1"	0,0	0,0	0,0	0,0	
1"	3/4"	1.500,0	1.500,0	0,0	0,0	100,0
3/4"	1/2"	1.000,0	1.000,0	0,0	0,0	100,0
1/2"	3/8"	500,9	500,9	0,0	0,0	100,0
TOTALES		3000,9	3000,9	0,0	0,0	
PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS (1)						100,0
$P = \frac{(B+C+D)}{(B+C+D)} * 100$						
% MÍNIMO DE LA ESPECIFICACIÓN						100
CUMPLE (SI / NO)						SI

FRACCIÓN GRANULOMÉTRICA		A	B	C	D	P
Pasa Tamiz	Retiene Tamiz	Peso de la muestra (gr)	Peso partículas con dos caras fracturadas (gr)	Peso partículas cuestionables o frontera (gr)	Peso partículas sin caras fracturadas (gr)	Caras fracturadas (%)
1 1/2"	1"	0,0	0,0	0,0	0,00	
1"	3/4"	1.500,0	1.301,0	199,0	0,00	93,4
3/4"	1/2"	1.000,0	878,7	121,3	0,00	93,9
1/2"	3/8"	500,9	414,3	86,6	0,00	91,4
TOTALES		3000,9	2594,0	406,9	0,0	
PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS (2)						93,2
$P = \frac{(B+C+D)}{(B+C+D)} * 100$						
% MÍNIMO DE LA ESPECIFICACIÓN						70
CUMPLE (SI / NO)						SI

OBSERVACIONES:	No cumple características para base granular según tabla 330-2 del ART. 330 INVIAS 13		

	ELABORÓ	SUPERVISOR DE LABORATORIO	RESIDENTE DE CONTROL DE CALIDAD
Firma:			
Nombre:	EIDER JIMENEZ	CAMILLO RAMON	FABIAN LOMBANA

REV. No. 0 01/12/2016 CCANG-FGM-18	CONSORCIO CONSTRUCTOR AUTOVÍA NEIVA GIRARDOT ABRASIÓN DE AGREGADOS EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES	
--	---	--

UNIDAD FUNCIONAL: UNF2	Consecutivo: UFI-CCANG-FGM-18 - 19	EQUIPO UTILIZADO EN EL ENSAYO		
NORMA DE ENSAYO QUE APLICA: I.N.V.E - 218 - 13	Código / Serie	Descripción	Fecha última verif. / calibrac.	
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL: Base granular estabilizada con cemento		MAQUINA DE LOS ANGELES	14/02/2019	
PROCEDENCIA: Planta Aipe	CÓDIGO: 0	BASCULA 15000 g	14/02/2019	
MUESTRA No.: 576	FECHA MUESTRA: 12/08/2019			
ENSAYO No.: 19	FECHA ENSAYO: 12/08/2019			
LOCALIZACIÓN: Planta Aipe				
TRAMO:	K54+800K55+100 K55+100K55+500 K40+700K40+900 K40+100K40+300 K40+500K40+600 K40+300K40+450 K40+00K40+100 K39+800K40+000			

PRUEBA No.	1	2	3
Gradación usada	B	b	
N° Esferas	11	11	
N° Revoluciones	500	100	
Pa=Peso muestra seca antes del ensayo (gr)	5000	5000	
Pb = Peso muestra seca después del ensayo y lavada sobre tamiz N° 12 (gr)	4036	4776	
Pérdida = Pa - Pb (gr)	964	224	
Desgaste (%)	19,3	4,5	
Especificación	(% menor de) CUMPLE (SI / No)	35,0 SI	7,0 SI

DATOS SOBRE GRADACIÓN, CARGA ABRASIVA Y REVOLUCIONES								
Tamaños		Peso y gradación de la muestra (gr)						
Pasa	Retenido	A	B	C	D	1	2	3
2-1/2"	2"					2500		
2"	1-1/2"					2500	5000	
1-1/2"	1"					5000	5000	5000
1"	3/4"	1250						5000
3/4"	1/2"	1250						
1/2"	3/8"	1250	2500					
3/8"	1/4"	1250	2500	2500				
1/4"	No. 4			2500				
No. 4	No. 8				5000			
Esferas		12	11	8	6	12	12	12
Revoluciones		500	500	500	500	1000	1000	1000

Observaciones: CUMPLE REQUISITOS PARA BASE GRANULAR SEGUN TABLA 330-2 ART. 330 INVIAS.

	ELABORÓ	SUPERVISOR DE LABORATORIO	RESIDENTE DE CONTROL DE CALIDAD
Firma:			
Nombre:	EIDER JIMENEZ	CAMILLO RAMON	FABIAN LOMBANA

REV. No. 0 1/12/2016 CCANG-FGM-11		CONSORCIO CONSTRUCTOR AUTOVÍA NEVA GIRARDOT			ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO		CONSORCIO CONSTRUCTOR ANG	
UNIDAD FUNCIONAL:	2	Consecutivo:	CCANG-FGM-11 -57		EQUIPO UTILIZADO EN EL ENSAYO			
NORMA DE ENSAYO QUE APLICA:	INV E-123-13 INV E-213-13		Código:		Descripción	Fecha última verificación / calibración		
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL:	Base Granular estabilizada con cemento			837280737	BASCULA 15000 g	14/02/2016		
PROCEDENCIA:		CÓDIGO:	0101/1900		TAMIZ 1 1/2"	14/02/2019		
MUESTRA No.:	575	FECHA MUESTRA:	12/08/2019		TAMIZ 1"	14/02/2019		
ENSAYO No.:	57	FECHA ENSAYO:	12/08/2019		TAMIZ 3/8"	14/02/2019		
LOCALIZACIÓN:	Base Granular estabilizada con cemento				TAMIZ Nº 4	14/02/2019		
TRAMO:	K54+800 -K54+100				TAMIZ Nº 10	14/02/2019		
					TAMIZ Nº 40	14/02/2019		
					TAMIZ Nº 200	14/02/2019		
PESO SECO INICIAL (gr):		7.482,30		PESO SECO DESPUÉS DE LAVADO (gr):		7.024,10		
TAMIZ		MASA RETENIDA (gr)	RETENIDO (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PASA (%)	ESPECIFICACIÓN PARTICULAR		
Pulgadas	mm					LÍMITE INFERIOR	LÍMITE SUPERIOR	
3"	76.20	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00	
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00	
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00	
1"	25.40	236.70	3.16	3.16	96.84	75.00	100.00	
3/4"	19.05	151.30	2.02	5.19	94.81	65.00	100.00	
3/8"	9.51	2.331.20	31.16	36.34	63.66	45.00	75.00	
Nº 4	4.76	1.270.20	16.98	53.32	46.68	30.00	60.00	
Nº 10	2.00	953.00	12.74	66.05	33.95	20.00	45.00	
Nº 40	0.425	1.501.00	20.06	86.12	13.88	10.00	30.00	
Nº 200	0.074	580.70	7.76	93.88	6.12	5.00	20.00	
Fondo		458.20	6.12	100.00				
TOTALES		7.482.30						
Grava (%):		53.32	Arena (%):		40.56	Pasa 200 (%):		6.12
LÍMITES DE CONSISTENCIA (%)			CLASIFICACIÓN U.S.C.	CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O.				
Límite Líquido	Límite Plástico	Índice plástico	GW - GM	A - 1 - a				
NL	NP	NP						
OBSERVACIONES:								
UF2								
ELABORÓ			SUPERVISOR DE LABORATORIO		RESIDENTE DE CONTROL DE CALIDAD			
Firma:	Eider J		CAMELO RAMON		FABIAN LOMBANA			
Nombre:	EIDER JIMENEZ		CAMELO RAMON		FABIAN LOMBANA			

REV. No. 0 1/12/2016 CCANG-FGM-12	CONSORCIO CONSTRUCTOR AUTOVIA NEVA GIRARDOT				
LÍMITES DE CONSISTENCIA					
UNIDAD FUNCIONAL:	2	CONSECUTIVO:	CCANG-FGM-12 -1	EQUIPO UTILIZADO EN EL ENSAYO	
NORMA DE ENSAYO QUE APLICA:	INVIAS 125 y 126-2013			Código	Descripción
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL:	Base Granular estabilizada con cemento			BS06598578	BALANZA 400 g Ohaus
PROCEDENCIA:	UFZ	CODIGO:			TAMIZ #200
MUESTRA No:	565	FECHA MUESTRA:	06-08-2019		FONDO TAMIZ
ENSAYO No:	44	FECHA ENSAYO:	06-08-2019		CASUELA CASA GRANDE
LOCALIZACION	Base Granular estabilizada con cemento				VIDRIO ESMERILADO
TRAMO:	K54-800-855+100				

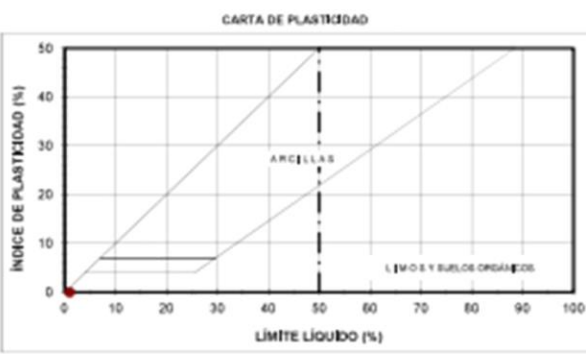
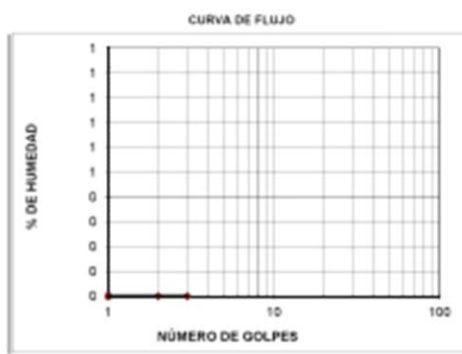
LÍMITE LÍQUIDO					
Número de golpes	-	-	-	-	NL
[1] Peso material húmedo + recipiente (g)	-	-	-	-	
[2] Peso material seco + recipiente (g)	-	-	-	-	
[3] Peso recipiente (g)	-	-	-	-	
Contenido de Humedad (%) $[(1-2)/(1-3)] * 100$	-	-	-	-	
LÍMITE PLÁSTICO					
[1] Peso material húmedo + recipiente (g)	-	-	-	-	NP
[2] Peso material seco + recipiente (g)	-	-	-	-	
[3] Peso recipiente (g)	-	-	-	-	
Contenido de Humedad (%) $[(1-2)/(1-3)] * 100$	-	-	-	-	

Clasificación IP (según tabla siguiente)

NP	No plástico
-----------	-------------

ÍNDICE DE PLASTICIDAD = **NP** **No plástico**
CLASIFICACIÓN FRACCIÓN FINA: **NL**

IP = 0 → No plástico
 1 ≤ IP ≤ 5 → Ligero plástico
 6 ≤ IP ≤ 15 → Plástico bajo
 16 ≤ IP ≤ 20 → Plástico medio
 21 ≤ IP ≤ 40 → Plástico alto



RESULTADOS	Valor max. Especific.	CUMPLE SI / NO
Límite Líquido (LL):	50	CUMPLE
Límite Plástico (LP):	20	CUMPLE
Índice Plasticidad (IP):	10	CUMPLE

OBSERVACIONES: Cumple características para base granular según tabla 330-2 del ART. 330 INVIAS 13

	ELABORÓ	SUPERVISOR DE LABORATORIO	RESIDENTE CONTROL DE CALIDAD
FIRMA			
NOMBRE	EIDER JIMENEZ	CAMILO RAMON	FABIAN LOMBANA

REV. No. 0 02/02/2017 CCANG-FGM-37	CONSORCIO CONSTRUCTOR AUTOVIA NEIVA GIRARDOT EQUIVALENTE DE ARENA Y AZUL DE METILENO	
--	---	---

UNIDAD FUNCIONAL: 3	Consecutivo: UF3-CCANG-FGM-37 -49	EQUIPO UTILIZADO EN EL ENSAYO		
NORMA DE ENSAYO QUE APLICA:	Código / Serie	Descripción	Fecha última verificación / calibrac.	
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL: Base granular estabilizada con cemento		Equipo equivalente de arena	14/02/2019	
PROCEDENCIA: Base granular estabilizada con cemento	CÓDIGO: 0			
MUESTRA No.: 575	FECHA MUESTRA: 12/08/2019			
ENSAYO No.: 49	FECHA ENSAYO: 12/08/2019			
LOCALIZACIÓN: Acopia Planta Alpe				
TRAMO	K54+800 -K55+100			

PRUEBA	1	2	3
LECTURA DE ARENA (mm)	84	84	82
LECTURA DE ARCILLA (mm)	178	159	162
EQUIVALENTE DE ARENA (%)	47,2	52,8	50,6
EQUIVALENTE DE ARENA PROMEDIO (%)	50,0		
Mínimo (%) requerido según Art. 330-13 INVIAS	30,0		
VALOR DEL AZUL DE METILENO			

Observaciones: Cumple características para base granular según tabla 330-2 del ART. 330 INVIAS 13

	ELABORÓ	SUPERVISOR DE LABORATORIO	RESIDENTE DE CONTROL DE CALIDAD
Firma:			
Nombre:	EIDER JIMENEZ	CAMILO RAMON	FABIAN LOMBANA

17.5. ENSAYO DE LABORATORIO CONCRETOS

INFORME DE ENSAYO
NTC 673-10
Referencia: SPP-PT-01-0114-929

INFORME DE ENSAYO
NTC 673-10
Referencia: SPP-PT-01-0114-929

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE ESPECIMENES CILINDRICOS DE CONCRETO

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE ESPECIMENES CILINDRICOS DE CONCRETO

PROYECTO: AGUSTICA DE MATERIALES PARA CARRERAS (TRABAJO DE GRADO MAESTRIA INFRAESTRUCTURA VIA)

CLIENTE: JOSE FRANCO ARCOS

DIRECCION: BL. 22 - AP 202 BRR NZA 11 - PASTO

CODIGO: 2644

FECHA RECEPCION DE MUESTRA (RM): 2021-02-24

OBSERVACIONES: Cilindros No. 8 - 16, no fallaron, se escribio en la carga maxima la carga con el maximo recorrido de la prensa

FECHA DE ENSAYO: 2021-02-25

ORDEN DE TRABAJO No.: 0038

INFORME DE ENSAYO No.: 0038-001

FECHA EMISION DE INFORME: 2021-01-03

PRENSA: PRC-22

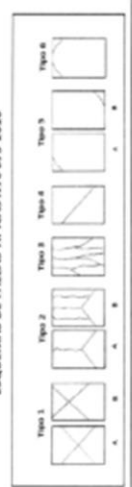
Calibrador No.: 06

Fisometro No.: 01

DEFECTOS: D: Desgastado N: Destruido P: Perse F: Fracturado E: Escame de agregado C: Contaminado A: Faltó la adherencia

CILINDRO No.	FECHA DE TOMA	EDAD (Dias)	ROTURA	DIAMETRO (mm)	LONGITUD (mm)	LONGITUD (mm)	AREA (mm ²)	CARGA MAX. (kgf)	CARGA MAX. (MN)	RESET. DUREZA (kgf/cm ²)	MASA COMPRISION (g)	RESISTENCIA COMPRESION (MPa)	RESISTENCIA COMPRESION (MPa)	TIPO DE FALLA	PORCENTAJE DE RESISTENCIA %	DENSIDAD (M/m ³)	LOCALIZACION	DEFECTOS
1	2020-12-11	77	2021-02-26	15,30	303,67	303,67	183,9	854,037	8,54	-	12792	47,4	46,42	1A	-	2,291	CONCRETO F COMENTO, ARENA, TRITURADO, AGUA	P
2	2020-12-11	77	2021-02-26	15,03	305,33	305,33	177,5	813,5	8,13	-	9090	47	4,51	3	-	1,677	CONCRETO F COMENTO, ARENA, TRITURADO, AGUA	P
3	2020-12-11	77	2021-02-26	15,27	305,00	305,00	183,1	7567	7,56	-	8724	41	4,01	3	-	1,563	CONCRETO F COMENTO, ARENA, TRITURADO, AGUA	P
4	2020-11-29	89	2021-02-26	15,03	305,33	305,33	177,5	9385,1	9,38	-	8775	53	5,13	3	-	1,619	CONCRETO F COMENTO, ARENA, TRITURADO, AGUA	P
5	2020-12-11	77	2021-02-26	15,03	305,33	305,33	177,5	9206,3	9,20	-	9958	52	5,03	3	-	1,837	CONCRETO F COMENTO, ARENA, TRITURADO, AGUA	P
6	2020-09-20	159	2021-02-26	15,27	305,00	305,00	183,1	11261	11,26	-	9125	62	6,03	2A	-	1,634	CONCRETO F COMENTO, ARENA, TRITURADO, AGUA	P
7	2020-10-01	146	2021-02-26	15,03	302,67	302,67	177,5	28521	28,52	-	12077	161	15,75	2B	-	2,248	CONCRETO F COMENTO, ARENA, TRITURADO, AGUA	P
8	2020-10-01	146	2021-02-26	15,03	294,33	294,33	177,5	1681,6	1,68	-	7002	9	0,91	-	-	1,340	CONCRETO F COMENTO, ARENA, TRITURADO, LATEX	D
9	2020-10-01	146	2021-02-26	15,57	253,67	253,67	190,3	11489	11,48	-	8651	60	5,82	2B	-	1,999	CONCRETO F COMENTO, ARENA, TRITURADO, AGUA	D
10	2020-09-05	174	2021-02-26	15,00	130,00	130,00	176,7	60950	60,95	-	5122	345	33,80	3	-	2,230	CONCRETO F COMENTO, ARENA, TRITURADO, AGUA	P

ESQUEMAS DE FALLAS TÍPICAS NTC 673-2010



"FIN DE INFORME"

(Firma)

OFICINAS TUBOPOLO: Calle 7MA No. 42 - 37, Tel. 224 47 80 - 830 04 73, Telex 543 83 ZC
 Bogotá, D.C. - Colombia
 Casero (División: comercial)@tubopolosistemas.com.co

INFORME DE ENSAYO
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILINDRICOS DE CONCRETO
Referencia: SPP-PT-COT-016-670

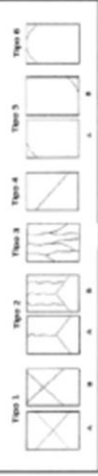
SUELOS Y PAVIMENTOS
GREGORIO ROJAS & CIA. LTDA.

PROYECTO: ACUJISTICA DE MATERIALES PARA CARRETERAS (TRABAJO DE GRADO MAESTRIA INFRAESTRUCTURA VIAL) **FECHA DE ENSAYO:** 2021-02-25
CLIENTE: JOSE FRANCO ARCOS ARCOB **ORDEN DE TRABAJO No.:** 0038
DIRECCIÓN: BL. 22 - AP. 202 ERR. NIZA 11 - PASTO **INFORME DE ENSAYO No.:** 0038.001
CÓDIGO: 2644 **FECHA EMISIÓN DE INFORME:** 2021-01-03
FECHA RECEPCIÓN DE MUESTRA (RM): 2021-05-24

OBSERVACIONES: Cilindros No. 8 - 16, no fallaron, se escribio en la carga maxima la carga con el maximo recorrido de la prensa

EQUIPOS:		Prensa: PRC-22		Calibrador No. 05		Fluorómetro No. 01														
CILINDRO	FECHA DE TOMA	EDAD (Días)	ROTURA (mm x mm x H)	DIÁMETRO (mm)	LONGITUD (mm)	DIÁMETRO (mm)	LONGITUD (mm)	LD (mm)	ÁREA (cm ²)	CARGA MAX. (kg)	CARGA MAX. (N)	RESIST. COMPRESIÓN (N/cm ²)	MASA (g)	RESIST. COMPRESIÓN (N/cm ²)	RESISTENCIA COMPRESIÓN (MPa)	TIPO DE FALLA	PORCENTAJE DE RESISTENCIA (%)	DENSIDAD (g/cm ³)	LOCALIZACIÓN	DEFECTOS
1	2020-12-11	77	2021-02-26	15,30	153,00	30,37	303,67	1,98	183,9	87088	854,037	12792	474	474	46,42	1A	-	2,281	CONCRETO F2' CEMENTO, ARENA, TINTURADO, ASIA	P
2	2020-12-11	77	2021-02-26	15,03	150,33	30,53	305,33	2,03	177,5	8313,5	81,529	6090	47	47	4,59	3	-	1,677	CONCRETO F2' CEMENTO, ARENA, Adquisim V27, Agua	P
3	2020-12-11	77	2021-02-26	15,27	152,67	30,50	305,00	2,00	183,1	7967	74,204	8724	41	41	4,05	3	-	1,563	CONCRETO F2' CEMENTO, ARENA, Adquisim V27, Agua	P
4	2020-11-29	89	2021-02-26	15,03	150,33	30,53	305,33	2,03	177,5	9385,1	92,038	8775	53	53	5,18	3	-	1,619	CONCRETO F2' CEMENTO, ARENA, TINTURADO, ASIA	P
5	2020-12-11	77	2021-02-26	15,03	150,33	30,53	305,33	2,03	177,5	9208,3	90,304	6658	52	52	5,08	3	-	1,837	CONCRETO F2' CEMENTO, ARENA, TINTURADO, ASIA	P
6	2020-09-20	159	2021-02-26	15,27	152,67	30,50	305,00	2,00	183,1	11761	110,439	9125	62	62	6,03	2A	-	1,634	CONCRETO F2' CEMENTO, ARENA, POMEZ, ASIA	P
7	2020-10-01	146	2021-02-26	15,03	150,33	30,27	302,67	2,01	177,5	28521	279,699	12077	161	161	15,75	2B	-	2,248	CONCRETO F2' CEMENTO, ARENA, TINTURADO, ASIA	P
8	2020-10-01	146	2021-02-26	15,03	150,33	29,43	294,33	1,96	177,5	1681,6	16,491	7002	9	9	0,93	-	-	1,340	CONCRETO F2' CEMENTO, ARENA, TINTURADO, LATEX	D
9	2020-10-01	146	2021-02-26	15,57	155,67	25,37	253,67	1,63	190,3	11489	112,673	8651	60	60	5,92	2B	-	1,999	CONCRETO F2' CEMENTO, ARENA, TINTURADO	D
10	2020-09-05	174	2021-02-26	15,00	150,00	13,00	130,00	0,87	176,7	60950	597,726	5122	345	345	33,80	3	-	2,230	CONCRETO F2' CEMENTO, ARENA, TINTURADO, ASIA	P

DEFECTOS: D: Despuolado; N: Desmoldado; P: Puro; F: Fracturado; E: Escasez de agregado; C: Contaminado; A: Falla de adherencia



"FIN DE INFORME"

EMISOR: **INFORMANTE:** **REVISOR:**

REGISTRO NACIONAL DE EMPRESAS DE SERVICIOS Y PRODUCTOS BÁSICOS S.A.S. (RNE) - NIT. 900001101-1
CALLE 100 No. 10-10, PASTO, SUZARZA, SUZARZA Y SUZARZA S.A.S. - NIT. 900001101-1
CALLE 100 No. 10-10, PASTO, SUZARZA, SUZARZA Y SUZARZA S.A.S. - NIT. 900001101-1

OFICINAS Y LABORATORIO: Calle 79A No. 42-37, Tel. 225 47 80 - 838 04 73 - Teléfono 543 85 20
Bogotá, D.C. - Colombia
Correo Electrónico: contabilidad@suzyrojas.com

RNE 000001101-1-00
Página 1 de 2
Aprobado 2020-10-14

