

EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE ADOQUINES
RECTANGULARES DE CONCRETO CON INCORPORACIÓN DE
AGLUTINADO DE POLIETILENO RECICLADO



Universidad
del Cauca

HÉCTOR EDUARDO ADRADA GÓMEZ

HÉCTOR JESÚS DELGADO GUERRÓN

Tesis de maestría en Ingeniería de Pavimentos

Directora:

Victoria Eugenia Muñoz Valencia
Msc. Ingeniería de Vías Terrestres

Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Civil
Popayán, abril de 2023

HÉCTOR EDUARDO ADRADA GÓMEZ
HÉCTOR JESÚS DELGADO GUERRÓN

EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE ADOQUINES RECTANGULARES
DE CONCRETO CON INCORPORACIÓN DE AGLUTINADO DE POLIETILENO RECICLADO

Trabajo de tesis para optar al título de Maestría en Ingeniería de Pavimentos

Directora:

Victoria Eugenia Muñoz Valencia
Msc. Ingeniería de Vías Terrestres

Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería Civil
Departamento de Geotecnia
Popayán, abril 20 de 2023

Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería Civil
Departamento de Geotecnia
Maestría en Ingeniería de Pavimentos

Héctor Eduardo Adrada Gómez

Héctor Jesús Delgado Guerrón

Trabajo de grado de maestría sometido al departamento de geotecnia adscrito a la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad del Cauca como parte de los requisitos necesarios para obtención del grado de Magíster en Ingeniería de Pavimentos.

APROBADO POR:

X
(DIRECTOR)

X
(JURADO INTERNO)

X
(JURADO EXTERNO)

FECHA: POPAYÁN, mayo de 2023.

FICHA CATALOGRÁFICA

ADRADA, HÉCTOR EDUARDO; DELGADO, HÉCTOR JESÚS.

Evaluación de las propiedades mecánicas en Adoquines Rectangulares de concreto con incorporación de aglutinado de polietileno de baja densidad, obtenidos del reciclaje de plástico

Trabajo de grado de Maestría – Universidad del Cauca. Facultad de Ingeniería Civil.

Departamento de Geotecnia. Maestría en Ingeniería de Pavimentos.

- | | |
|--------------------------|----------------|
| 1. Baja densidad | 2. Polietileno |
| 3. Adición de Aglutinado | 4. Plástico. |

Referencia Bibliográfica

Adrada, H. E. & Delgado, H. J. (2023). Evaluación de las propiedades mecánicas en Adoquines Rectangulares de concreto con incorporación de aglutinado de polietileno reciclado. Trabajo de grado de Maestría, Universidad del Cauca, Popayán.

AGRADECIMIENTOS

A mi madre por demostrarme cada día la constancia y perseverancia, a mi padre, a mi familia toda, también a mis amigos, a todos los que con su paciencia, consejos y ejemplo me motivaron a continuar luchando por un sueño que hoy es realidad, muchas gracias.

Hector Jesús Delgado Guerrón

Gracias al Creador, quien nos trajo a este punto del espacio y tiempo para profundizar en un detalle entre tantos inconmensurables de nuestra existencia, a mi familia, amigos y maestros por todas sus enseñanzas, todos ellos me han dado herramientas permitiendo lograr esta labor, la cual más allá del encomiable trabajo académico también nos forja en el plano personal con una nueva aleación entre lo emocional y lo racional para afrontar nuevos retos personales, académicos y profesionales.

Héctor Eduardo Adrada Gómez

Cesión de derechos

Nombres de los autores: Héctor Eduardo Adrada Gómez, Héctor Jesús Delgado Guerrón.

Título: Evaluación de las propiedades mecánicas de Adoquines Rectangulares de concreto con incorporación de aglutinado de polietileno reciclado. Trabajo de grado de Maestría, Universidad del Cauca, Popayán.

Grado / año: Magíster / 2023.

Se concede a la Universidad del Cauca el permiso para reproducir copias de este trabajo de grado de Maestría y para prestar o vender tales copias solamente para propósitos académicos y científicos. Los autores se reservan otros derechos de publicación y ninguna copia de este trabajo puede ser reproducida sin la autorización por escrito de los autores.

Héctor Jesús Delgado Guerrón

C.C. 5.206.632 Exp. Pasto (N.)

E-mail: hectordelgadoguerron@gmail.com

Héctor Eduardo Adrada Gómez

C.C. 76.331.071, Exp. Mercaderes (C.)

E-mail: eduardogomez@unicauca.edu.co

Contenido

Resumen	11
Introducción	13
1. Descripción del problema.....	15
2. Justificación	17
3. Objetivos	20
3.1 Objetivo general	20
3.2 Objetivos específicos.....	20
4. Marco de Referencia	21
4.1. Requisitos de los materiales	21
4.1.1. Adoquines.....	21
4.1.3 Agregados	22
4.1.4. Plástico reciclado.....	23
4.2. Marco Teórico.....	26
4.3. Antecedentes	28
4.3.1. Antecedentes internacionales	28
4.3.2 Antecedentes Nacionales	30
4.3.3 Antecedentes Regionales	31
4.4. Marco Legal.....	31
4.4.1 Normativa Nacional:.....	31
4.4.2 Normativa Internacional:	34
4.5. Marco conceptual.....	35
4.6. Hipótesis	38
5. Metodología.....	39

5.1	Matriz Experimental	39
5.2.	Plan de trabajo.....	41
6.	Desarrollo de la fase experimental.....	43
6.1	Etapa 1. Caracterización de los Materiales a utilizar	43
6.1.1	Cemento Uso General:.....	43
6.1.2	Agregados: Arena de Rio, Arena de trituración, Aglutinado plástico y agua:...	43
6.1.3	Agregado de plástico aglutinado (APEBD)	44
6.2	Etapa 2. Diseño de Muestras	46
6.2.1	Resistencia Característica	46
6.2.2	Diseño de la Mezcla de control	48
6.2.3	Relación Agregado/Cemento	48
6.2.4	Contenido de cemento por m ³ de mezcla	48
6.2.5	Proporciones de la mezcla de control	49
6.2.6	Proporciones de los agregados (Combinación de agregados):.....	50
6.2.7	Ajuste en la mezcla de prueba	51
6.3.1	Fabricación y curado de adoquines de control y con adición de APEBD	54
6.4	Etapa 4 Ensayos de control de calidad (Prueba de especímenes)	55
6.4.1	Norma Técnica Colombiana NTC- 2017.....	56
6.4.2	Especificaciones Generales de Construcción INVIAS - 2022.....	58
6.5	Etapa 5 Resultados, comparación, análisis y conclusiones.....	59
6.5.1	Resultados.....	59
6.5.2	Comparación de data.....	59
6.5.3	Análisis de Resultados	67
7.	Conclusiones	73

Lista de Tablas

Tabla 1. Tipo de polímero.....	25
Tabla 2. Absorción de Agua	33
Tabla 3. Requisitos de resistencia a la flexotracción (Módulo de rotura (Mr)).....	33
Tabla 4. Requisitos de calidad para adoquines de concreto	33
Tabla 5. Matriz experimental flexión o módulo de ruptura ($f'r$)	40
Tabla 6. Matriz experimental compresión ($f'c$)	40
Tabla 7. Cantidad de ensayos para resistencia a la flexión	41
Tabla 8. Cantidad de ensayos para resistencia a la compresión.....	41
Tabla 9. Cantidad de especímenes para ensayos	41
Tabla 10. Metodología	42
Tabla 11. Materiales para la fabricación de adoquines	43
Tabla 12. Determinación de la porosidad de un material Polimérico	44
Tabla 13. Ensayos de verificación y/o caracterización sobre los agregados para adoquines de concreto hidráulico.....	45
Tabla 14. Contenido de cemento por m3 de mezcla [Dowson]	49
Tabla 15. Proporciones de la mezcla de control.....	50
Tabla 16. Fase de ajuste de la fórmula de trabajo para mezcla de control	52
Tabla 17. Proporción de los agregados y gradación resultante	53
Tabla 18. Comparación de resultados de resistencia a flexión de adoquines + %APEBD con las especificaciones de diferentes organismos.....	62
Tabla 19. Comparación de resultados de resistencia a Compresión de adoquines + % APEBD entre especificaciones de diferentes organismos	66

Lista de Figuras

Ilustración 1 Proceso de reciclaje de bolsas plásticas	24
Ilustración 2. Curvas Granulométricas de los agregados	46
Ilustración 3. Agregado/Cemento vs Resistencia Media.....	48
Ilustración 4. Curvas Granulométricas	53
Ilustración 5. Materiales para fabricación de adoquines	54
Ilustración 6. Fabricación de adoquines	54
Ilustración 7. Algunos gránulos de APEBD se transforman en fibras durante el mezclado	55
Ilustración 8. Se resalta APEBD en forma de fibras por efecto del mezclado	55
Ilustración 9. Motores de rotación excéntrica que ejercen vibración para compactar la mezcla.....	55
Ilustración 10. Adoquines desmoldados de la máquina de fabricación	55
Ilustración 11. Ensayo de resistencia a flexión	56
Ilustración 12. Falla típica de un adoquín sometido a ensayo de flexión	56
Ilustración 13. Ensayo de resistencia a la flexión.....	56
Ilustración 14. Falla llevada a la rotura bajo el ensayo de resistencia a la flexión	56
Ilustración 15. Proceso de secado de los adoquines, para peso seco al horno	57
Ilustración 16. Peso del adoquín sumergido	57

Ilustración 17. Peso Saturado superficialmente seco	57
Ilustración 18. Dimensiones de los adoquines	57
Ilustración 19. Ensayo de resistencia a la compresión a los 28d.....	58
Ilustración 20. Adoquín de concreto sometido al ensayo de resistencia a la compresión	58
Ilustración 21. Falla de un adoquín sometido al ensayo de compresión	59
Ilustración 22. Falla típica de un adoquín sometido a ensayo de flexión.	71
Ilustración 23. Mezcla con 4% de aglutinado bajo el ensayo a flexión presentó adherencia moderada entre al plástico y la mezcla	71
Ilustración 24. Rotura del agregado plástico embebido en la mezcla por las fuerzas de tensión en el ensayo de flexión.....	72
Ilustración 25. Falla a la compresión de un adoquín con aglutinado 1%.....	72

Resumen

Los recursos reciclados para la fabricación de adoquines, específicamente del plástico reciclado en forma de aglutinado como reemplazo o complemento de los agregados, es un área del conocimiento en la que decidimos profundizar.

En este contexto, el objetivo principal de este trabajo fue determinar la respuesta mecánica de adoquines sometiéndolos a pruebas de resistencia a la flexotracción y a la compresión al adicionar en la mezcla un porcentaje de aglutinado reciclado de polietileno de baja densidad (APEBD).

Los parámetros obtenidos de estos ensayos se utilizaron para evaluar su comportamiento y compararlos con las Normas NTC-2017 e INV-E-510. Los resultados de la combinación pétreos-APEBD indican que el incorporar hasta el 2% en la mezcla no desmejoran el comportamiento mecánico de los especímenes lo cual abre posibilidades significativas en la disminución de la huella de carbono en la producción de adoquines y concretos. En resumen, los resultados son auspiciosos y apuntan a los posibles beneficios de utilizar los residuos reciclados investigados como material alternativo en la fabricación de adoquines de concreto. Se fabricaron muestras de adoquines de referencia con mezclas de: cemento, arena de río, arena de trituración (pasa 3/8" - retenido N°16) y agua; también se fabricaron adoquines con adición de 1%, 2%, 4%, 6% y 6.4% de APEBD, proporcional a la masa de los agregados, con fines comparativos. Las mezclas de agregados se dosificaron según la gradación recomendada por: ICPC (1986) y Dowson (S.F.), las cuales refieren la importancia en la elección de la distribución granulométrica inicial de los áridos junto con APEBD y para la relación a/c según lo planteado por el Instituto Colombiano de Productores de Cemento ICPC. No obstante, se tuvo una etapa de ajuste para nuestros materiales en la cual se realizaron mezclas de prueba con las cuales se observó su comportamiento en estado fresco y con las cuales se fabricaron adoquines para posteriormente realizar pruebas de resistencia a compresión y flexión a 28 días según las normas mencionadas.

Los pétreos y el aglutinado reciclado fueron inicialmente caracterizados mediante ensayos de laboratorio, tales como granulometría, masa unitaria, densidad, absorción e índice de forma, además para el material polimérico se evaluó la porosidad interna por liofilización permitiendo obtener de forma precisa la propiedad de absorción indispensable para el diseño de mezclas de concreto.

Introducción

La evolución y los asentamientos humanos bien sea con fines comerciales o de expansión geográfica, han demandado recursos naturales de diversas características para la construcción de las carreteras. Partiendo de esto se busca generar nuevas estrategias que involucren diferentes materiales generando sostenibilidad y sustentabilidad en las materias primas que se usan en los proyectos viales.

Debido al creciente interés por buscar alternativas que alivien tanto la explotación de recursos naturales como la carga a los rellenos sanitarios y al ambiente en general para un desarrollo sostenible en los últimos años se ha planteado el reciclaje de plásticos en la fabricación de mezclas de concreto.

Los polietilenos pueden ser transformados en agregados reciclados como material alternativo para ser usado en la fabricación de adoquines de concreto en conjunto con agregados convencionales para las mezclas referidas, con lo cual se logra disminuir el uso acelerado de recursos naturales no renovables.

Para la incorporación exitosa del aglutinado sintético, es imperativo entender el aporte del material reciclado a la mezcla, la comprensión básica en los mecanismos de falla de acuerdo con las normas técnicas colombianas, ayuda al usuario a seleccionar el porcentaje más adecuado a adicionar de polietileno para un concreto específico, desde el punto de vista del desarrollo de las propiedades de ingeniería deseadas para el diseño de la mezcla de concreto para adoquines.

En este contexto, se ha realizado esta investigación con el objetivo de aumentar el conocimiento del comportamiento de los residuos en cuestión buscando reducir las dificultades del proceso de reciclaje para gestionar la sostenibilidad del sector de la construcción; esta investigación se vuelve relevante al presentar como propuesta la evaluación de las características de los agregados reciclados de bolsas de polietileno y su rendimiento mecánico en mezclas de concreto para adoquines. Simultáneamente se realizó un análisis comparativo

entre dichas mezclas con agregados reciclados y los agregados convencionales utilizados en las mezclas de concreto para adoquines, evaluando los efectos de la adición de polietileno reciclado sobre las propiedades de resistencia a compresión y flexión del adoquín de concreto.

Se realizaron dos pruebas principales a los elementos prismáticos que hacen parte de un pavimento articulado: Prueba de resistencia a la compresión, y Prueba de resistencia a la flexión; las cuales han sido adoptadas por las especificaciones vigentes, como la del Instituto Nacional de Vías (INV) que exige resistencia a la compresión y la de la Norma Técnica Colombiana (NTC) que exige flexo tracción.

Con el propósito de obtener resultados de resistencia a la compresión y flexo tracción, se fabricaron en las instalaciones del laboratorio de Geotecnia de la universidad del Cauca adoquines rectangulares de concreto, los cuales se elaboraron con materiales de la región, y un polietileno obtenido del reciclaje de bolsas de plástico (APEDB).

1. Descripción del problema

El crecimiento demográfico, económico y tecnológico, demanda obras de pavimentación sostenibles.

Colombia necesita conocer y emplear nuevas tecnologías para mejorar su infraestructura vial urbana y rural para bajos volúmenes de tráfico, de acuerdo con (Interlocking Concrete Pavement Institute [ICPI], 2006, pág. 3) “La estructura de un pavimento de adoquines estará definida por la evaluación de: medioambiente, tránsito, capacidad portante del suelo y materiales de la estructura del pavimento, estos cuatro factores y sus efectos interactivos determinarán el espesor y el material del pavimento final.”

ICONTEC, La norma técnica colombiana, NTC 2017, 2018-05-23, adoquines de concreto para pavimentos estipula que:

“Cuando se deseen características particulares en la capa de rodadura (adoquines), diferentes a las especificadas en esta norma, en lo referente a textura, acabado, color, menor grado de eflorescencia, mayor densidad, menor absorción, mayor resistencia a la flexotracción, etc., éstas deben ser especificadas por el comprador de manera separada, quien también debe consultar a los proveedores sobre la disponibilidad de adoquines de concreto con las características deseadas, antes de iniciar los diseños con dichos adoquines; de igual manera se procede cuando se requieran pavimentos de adoquines para cargas puntuales (estáticas o dinámicas) tráfico de vehículos con llantas metálicas, orugas, llantas con cadenas o taches, u otros tipos de tráfico altamente abrasivo, que necesitan adoquines de concreto con características de calidad más altas que las establecidas en esta norma.”

En este sentido, las bolsas de polietileno de baja densidad recicladas, son agregados en forma de aglutinado favoreciendo la posibilidad de incorporarse en los adoquines.

Es importante resaltar que tales materiales solo pueden usarse cuando se determinan experimentalmente sus características físicas y su comportamiento mecánico.

Pregunta Formulación de problema

¿Influye la incorporación de aglutinado de plástico en la resistencia de adoquines de concreto, sometidos a ensayos de compresión y flexión, como descriptores de sus principales propiedades mecánicas?

2. Justificación

La actual preocupación mundial es la preservación del medio ambiente y por consiguiente el uso de muchos residuos de la producción industrial, se hace necesario buscar y aplicar nuevas estrategias de construcción, no solamente para minimizar el impacto ambiental, sino para aportar alternativas al sector público y privado que permita una construcción sostenible, utilizando material reciclado que pueda ser reutilizado en la fabricación de nuevos productos para la construcción.

De acuerdo con la Super Intendencia de Servicios Públicos en Colombia en el año 2015 se realizó una disposición 9'967.844 toneladas de residuos sólidos, entre sistemas autorizados y no autorizados y para el año 2021 se incrementó su valor a 11'952.441 toneladas, lo que nos muestra un incremento del 19,9% en los últimos 6 años, esto nos indica un aumento importante lo cual puede tener repercusiones para el país, si no se encuentran alternativas para su manejo y aprovechamiento de estos residuos. Según un informe realizado por universidad de los Andes y Greenpeace Colombia (2019) el 56% de los residuos sólidos producidos en el país corresponde a plásticos entre los que se incluyen los de un solo uso, sobre lo cual concluyen que alrededor de la mitad de los residuos producidos en nuestro país se pueden reusar, reciclar y reducir su utilización, en respuesta a lo anterior el ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en el año 2021 lanzo el "Plan Nacional para la Gestión Sostenible de los Plásticos de un solo uso", el cual tiene como meta para el año 2030 lograr que el 100% de este tipo de plásticos sea reusado, aprovechado o biodegradado, como se puede ver nuestro trabajo cobra importancia en el aprovechamiento del Aglutinado de Polietileno de baja densidad - APEBD, material que usamos como sustituto de agregados vírgenes y por consiguiente ingresar este producto a un modelo de economía circular y desarrollo sostenible.

Con este propósito se han realizado ensayos, que además de buscar el cumplimiento de las tres reglas del reciclaje que son el reducir, reciclar y reutilizar, en materiales de construcción como son las mezclas de concreto, en los cuales se evidencia el beneficio al usar polietileno. Ensayando básicamente la capacidad de estos bajo los lineamientos de pruebas de resistencia al concreto endurecido.

Teniendo en cuenta que el concreto es uno de los materiales más utilizados en el campo de la construcción, la mayoría de estudios realizados están dirigidos a estudiar la viabilidad y los comportamientos estructurales de estas mezclas, Baldenebro, F. (2015) investigó los comportamientos estructurales de la viga de hormigón polimérico utilizando plástico reciclado, (Abril, M. et al., A. 2017), estudiaron la variación en la resistencia del concreto debido al origen del agregado grueso. También se han realizado trabajos como el de (Sangay, et al., A. 2014) evalúan el efecto de los agregados de concreto reciclado a resistencia a compresión sobre concreto $F_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$.

Investigaciones más recientes indican que las propiedades de resistencia de los concretos se ven comprometidas al adicionar plásticos en la mezcla, como es el caso de (Zúñiga, A. 2015) que en su investigación "evalúa la posibilidad de aprovechar el tereftalato de polietileno (PET) reciclado como un material de agregado en las mezclas de mortero y concreto, obteniendo muestras de concreto, con resistencia a la compresión, a la tracción y a la flexión a 28 días utilizando 1%, 3% y 5% de plástico de residuos reciclados de agregado fino (polietileno).

Por otro lado (Léctor, M. et al., E. 2017), en su estudio utilizaron materiales plásticos de reciclaje como adición en la elaboración de concreto, como estos hay muchos estudios que demuestran la viabilidad de un proyecto como este, teniendo en cuenta que, para agregar, el uso de residuos plásticos en el concreto es necesario el cambio en los modos de falla frágil (rápida) a falla más dúctil.

Las investigaciones previas alientan a aumentar el conocimiento del comportamiento de los residuos en cuestión y, por lo tanto, reducir las dificultades del proceso de reciclaje para la gestión de residuos en las actividades de construcción. Esta investigación se vuelve relevante al presentar como propuesta la evaluación de las características y el rendimiento mecánico de los residuos reciclados de bolsas de polietileno de baja densidad en mezclas de concreto para adoquines.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de la incorporación de aglutinado de polietileno de baja densidad, obtenido del reciclaje de bolsas de plástico en las propiedades mecánicas de adoquines rectangulares de concreto sometidos a pruebas de compresión y flexo tracción.

3.2 Objetivos específicos

- Caracterizar los agregados con los cuales se elaboraron los especímenes de prueba.
- Determinar la resistencia a la compresión y flexión de adoquines de concreto con adición de polietileno, adición de plástico y sin adición de plástico
- Comparar los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia con las especificaciones vigentes, como la del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) que exige resistencia a la compresión y la de la Norma Técnica Colombiana (NTC) que exige flexotracción.
- Verificar la aplicabilidad del polietileno de baja densidad reciclado como agregado alternativo en mezclas de concreto para adoquines, utilizando cementante convencional; de acuerdo con las especificaciones del INVIAS, las Normas ICONTEC y las especificaciones internacionales.

4. Marco de Referencia

En este apartado se presenta un análisis de las diferentes exigencias sobre calidad, procedimiento de diseño, tipo de ensayos, según las especificaciones generales de Construcción del Instituto Nacional de Vías de Colombia, así como lo relacionado con algunas ventajas y desventajas de su proceso constructivo. La selección de la superficie de un pavimento articulado depende de su resistencia al uso y de otros requerimientos de superficie, más que a la contribución que podría tener en la resistencia global del pavimento.

Los esfuerzos de compresión son importantes en los materiales de rodadura donde las cargas puntuales concentradas aplicadas, ej. Las esquinas de los contenedores, ruedas pequeñas de acero de equipos especializados y los brazos estabilizadores en grúas móviles, pueden causar deterioro superficial localizado. De otro lado como lo menciona Muñoz (2018) el comportamiento mecánico a controlar en los bloques de concreto dentro de una estructura de pavimento articulado es la flexotracción.

De las anteriores variables, la resistencia a la compresión f'_c y el módulo de rotura MR de los adoquines, son los ensayos más controlados en los bloques prismáticos para pavimentos articulados.

4.1. Requisitos de los materiales

4.1.1. Adoquines

De acuerdo con las especificaciones generales del INVIAS, los adoquines deben satisfacer como requisitos de calidad: Resistencia a la compresión, absorción y desgaste.

Como lo menciona Muñoz H. (2018)

Los adoquines rectangulares de concreto utilizados en las obras de pavimentos, andenes, pisos, deben cumplir con un control durante los procesos de producción y construcción. En Colombia se venía realizando como parámetro de control con la

prueba y especificación de resistencia a la flexotracción, exigida por la norma NTC 2017 o el artículo INV 510-07, conforme a la actualización realizada por el Instituto Nacional de Vías en el año 2013 se cambió este parámetro a resistencia a la compresión.

(Muñoz, 2018)

La manufactura de adoquines se hace repetitiva e industrializada al conseguir un diseño de mezcla óptimo, que los hace además rentables, así mismo se han demostrado ventajas, como la alta resistencia estructural, resistencia al deslizamiento, resistencia al deterioro, facilidad de instalación, y rapidez en el curado del adoquín.

Debido a que el reciclaje de plástico de un solo uso en empaques y/o bolsas presenta una morfología similar al agregado natural, surge la idea de modificar y/o mejorar las prestaciones de adoquines de pavimentos, con la incorporación aleatoria de aglutinado de polietileno de baja densidad (APEBD), en las mezclas de concreto.

4.1.3 Agregados

Efecto de la forma de los agregados en el concreto:

León M. (2010). En su investigación “Caracterización morfológica de agregados para concreto mediante el análisis de imágenes”, realiza un análisis de las características de los agregados, los cuales tienen un efecto significativo en el comportamiento del concreto en estado fresco y endurecido.

Las principales características de los agregados que afectan las propiedades del concreto son forma y textura, gradación, absorción, mineralogía, resistencia y módulo de elasticidad, tamaño máximo, gravedad específica, resistencia al ataque de sulfatos y dureza. En la medida en que se determine la influencia de cada una de estas propiedades en el comportamiento del concreto, será posible realizar diseños de mezclas más económicos.

Dosificar una mezcla de concreto es determinar la combinación más práctica y económica de los agregados disponibles, cemento, agua y en ciertos casos aditivos, con el fin de producir una mezcla con el grado requerido de manejabilidad, que al endurecer a la velocidad apropiada adquiriera las características de resistencia y durabilidad necesarias para el tipo de construcción en que habrá de utilizarse (Rivera, 2016, p. 169).

4.1.4. Plástico reciclado

El polietileno (PE) constituye la mayor cantidad de poliolefinas anualmente producidas por la industria plástica. Las diferentes estructuras formadas por las cadenas del PE conforman las variedades que se conocen, el polietileno de baja densidad —LDPE—, como se citó en Sierra et al., 2019, p. 131).

El polietileno de baja densidad (PEBD) es un polímero sintético derivado del petróleo; entre sus propiedades se destacan la tenacidad, ductilidad, excelente resistencia química y baja permeabilidad al vapor de agua (naturaleza hidrofóbica). Los materiales obtenidos son una buena alternativa para ser empleados en la compatibilización de mezclas de APEBD y polímeros hidrofílicos. Otras propiedades son la buena resistencia térmica y química. Este plástico fuerte, flexible y transparente se puede encontrar también en bolsas muy diversas. Tras su reciclado se puede utilizar de nuevo. Existen diferentes técnicas para el reciclaje del polietileno de baja densidad, en el caso del aglutinado que se utiliza en esta investigación, el método de tratamiento es primario, utilizando únicamente bolsas de empaque, donde se hace una reducción del plástico mediante un corte, que lo reduce hasta de 9 mm.

El plástico recolectado en la ciudad de Pasto es seleccionado, lavado, clasificado y aglutinado para su comercialización y aprovechamiento.

El reciclado de plástico surge del proceso de recuperación de bolsas plásticas de un solo uso con el fin de la reutilización directa o el aprovechamiento como materia prima para la fabricación de nuevos productos.

Proceso de reciclaje:

Antes de su reciclaje, los plásticos se clasifican de acuerdo a su tipo de resina, después de separarlos se trituran y se eliminan las impurezas, luego se funde y se divide en esferas pequeñas que posteriormente se utilizan para la fabricación de otros productos.

El método usado para el reciclaje de bolsas plásticas de baja densidad es:

Reciclaje mecánico: método que consistió en separar los plásticos por clase, lavarlos y cortarlos hasta convertirlos con un choque térmico con agua fría para lograr pequeños gránulos que tiene una morfología que se asemeja a algunos agregados naturales.

El proceso de reciclaje de plástico se representa en el siguiente esquema:

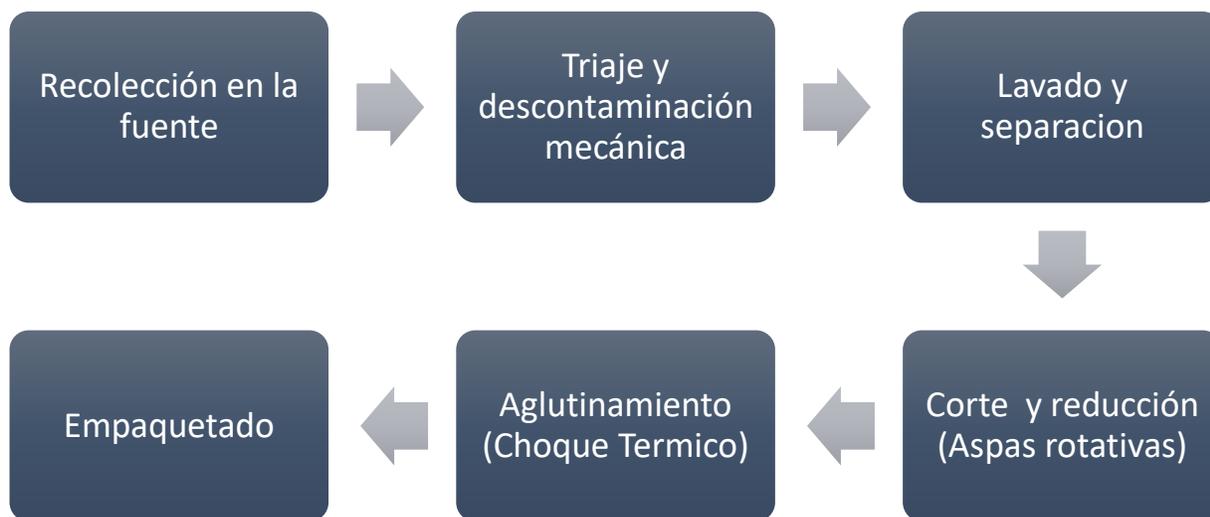


Ilustración 1 Proceso de reciclaje de bolsas plásticas

Tabla 1. Tipo de polímero

Código de identificación	Tipo de polímero	Propiedades	Usos Comunes	T de fusión T de transición
 01 PET	Tereftalato de polietileno (PET, PETE)	Claridad, dureza, resistencia, barrera a los gases y al vapor.	Bebidas gaseosas, botellas de agua y de condimentos	Tf 120 ⁻⁴ Tv=76 ⁴
 02 PE-HD	Polietileno de alta densidad (HDPE)	Dureza, resistencia, resistencia a la humedad, permeabilidad al gas.	Tuberías para agua, baldes, botellas para leche, jugo y agua; bolsas de compras, envases de champú y perfumes	Tf 130 ⁻⁶ Tv=-125 ²
 03 PVC	Policloruro de vinilo (PVC)	Versatilidad, facilidad de mezclado, dureza, resistencia.	Perfiles para fabricación de ventanas, aislación flexible para cables eléctricos, perfiles para cielorraso, perfiles para persianas, tarjetas de crédito y débito, etc.	Tf 240 ⁻⁸ Tv=-85 ⁸
 04 PE-LD	Polietileno de baja densidad (LDPE)	Facilidad de procesamiento, dureza, resistencia, flexibilidad, fácil de sellar, barrera al vapor.	Bolsas para alimentos congelados; botellas exprimibles, ejemplo. miel, mostaza; tapas flexibles para contenedores.	Tf 120 ⁻¹⁰ Tv=-125 ¹¹
 05 PP	Polipropileno (PP)	Dureza, resistencia, resistencia al calor, productos químicos, grasa y aceite, versátil, barrera al vapor.	Vajilla reusable para microondas; elementos de cocina; contenedores para yogur; tazas descartables; platos.	Tf=173 ⁻¹² Tv= -10 ¹²
 06 PS	Poliestireno (PS)	Versatilidad, claridad, fácil de darle forma	Cajas para huevos, tazas, platos, bandejas y cubiertos descartables	Tf = 240 (solo isotactic); 7 Tv = 100 (atactic y isotactic)
 07 O	Otro (a menudo policarbonato o ABS)	Dependiente de los polímeros o combinación de polímeros	Biberones para bebés. Discos compactos; cristales "irrompibles"; gabinetes de aparatos electrónicos; lentes	Policarbonato: Tf = 225; 14 Tv = 14515

Adaptado de: Sierra et al., (2019)

4.2. Marco Teórico

A nivel mundial se han generado aproximadamente 400 millones de toneladas de residuos plásticos, de los cuales se reciclan alrededor del 9%, un 12% se incinera, un 79% se depositan entre rellenos sanitarios y a cielo abierto, estos últimos ocasionan problemas geográficos ambientales que contaminan las fuentes hídricas y nuestros mares, en gran medida por los micro y nano plásticos, estos también contribuyen a la generación de gases de efecto invernadero y por consiguiente al calentamiento global Tejaswini et al. (2022), como se puede ver estamos en presencia de una cifra escandalosa que genera un problema de sostenibilidad para nuestro planeta y con gran incidencia en todos los seres vivos de la biosfera, es por eso se hace necesario buscar soluciones acordes al daño generado, en consecuencia nuestro trabajo busca aprovechar el uso de un subproducto a partir del reciclaje de bolsas plásticas de un solo uso.

Frente al tema Tejaswini et al. (2022) afirma, “Dado que los plásticos son químicamente estables, no se pueden degradar fácilmente en vertederos en comparación con la velocidad a la que se generan. Esto plantea un grave problema ambiental en las zonas urbanizadas de todo el mundo”

Así mismo para Balwadaa et al. (2021) es claro que “uno de los mayores desafíos para los sistemas de gestión de residuos sólidos es el uso y la eliminación cada vez mayores de materiales plásticos que tienen graves repercusiones en el medio ambiente y el océano. La economía lineal (tomar, hacer, tirar) recicla tan solo el 2 % de los plásticos a nivel mundial, desperdiciando una enorme cantidad de recursos. Este es el momento oportuno para la implementación de la economía circular, especialmente entre los plásticos”, aplicando el principio tres R (Reducir, Reutilizar y Reciclar).

Para Laurenti et al. (2023) quienes analizaron más de 1400 productos, encontraron una relación directa entre la reutilización de materiales a lo largo de la cadena de valor (de la cuna

hasta la tumba) y su disminución incidente en el daño ambiental lo anterior determinado mediante la variable Huella de Residuos de Productos aplicando modelos de algoritmos computacionales (Brightway2), así mismo determinaron que por cada aumento del 1 % en los residuos sólidos, el potencial impacto sobre el medio ambiente aumentó entre un 0,75 % y un 0,84 % en términos de los 3 indicadores definidos para este estudio que son: Daños a la diversidad de los ecosistemas (Especies perdidas por kg de producto), Daños a la salud humana(Años de vida perdidos ajustado por discapacidad por kg de producto) y Daños a la disponibilidad de recursos (costo excedente por agotamiento de recursos).

De acuerdo con un estudio sobre la emisión de gases efecto invernadero producto del comercio de desechos plásticos entre China y sus principales socios comerciales (Unión Europea, Estados Unidos de América y Japón) el cual analizó el periodo entre 1992 y 2017, determinó que esta industria contribuyó notablemente a la reducción de estos gases alcanzando un punto máximo el año 2012 con un valor de 8.81 millones de toneladas métricas de CO₂, casi de 76 veces con respecto al año de 1992 (Liu et al. 2021)

Tejaswini, et al. (2022) sostiene que “Otro uso potencial de los plásticos no reciclables radica en la colocación en caminos y pavimentos bituminosos donde los residuos plásticos se integran con asfalto para mejorar la calidad de la vía.” Así mismo señala que estas técnicas permiten reemplazar los recursos minerales naturales para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero y los costos energéticos, de tal modo que explorar la utilización del APEBD y otros materiales plásticos en la construcción de adoquines de concreto hace parte de la minería urbana que explora la utilización de desechos sólidos para reemplazar o reusar dichos materiales con lo cual se contribuye a la sostenibilidad ambiental.

Es importante tener en cuenta que a primera vista los costos del reciclaje pueden ser mayores, pero es relevante entender que para su cuantificación se debe considerar el valor de

los beneficios generados, (Tejaswini, et al., 2022) plantea la siguiente ecuación para determinar su valor así:

$$\text{Costos totales de un sistema} = \text{Suma de los costos} - \text{valor de los beneficios}$$

Por otro lado, a lo largo de la historia de los pavimentos, se conoce al pavimento con adoquines como el primer sistema de pavimentación sobre superficie limpia y duradera.

Colombia en los últimos años ha tenido un gran gasto presupuestal en la red vial nacional, pero la extensa longitud de las vías que necesitan de pavimentación, implica una considerable partida presupuestal y problemas ambientales, ya que la construcción de vías ocasiona un gran impacto ambiental.

Como lo explica (Hernández, Y. 2018):

La infraestructura vial en Colombia, necesita una reforma, no solo que se piense en mejoramiento de transporte, desplazamiento y generación de empleo, sino también pensar en la pavimentación como un proceso amigable con el medio ambiente y que el impacto sea mínimo, evaluando los impactos que se generan a los ecosistemas intervenidos, y además a la descontaminación que ha producido el sector industrial en estos mismos, como es el problema que conlleva el uso de plásticos de baja densidad y empezar a construir carreteras ecológicas.

4.3. Antecedentes

4.3.1. Antecedentes internacionales

A nivel mundial se han hecho varios estudios donde se utiliza polietileno de alta y de baja densidad en las mezclas de concreto utilizadas para la construcción.

Costa Del Pozo, A. (2012) realizó una investigación denominada “Estudio de hormigones y morteros aligerados con agregados de plástico reciclado como árido y carga en la mezcla. Cuyo objetivo fue:

Utilizar aglutinado de plástico reciclado como agregado en la mezcla de morteros en sustitución de una fracción de áridos o agregados naturales. Se reduce la densidad del mortero con el consiguiente aumento del aislamiento térmico y al mismo tiempo se da un nuevo uso al PVC reciclado. La investigación estudia diferentes dosificaciones y determina las características mecánicas y térmicas de cada una de ellas, llegando a la conclusión de que el introducir agregados de plástico reciclado a mezclas de mortero resulta ventajoso en cuanto a sus aportes térmicos, no contribuye con las resistencias, por el contrario, estas decrecen, pero si se trata de elementos de construcción que soporten carga ligera, con estos morteros se pueden conseguir buenos resultados, que además aportan un valor agregado, que es el aislamiento y la ligereza del material. Este aporte es muy importante ya que en el futuro se pueden reducir costos, se ahorraría en calefacción o refrigeración, o ya no se invertiría en revestimiento aislante para los muros de cerramiento de la vivienda.

Al-Hadithi, A. (2015). Realizó una investigación denominada: "The effects of adding waste plastic fibers on some mechanical properties of gap-graded concrete curing by drainage water and sewage water". Con dos objetivos:

Primero eliminar las cantidades de desechos sólidos, como botellas plásticas PET y beneficiarse de estos desechos no biodegradables para mejorar algunas propiedades del concreto expuesto a las aguas residuales y el agua de drenaje mediante la adición de residuos plásticos cortados mediante una máquina trituradora eléctrica (que se utiliza para cortar papel). Así entonces la investigación daría dos resultados, los efectos de agregar fibras plásticas de desecho en concreto expuesto al agua de drenaje y por otro lado averiguar sobre las propiedades del concreto que contiene estas fibras plásticas en contacto con aguas residuales. Los resultados demostraron que la adición de fibras plásticas de desecho conduce a una disminución de la densidad en seco y un aumento

de la resistencia a la compresión con adición en volumen de hasta un 0,5% de fibras plásticas.

4.3.2 Antecedentes Nacionales

En Colombia, también, desde el campo de la ingeniería civil se quiere ayudar al medio ambiente aprovechando desechos plásticos incorporados en mezclas de concretos modificadas, comparadas con mezclas convencionales evaluando sus propiedades mecánicas.

Entre estos trabajos se encuentra:

Coicue, L y Sepulveda, C. (2017). Realizo un estudio: “Polietileno de baja densidad como alternativa para mejorar las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica densa en caliente MDC-19”, el cual tiene como objetivo:

Evaluar las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica modificada con un desecho de polietileno de baja densidad presentado como trozos de bolsas plásticas, comparada con una mezcla asfáltica convencional tipo MDC-19 mediante ensayo Marshall, determinando así beneficios estructurales. Se concluye que el método ideal para mezclar el modificador (trozos de bolsas plásticas) es el de post mezclado (vía seca), debido a que en los análisis se evidenció que todas sus propiedades variaron positivamente y en magnitud superior que por el método de vía húmeda (pre mezclado). Esto ocurre debido a que el polietileno de baja densidad presuntamente pierde propiedades al mezclarse previamente con el cemento asfáltico, causando pérdida de adherencia en el mezclado con los agregados pétreos. Además, al adicionar el polietileno de baja densidad por vía seca (modificador como parte de los agregados), permite que el PEBD se adhiera simultáneamente al calentamiento del cemento asfáltico. Esto se comprueba debido a que la relación de vacíos no varía significativamente pero su resistencia aumenta y su deformación disminuye, esto provoca en la carpeta asfáltica mayor rigidez, sin disminuir su resistencia.

4.3.3 Antecedentes Regionales

Aunque no se han realizado investigaciones sobre la adición de material aglutinado reciclado a las mezclas de concreto, si se han realizado investigaciones sobre las especificaciones y cualidades en adoquines.

Uno de los autores de esta vertiente en el numeral 2.3 de su publicación: Pavimentos de adoquines de concreto una solución ambiental en la construcción de la infraestructura vial colombiana, resalta que:

Es importante tener en cuenta que los materiales utilizados para la construcción del pavimento de adoquín de concreto, deben cumplir con requisitos de calidad, por ejemplo, los adoquines de concreto que deben cumplir con la Norma NTC 2017 y con el Artículo 510-13 de las normas y especificaciones del INVIAS, que además menciona los controles, requisitos granulométricos y de calidad de la arena soporte y sello de la estructura de pavimento. (Hernández, Y. 2018).

4.4. Marco Legal

4.4.1 Normativa Nacional:

- ✓ El Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, ICONTEC, es el organismo nacional de normalización, según el Decreto 2269 de 1993.
- ✓ El Instituto Nacional de Vías, establece con las ESPECIFICACIONES GENERALES DE CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS Actualización 2022, la documentación de carácter normativo y reglamentario que sirve de guía a las diferentes actividades que son de la competencia técnica del servicio de la entidad. Documento que estipula los requisitos de calidad, establece estándares y describe procedimientos generales de ejecución, control y recibo para los trabajos de ejecución habitual en la red nacional de carreteras.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 2017. Esta norma establece los requisitos para adoquines de concreto y sus piezas complementarias, aptos para construir pavimentos de adoquines de concreto para: tráfico peatonal, tráfico vehicular sobre llanta neumática (incluyendo patios de puertos y de terminales de carga, aeropuertos, terminales de transporte, estaciones de servicio, bodegas, entre otros), y cargas estáticas distribuidas (de almacenamiento a granel).

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 6008. NTC 6008. “Terminología y clasificación para adoquines y losetas de concreto. Esta norma técnica establece las definiciones y clasificación utilizadas para la normalización de adoquines y losetas de concreto y sus piezas complementarias aptos para construir pavimentos y pisos”.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 174, “Concretos. Especificaciones de los agregados para concreto. Esta Norma establece las Especificaciones de los agregados para concreto y los requisitos de gradación y calidad para los agregados finos y gruesos, (excepto los agregados livianos y pesados) para uso en concreto”.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS, INVIAS Artículo 510.2.1 Adoquines: Los adoquines deberán cumplir los requisitos generales establecidos en la norma NTC 2017, “Adoquines de concreto para pavimentos”, con excepción de los requisitos de calidad, que serán los indicados en la tabla 510-1; estos requisitos de calidad reemplazan a los establecidos en la norma NTC2017 para resistencia a la flexotracción, absorción de agua y resistencia a la abrasión.

Norma INV E414-07. Resistencia a la flexión del concreto método de la viga simple cargada en los tercios de la luz. Esta norma tiene por objeto establecer el procedimiento que se debe seguir para la determinación de la resistencia a la flexión del concreto, por medio del uso de una viga simple cargada en los tercios de la luz.

Norma Técnica Colombiana **NTC-2017** (Segunda actualización)
Adoquines de concreto para pavimentos

Tabla 2. Absorción de Agua

Característica	Requisito
Absorción de Agua (Aa%) (Para todo el volumen del espécimen)	<7%

Tabla 3. Requisitos de resistencia a la flexotracción (Módulo de rotura (M_r))

Módulo de rotura (M_r) a los 28 d ^A , Mínimo ^B , Mpa		Longitud de la huella (lh) Máximo, mm
Promedio de 5 especímenes	Individual	Promedio de 5 especímenes
5,0	4,2	-
4,2	3,8	23
<p>A El módulo de rotura (M_r) se ha especificado a los 28 d. Sin embargo, los adoquines se pueden utilizar a edades más tempranas, cuando existe un historial sobre la evolución del módulo de rotura (M_r) de adoquines de iguales características, y éste indique que los primeros pueden alcanzar dicho módulo y que poseen la resistencia necesaria para ser colocados. Lo anterior, no exime de la verificación directa de la calidad de los adoquines mediante ensayos a los 28 d.</p>		
<p>B Se pueden especificar módulos de rotura (M_r) mayores, o capas superficiales de características especiales, cuando lo requieran las condiciones de servicio como con cargas abrasivas, llantas y orugas metálicas, etc., en cuyo caso se debe consultar con los proveedores locales para averiguar por la disponibilidad de este tipo de adoquines.</p>		

Instituto Nacional de Vías **INVIAS** (EGCC actualización - 2022)
Artículo 510-22 Pavimentos de adoquines de concreto

Tabla 4. Requisitos de calidad para adoquines de concreto

Característica	Norma de ensayo INV	Requisitos	
		Valor promedio de 5 elementos	Valor individual
Resistencia a la compresión a veintiocho días (28 d), mínimo (MPa)	E-426	55	50
Absorción, máximo (%)	E-427	5	7
Resistencia a la abrasión mediante chorro de arena: Coeficiente de pérdida de volumen por abrasión, máximo (cm ³ /cm ²) Pérdida promedio de espesor, máximo (mm)	E-425	15cm ³ /50cm ² 3mm	

4.4.2 Normativa Internacional:

En Norteamérica, hay dos normas para adoquines de concreto:

LA NORMA CANADIENSE, CSA-A231.2, Adoquines de Concreto Prefabricados. Ésta requiere unidades con una resistencia a la compresión, mínima, promedia, de 7,200 psi (50 MPa), al ensayar un cubo cortado de cada adoquín; y que cada una cumpla las tolerancias dimensionales en longitud, ancho y espesor. Las dimensiones de longitud, ancho y espesor las deben acordar entre el proveedor y el comprador. Las tolerancias para estas dimensiones son de ± 2 mm para la longitud y ancho y ± 3 mm para el espesor. Tiene, además, un ensayo de durabilidad al congelamiento y descongelamiento, muy riguroso. Las unidades se sumergen completamente en una solución de sal, al 3%, y se someten a 49 ciclos de congelamiento y descongelamiento, después de los cuales no deben perder más de 500 g/m de superficie. Si los adoquines pierden menos de 225 g/m, después de 28 ciclos, ya han cumplido la norma sin tener que continuar hasta los 49 ciclos. (ICPI, 2012).

NORMA ESTADOUNIDENSE, ASTM C 936. Ésta requiere una resistencia a la compresión, mínima, promedia, de 8,000 psi (55 MPa), medias en adoquines enteros o medias unidades, una absorción de agua, máxima, del 5%, y el cumplimiento de los requisitos de los ensayos de congelamiento y descongelamiento, y de abrasión. Igual que la norma CSA, la norma ASTM C 936 también pide el cumplimiento de las tolerancias dimensionales. Ellas son $\pm 1/16$ in. (1.6 mm) para la longitud y el ancho, y $\pm 1/8$ in. (3.2 mm) para el espesor. (ICPI, 2012).

NORMA ARGENTINA, IRAM 11656, Adoquines de hormigón para pavimentos intertrabados, Requisitos y métodos de ensayo. $MR \geq 4.2$ Mpa, promedio de 3 unidades y valor individual Mínimo 3.8 Mpa, con chequeo de resistencia a la abrasión

NORMA EUROPEA, PrEN 1338:2003, Promedio de 8 unidades $T^* \geq 3.6$ Mpa, Valor individual $T_i \geq 2.9$ Mpa, T^* = Tracción Indirecta.

4.5. Marco conceptual

Propiedades y ensayos aplicables

Los agregados de polietileno reciclado se caracterizaron por medio del ensayo de laboratorio convencional de una granulometría, más allá de pretender una caracterización mineralógica.

El aspecto del desempeño de adoquines con aglutinado de plástico además del mecánico podría presentar beneficios colaterales como la reducción de la densidad y/o la mitigación del ruido al paso de los vehículos. Las propiedades tienen influencia de la geometría del aglutinado y la dosificación de las mismas.

Como lo menciona Ferreira, entre el marco referencial de su trabajo de grado:

El objetivo del **análisis granulométrico** es la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas de suelo por medio de la composición en porcentajes de los diversos tamaños de agregado de una muestra. Su uso incide en la manejabilidad de una mezcla de concreto, debido a que un agregado mal gradado presenta exceso de vacíos que deben ser llenados con pasta en el caso de la arena y con mortero en caso del agregado grueso. En sus resultados a mejor gradación mayor manejabilidad. Ferreira, (2014).

Otro autor que evaluó las propiedades mecánicas en Adoquines con adición de residuos, resalta:

El esfuerzo a la compresión se desarrolla inicialmente solo debajo de una esquina y el bloque de esfuerzos toma la forma de un tetraedro. El esfuerzo de compresión se extiende a lo largo de una distancia "t" en la dirección del lado largo de 200 mm y a lo largo de una distancia "l" en la dirección de lado corto de 100 mm. A medida que la

huella cubre progresivamente la superficie, el esfuerzo avanza progresivamente de esquina a esquina hasta que, eventualmente, se observan esfuerzos de compresión debajo de todas las esquinas Plazas et al., (2015).

Resistencia a la flexo-tracción. Propiedad de los adoquines, que mide el esfuerzo en la fibra externa, la cual se desarrolla al someter un adoquín a la flexión. Los diseñadores de pavimentos utilizan una teoría basada en la resistencia a la flexión, por lo tanto, los adoquines que son la capa de rodadura, deben cumplir con esta propiedad. Cuando los adoquines de concreto hidráulico son sometidos a flexo-tracción se generan un efecto llamado momento flector que tiene mucha importancia para el estudio de resistencia de estos elementos. En el ensayo de resistencia a la flexión se carga los especímenes entre apoyos fijos:

- La carga se aplica como fuerza concentrada en el medio de la distancia entre los puntos de apoyo.

En los especímenes sometidos a flexión se crea un estado de esfuerzos heterogéneos. La parte inferior se encuentra flexionada y la parte superior comprimida. Además, debido a la variación del momento a lo largo de la muestra, los esfuerzos relacionados con el momento también varían. Los esfuerzos en la etapa de deformación elástica son calculados por las fórmulas corrientes de resistencia de materiales para la determinación de los esfuerzos normales en flexión. Plazas et al. (2015).

Datos requeridos para el diseño: Resistencia de diseño: Resistencia a flexión
(normalmente a 28 días)

Prácticas generales en adoquines de mortero: La manejabilidad del concreto reforzado con polietileno reciclado depende de la dosificación en volumen, la geometría, el estado superficial y el enlace entre ellos, las dimensiones de los agregados y su cantidad relativa.

Estudios reportados sobre adoquines de concreto con adición de sintéticos: Los concretos con adición de sintéticos reciclados serán ajustados de acuerdo con la caracterización granulométrica del material reciclado.

En el estudio adelantado por (Zainab Z., 2007) se reemplazó parte de los agregados por plástico y se realizaron pruebas de compresión, asentamiento, tenacidad, densidad sobre cubos entre otras pruebas, en las cuales se destaca una disminución en la resistencia con respecto de la muestra de control de las muestras fabricadas con proporciones de plásticos de 10%, 15% y 20% pero de igual modo todas las muestras superaron la resistencia mínima esperada de 17,24 Mpa para concreto estructural, con lo cual se puede concluir la disminución de costos en la fabricación de concretos con este reemplazo de los agregados naturales.

En este experimento desarrollado por (Balaji et al., 2018) reemplazaron parcialmente los agregados naturales de una mezcla de concreto para adoquines por cierta cantidad de plástico en proporciones del 10%, 20% y 30% buscando una resistencia mínima a la compresión 30 Mpa a los 28 días, se evaluó esta resistencia a diferentes edades identificando que hasta con un 20% de reemplazo de agregados hay incremento en la respuesta de resistencia a la compresión, para porcentajes mayores como 30% la resistencia cae drásticamente, con lo anterior se pudo establecer la posibilidad de elaborar mezclas con menor consumo de agregados naturales y más económicas por los costos del plástico usado.

El estudio realizado por (A. Ananthi, 2017) encontró que al adicionar pequeñas cantidades de fibras de polipropileno en porcentajes entre 0 y 0,35% se logró un efecto creciente en la resistencia a la compresión y la resistencia a la tracción indirecta para los porcentajes de 0.15% y 0.05% respectivamente.

Estudios reportados sobre adherencia entre morteros y sintéticos: Asocreto y el subcomité de fibras Icontec manifiestan que, la inclusión de tecnología ha permitido desarrollar

fibras de diversos materiales (especialmente resistentes a los álcalis) como polipropileno, polivinilos, polietilenos, acero, carbono, entre otros, que contribuyen en la consecución de la resistencia a la flexión y mejorar las prestaciones de la mezcla.

4.6. Hipótesis

La incorporación del aglutinado de polietileno de baja densidad a la mezcla de concreto para la fabricación de adoquines, es una buena alternativa para disminuir el impacto sobre el medio ambiente. En primera instancia tanto la construcción, el mantenimiento y la rehabilitación de la red vial del país compromete en gran escala a la explotación de grandes canteras; la reutilización de polietileno de baja densidad, en forma de aglutinado, ayudan a la descontaminación creciente por este material, en todo el planeta. Por lo tanto, Colombia, debe comenzar a evaluar y tener en cuenta las alternativas de construcción de pavimentos junto con sus avances tecnológicos, con el fin de tener carreteras ecológicas, que reduzcan el costo ambiental y garanticen la comodidad y seguridad del usuario.

5. Metodología

Para la investigación se fabricaron especímenes de espesor de 80mm, ancho 100 mm y longitud 200 mm que cumple lo establecido por el artículo 510 - actualización 2022 "Pavimentos de adoquines de concreto" para lo cual se realizó las siguientes etapas de fabricación: Diseño y Elaboración de la mezcla de concreto, colocación y compactación mediante un apisonado y vibrado de los especímenes; para obtener el diseño de mezcla de control, se calcularon fórmulas de trabajo variando las proporciones de los agregados con el fin de realizar ajustes, hasta obtener resultados satisfactorios de manejabilidad, acabado superficial y resistencia.

Se debió fabricar muestras con mezclas de prueba, con el fin de seleccionar las proporciones que más se acercaron a las recomendaciones de: granulometría, dosificación, densidad y demás requisitos. En los casos donde la muestra no se ajustó a dichas condiciones, se debió efectuar las correcciones necesarias, repitiendo el ensayo hasta obtener la fórmula de trabajo para la mezcla de control, el desarrollo del trabajo indicó variar los porcentajes de adición del porcentaje de APEBD en proporción a la masa de los agregados en los siguientes valores 1%, 2%, 4% y 6% limitándose el máximo a 6,4% como consecuencia de la imposibilidad de fabricar los adoquines a este porcentaje debido a que en estado fresco resulto imposible el desmoldar las muestras sin una prematura fracturación y obligándonos a remezclar para lograr unas condiciones aceptables de los adoquines elaborados.

5.1 Matriz Experimental

Este enfoque experimental consistió en recoger y analizar datos cuantitativos sobre distintos porcentajes de adición de gránulos de plástico como la variable a ser tomada en cuenta, con procedimientos matemáticos y estadísticos que permitan predecir y generalizar el comportamiento mecánico de las mezclas de concreto sobre una muestra representativa de adoquines.

La investigación tuvo como objetivo verificar el comportamiento mecánico de las mezclas antes mencionadas, así como evaluar el aprovechamiento de residuos plásticos para contribuir al modelo de sostenibilidad ambiental. Para este fin, se elaboraron 50 muestras de control sin adición de plástico y para cada porcentaje de plástico adicionado también se elaboraron 50 adoquines; para un total de 250 probetas para ensayar la mitad a flexión siguiendo la norma NTC 2017 y la otra mitad a Compresión

Tabla 5. Matriz experimental flexión o módulo de ruptura ($f'r$)

$f'r_{i,k}$	Porcentaje de material reciclado en la muestra ^(k)				
Grupo (i)	0%	1%	2%	4%	6%
1	$f'r_{1_0\%}$	$f'r_{1_1\%}$	$f'r_{1_2\%}$	$f'r_{1_4\%}$	$f'r_{1_6\%}$
2	$f'r_{2_0\%}$	$f'r_{2_1\%}$	$f'r_{2_2\%}$	$f'r_{2_4\%}$	$f'r_{2_6\%}$
3	$f'r_{3_0\%}$	$f'r_{3_1\%}$	$f'r_{3_2\%}$	$f'r_{3_4\%}$	$f'r_{3_6\%}$
4	$f'r_{4_0\%}$	$f'r_{4_1\%}$	$f'r_{4_2\%}$	$f'r_{4_4\%}$	$f'r_{4_6\%}$
5	$f'r_{5_0\%}$	$f'r_{5_1\%}$	$f'r_{5_2\%}$	$f'r_{5_4\%}$	$f'r_{5_6\%}$

Nota: $f'r_{i,k}$ Valor promedio de 5 elementos
 % (k) toma los valores de 0;1;2;4; 6
 Grupo (i) Grupo de 5 elementos (son: 5)

Tabla 6. Matriz experimental compresión ($f'c$)

$f'c_{i,k}$	Porcentaje de material reciclado en la muestra ^(k)				
Grupo (i)	0%	1%	2%	4%	6%
1	$f'c_{1_0\%}$	$f'c_{1_1\%}$	$f'c_{1_2\%}$	$f'c_{1_4\%}$	$f'c_{1_6\%}$
2	$f'c_{2_0\%}$	$f'c_{2_1\%}$	$f'c_{2_2\%}$	$f'c_{2_4\%}$	$f'c_{2_6\%}$
3	$f'c_{3_0\%}$	$f'c_{3_1\%}$	$f'c_{3_2\%}$	$f'c_{3_4\%}$	$f'c_{3_6\%}$
4	$f'c_{4_0\%}$	$f'c_{4_1\%}$	$f'c_{4_2\%}$	$f'c_{4_4\%}$	$f'c_{4_6\%}$
5	$f'c_{5_0\%}$	$f'c_{5_1\%}$	$f'c_{5_2\%}$	$f'c_{5_4\%}$	$f'c_{5_6\%}$

Nota: $f'c_{i,k}$ Valor promedio de 5 elementos
 % (k) toma los valores de 0;1;2;4; 6
 Grupo (i) Grupo de 5 elementos (son: 5)

5.2. Plan de trabajo

Para este trabajo se determinó lo siguiente:

Tabla 7. Cantidad de ensayos para resistencia a la flexión

Ensayo	Numero
Resistencia a la flexotracción promedio (MPa)	5
Error permitido (MPa)	0.30
K (para confiabilidad del 95%)	1.96
Coefficiente de variación	0.15
desviación estándar (MPa)	0.75
Número de ensayos (n)	25

Tabla 8. Cantidad de ensayos para resistencia a la compresión

Ensayo	Numero
Resistencia a la compresión promedio (MPa)	55
Error permitido (MPa)	3.2
K (para confiabilidad del 95%)	1.96
Coefficiente de variación	0.15
desviación estándar (MPa)	8.25
Número de ensayos (n)	25

Como mínimo se requieren 25 resultados de resistencia a la compresión y de resistencia a la flexotracción, para poder obtener resultados más confiables, en este proyecto se fabricarán adoquines para el ensayo de resistencia a la flexotracción y ensayo de resistencia a la compresión, garantizando siempre los requerimientos de la norma.

Tabla 9. Cantidad de especímenes para ensayos

Relación de ensayos a ejecutar	Compresión f'c (Mpa)	Flexión (Módulo de Rotura)
	Cantidad	Cantidad
Muestra de Control	25	25
Mezcla + 1% APEBD	25	25
Mezcla + 2% APEBD	25	25
Mezcla + 4% APEBD	25	25
Mezcla + 6% APEBD	25	25
SUB-TOTAL:	125	125
TOTAL:		250

Tabla 10. Metodología

Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4	Etapa 5
Caracterización de los Materiales a utilizar	Diseño de Muestras	Elaboración de adoquines de concreto (200mmx100mmx80mm)	Ensayos de control de calidad	Resultados, comparación, análisis y conclusiones
Agregados naturales <ul style="list-style-type: none"> ○ Forma ○ Textura ○ Absorción ○ Granulometría ○ Resistencia Agregados reciclados <ul style="list-style-type: none"> ○ Granulometría 	Diseño de Mezcla sin Adición <ul style="list-style-type: none"> ○ Muestra de control Diseño de Mezcla con Adición <ul style="list-style-type: none"> ○ Mezcla + 1% ○ Mezcla + 2% ○ Mezcla + 4% ○ Mezcla + 6% 	Adoquines sin adición <ul style="list-style-type: none"> ○ Muestra de control Adoquines con adición <ul style="list-style-type: none"> ○ Mezcla + 1% ○ Mezcla + 2% ○ Mezcla + 4% ○ Mezcla + 6% 	NTC-2017 <ul style="list-style-type: none"> ○ Flexión ○ Módulo de Rotura (MR) ○ Absorción de agua y Densidad INV-510-13 <ul style="list-style-type: none"> ○ Resistencia ○ Resistencia a la compresión (f'c) ○ Absorción 	Resultados: <ul style="list-style-type: none"> ○ Compilación de data por cada % de adición del aglutinado. Análisis: <ul style="list-style-type: none"> ○ Evaluación de data por cada % de adición del aglutinado Comparación de data: <p>M. Control vs 1% vs 2% vs 4% vs 6%</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Módulo de Rotura (MR) ○ Resistencia a la compresión (f'c) ○ Absorción Conclusiones

Nota: La absorción calculada bajo la norma NTC-2017, se calcula de modo similar que en la norma INV E-427, así que solo se realizó el primero de estos ensayos.

6. Desarrollo de la fase experimental

6.1 Etapa 1. Caracterización de los Materiales a utilizar

Los materiales de nuestra región usados para la fabricación de adoquines con adición de plástico reciclado son: Cemento de uso general marca Argos, arena de río (Puerto Tejada, Departamento del Cauca), arena de trituración (Cantera Cachibí, Departamento de El Valle del Cauca), aglutinado de plástico de baja densidad reciclado (APEBD, Planta recicladora en Pasto N.), y agua potable del acueducto de la ciudad de Popayán (C).

Tabla 11. Materiales para la fabricación de adoquines

			
Cemento	Arena	Arena de trituración	Aglutinado de Plástico Reciclado

6.1.1 Cemento Uso General:

Cemento de uso general para la fabricación de concretos. Las especificaciones cumplen con los valores de la Norma Técnica Colombiana NTC 121 (Tipo UG).

6.1.2 Agregados: Arena de Río, Arena de trituración, Aglutinado plástico y agua:

Los agregados utilizados para la mezcla de concreto fueron: Arena natural de río “del puerto”, arena de trituración de Cachibí en la fracción pasa 3/8” y retenido N° 16, y

aglutinado de polietileno de baja densidad reciclado, los cuales fueron caracterizados mediante los ensayos listados en la Tabla 12. Caracterización de los materiales.

6.1.3 Agregado de plástico aglutinado (APEBD)

El agregado reciclado es producto de láminas de polietileno de baja densidad; recolectado, lavado y reducido en un recipiente que posee aspas cortantes que por efecto de la rotación y la fricción elevan la temperatura de las láminas hasta convertirlas en tiras de aprox. 20mm x 20mm, para luego ser enfriadas súbitamente con agua a temperatura ambiente, lo cual por efecto de un choque térmico aglutina las fibras en gránulos amorfos de varios tamaños.

Este material se caracterizó granulométricamente en los laboratorios de la universidad del Cauca, y para la determinación de porosidad se solicitó el apoyo del laboratorio de la universidad de Antioquia, Grupo de Investigación de Procesos Físicoquímicos Aplicados PFA. Los cuales se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 12. Determinación de la porosidad de un material Polimérico

Densímetro Accupyc Bajo Norma ASTM B923- 2010	Densidad Real	pr = 0.9415	
	Densidad Aparente	pa = 0.33 g/cm3	
Porosidad	Porosidad		$\epsilon = 0.056$
	Porosidad Interna	Agua a T° ambiente	$\epsilon = 0.056$
		Agua a 40°C	$\epsilon = 0.062$
		Etanol al 70% a T° ambiente	$\epsilon = 0.056$
Liofilizador Freezone 6 Plus	Método de Liofilización	$\epsilon = 0.056$	

Es importante tener en cuenta que para la fabricación de adoquines de concreto; estos deben cumplir los requisitos de calidad de los agregados para concreto y los requisitos de gradación y calidad para los agregados finos y gruesos (estos ensayos en su mayoría se realizaron en el Laboratorio de geotecnia de la Universidad del Cauca)

Tabla 13. Ensayos de verificación y/o caracterización sobre los agregados para adoquines de concreto hidráulico.

Característica	Ensayo	Característica	Valor			Límite	Norma
			A.R.	A.T.	APEBD		
	Equivalente de arena.	EA	91%	55%	-		INV E – 133
Características intrínsecas de los materiales	Análisis Granulométrico de los agregados grueso y fino. Tamaño Máximo: T. Max.: Coeficiente de uniformidad: (Cu)	T. Max.:	3/8"	3/8"	3/8"		INV E – 213
		(Cu)	3.27	-	3.39		
	Densidad Bulk (Peso Unitario) y porcentaje de vacíos de los agregados en estado suelto y compacto.	Suelto	1491Kg/m3 44.3%Vv	1442Kg/m3 47.3%Vv	363Kg/m3 56%Vv		INV E – 217
		Compacto	1617 41%		409 51%		
Densidad, densidad relativa (Gravedad Específica) y absorción.			2.6	2.74	0.94		INV E – 223
			1.8%	2.8%	6.3%		
Calidad	Presencia de impurezas orgánicas en arenas usadas para la preparación de morteros o concretos.		No contiene (C.R. =1)	No contiene (C.R. =1)		C.R. >3	INV E – 212
	Solidez de los agregados frente a la acción de soluciones de sulfato de magnesio.	A. Fino	15%			15% Max	INV E – 220
Forma y textura	Determinación del contenido de vacíos de agregados finos no compactados (Influenciado por la forma de las partículas, la textura superficial y la granulometría).	% vacíos en agregado fino sin compactar	44.3%				INV E – 239

A.R.: Arena de Río

A.T.: Arena de Trituración

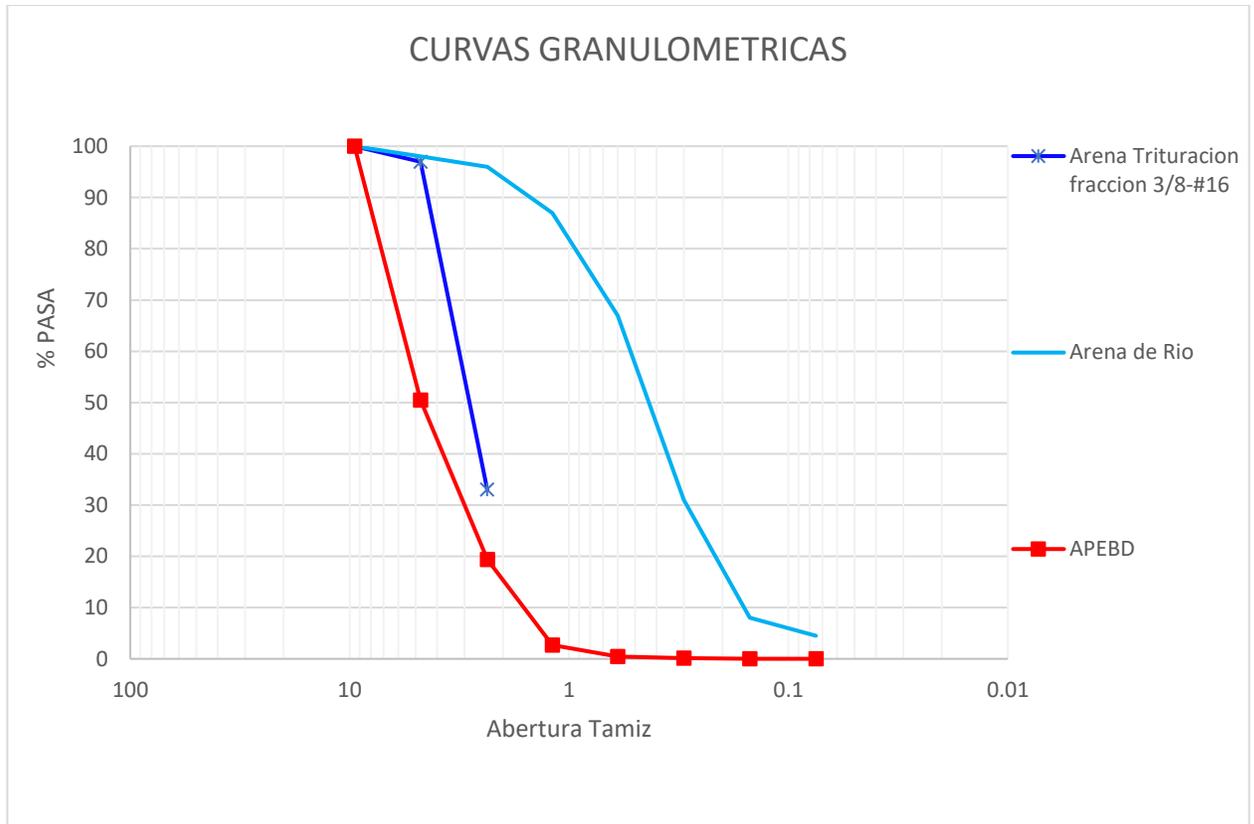


Ilustración 2. Curvas Granulométricas de los agregados

6.2 Etapa 2. Diseño de Muestras

Para el diseño de mezcla para los bloques de concreto encontramos recomendaciones de tipo general en la publicación del ICPC Notas Técnicas “Fabricación de adoquines de concreto” en la cual se detallan unas proporciones en volumen y en masa pero esta misma guía aclara que son una base para iniciar la producción y se deberán ajustar según la disponibilidad de materiales, equipo y resistencias requeridas. Así mismo, se empleó como referente la investigación realizada por Dowson, en su artículo “*Mix desing for concrete block paving*”, en la cual se evaluó 90 mezclas de agregado en toda Europa con el fin de diseñar una curva para dar una superficie cerrada al combinar los agregados seleccionados para que se ajuste

lo más posible a la gradación de los agregados recomendada, la cual se escogió basándose en lograr una estructura con el menor volumen de vacíos de acuerdo con el ensayo.

6.2.1 Resistencia Característica

El desarrollo de la resistencia en concretos para adoquines aumenta con el tiempo en condiciones favorables, en las especificaciones del INIVIAS y NTC se establece como parámetro de control la resistencia a los 28 días. La calidad del hormigón se evalúa en términos de los esfuerzos que es capaz de soportar, ésta es susceptible a diversas variables; debido a ello la mezcla debe diseñarse para que tenga una resistencia media considerablemente más alta que la resistencia característica especificada.

En el artículo de Dowson, en mención se expone la siguiente expresión para obtener la resistencia característica cuando no hay datos disponibles, en función de la resistencia especificada y la desviación estándar

$$\text{Resistencia característica de diseño} = \text{Resistencia promedio} - k * SD$$

Donde, $k = 1.64$ para un 5% de los datos por fuera de la media

SD= Desviación Estándar

Sin un historial de datos el autor sugiere:

- Máquina de presión, pequeño número de bloques por ciclo $SD = 3.5N/mm^2$
- Vibración, varios bloques por ciclo $SD = 7.0N/mm^2$

Se escoge una desviación estándar de **$SD = 7.0N/mm^2$** (Mpa), por la forma de producción de varios bloques en una bachada y la resistencia promedio a compresión solicitada por la especificación artículo 510-22, es igual a 55 Mpa

$$\text{Resistencia Promedio de la Mezcla} = 55Mpa + 1.64 * 7$$

$$\text{Resistencia Promedio de la Mezcla} = 66.48Mpa$$

6.2.2 Diseño de la Mezcla de control

El diseño de la mezcla puede considerarse como el proceso de selección de la proporción de los materiales que componen el hormigón, con la suficiente trabajabilidad y cohesión para producir un producto que cumpla las especificaciones con un grado adecuado de control de calidad. Basamos el procedimiento siguiendo entre otras las recomendaciones de los siguientes autores: Dowson, notas técnicas del ICPC y Matallana. (s.f.)

6.2.3 Relación Agregado/Cemento

Dowson (s.f.), en su artículo “*Mix desing for concrete block paving*” expone la siguiente figura como guía para establecer la relación agregado/cemento en función de la resistencia promedio.

La curva no llega a la resistencia media, por tanto, utilizamos la mayor resistencia de diseño para hallar la relación Agregado / Cemento (A/C)

Cemento = 1; se normaliza todas las cantidades a la proporción del cemento.

Agregados = 3

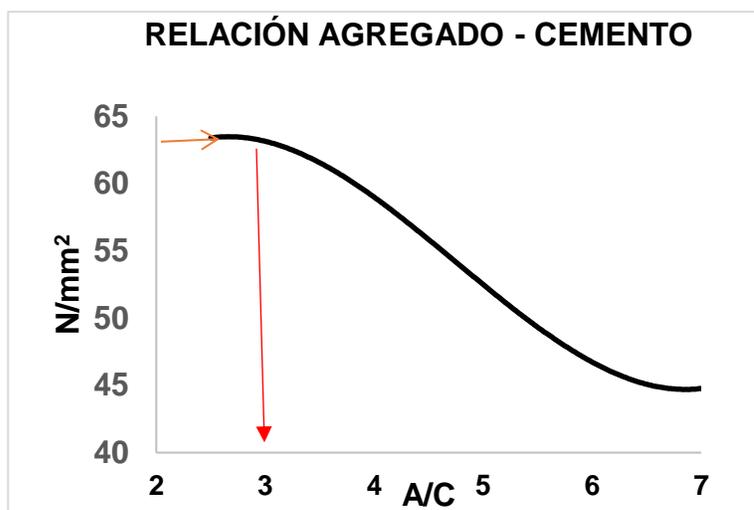


Ilustración 3. Agregado/Cemento vs Resistencia Media

6.2.4 Contenido de cemento por m³ de mezcla

El contenido mínimo de cemento por m³ de mezcla según la norma europea Pr EN 1338: 2010 debe ser 380kg/m³.

En el mismo artículo Dowson (s.f.), nos orienta del contenido de cemento por m³ de mezcla, en función de:

- Tipo de agregado:
- Porcentaje de humedad:
- Resistencia promedio:

Para nuestro experimento tenemos:

Arena natural de río y arena de trituración

Humedad de la mezcla 7.8% (obtenido por extrapolación), ver Tabla 15

Resistencia a Compresión Rca = 66 Mpa (fuera de gráfico)

Por lo tanto:

- Contenido de cemento = 570kg/m³, ver Tabla 14

Tabla 14. Contenido de cemento por m³ de mezcla [Dowson]

Table 2: de Dowson			
Aggregate type	Cement content kg/m ³	% Moisture content	Mean strength N/m ³
Natural sand and Gravel	456	5.9	57.9
	570	6.1	69.0
	570	7.1	67.5
Sand and Granite	380	5.2	53
	380	7.0	53.5
	456	5.0	55
	456	6.8	56
	570	5.2	61
	570	6.9	67
Granite	456	6.9	55.5
	570	5.4	59.0
	570	6.9	62.0

6.2.5 Proporciones de la mezcla de control

La relación agua - cemento (a/c) de la mezcla de control y la proporción de cemento con los agregados se calculó de la siguiente manera:

Según lo mencionado por Dowson (s.f.), “la elección del contenido de agua normalmente se encuentra entre 5 y 7% de humedad del peso total de la mezcla”.

Tabla 15. Proporciones de la mezcla de control

Relación agua/cemento (a/c)		
Cemento/m ³ =		570 kg/m ³
Agregado/Cemento =		1 : 3
Agregados =		1710kg/m ³
W _{mezcla} =		7.80%
Agua =		192.88*
a/c	=	0.34

6.2.6 Proporciones de los agregados (Combinación de agregados):

La limitación de obtener una gradación ideal en un solo material, requiere la mezcla de dos o más agregados, para lograr las gradaciones del ICPC (1986) y Dowson (s.f.) que hemos referido en este estudio; las cuales se muestran en la Tabla 17 y en la ilustración 4.

- ICPC (1986), recomienda buscar una granulometría completa (arena y agregado grueso) de modo que “si el tamaño máximo es igual o menor que el recomendado será más fácil obtener superficies lisas, bien terminadas y el manejo de la mezcla también será más fácil; si por el contrario el tamaño máximo es mayor, se dificultará el manejo de la mezcla y tenderán a aparecer irregularidades en el acabado de los adoquines”.
- La curva granulométrica de Dowson (s.f.) se ha obtenido utilizando el medidor de vacíos para determinar el porcentaje más bajo posible de vacíos de aire para una amplia gama de áridos, y ha sido confirmada por un gran número de diferentes agregados, con 90 gradaciones distintas en toda Europa. Está diseñada para dar una superficie de textura cerrada, pero al aumentar el contenido grueso de la mezcla, se produce una apariencia de textura más abierta.

Fase de ajuste y experimentación

Con el fin de satisfacer un balance ideal entre manejabilidad, economía, resistencia mecánica, durabilidad, apariencia y densidad. Se efectuaron mezclas de prueba con el

fin de realizar ajustes al diseño, hasta obtener resultados satisfactorios en base a propiedades mecánicas, manejabilidad y acabado superficial.

6.2.7 Ajuste en la mezcla de prueba

Se calcularon dosificaciones de mezclas variando porcentajes de Arena de trituración, arena de río y relación agua cemento para evaluar su manejabilidad y acabados, y así después de un tiempo de fraguado someterlas a ensayos de compresión, flexión y absorción, donde se evaluaron sus propiedades mecánicas y físicas (ver tabla 16).

Básicamente lo que buscamos fue hacer un ajuste variando proporciones de arena de río y arena de trituración mediante el diseño de mezcla de agregados, tomando las granulometrías recomendadas por ICPC y Dowson principalmente.

Tras la aplicación de varios métodos de combinación, se fabricaron adoquines con más de once (11) mezclas para ensayos de prueba.

Los cálculos iniciales arrojaron resultados de 50% Arena de trituración y 50% Arena de río, cuya mezcla resultante fue la que más se ajustó a la granulometría recomendada por el ICPC, pero sobrepasa los umbrales de la granulometría sugerida por Dowson, la cual busca mezclas que tienden a ser textura abierta (ver ilustración 2), incrementando la probabilidad de aumentar la porosidad. Por el tipo de material con el que se cuenta en la región, se probaron otras proporciones, tales como 60%A.R. y 40%A.T., la cual presento en su momento gran cantidad de material pasa 200.

Posteriormente se hicieron otras variaciones de proporciones de agregados con 25%A.T., 75%A.R. y 20%A.T., 80%A.R. junto con diferentes relaciones agua cemento desde 0.35 a 0.38 , la mayoría de estas mezclas tienen una gran cantidad de finos y por consiguiente un alto consumo de cemento como consecuencia de la superficie específica del pasa#200, con estas proporciones no se logró resultados satisfactorios,

donde se evidenció que la presencia de finos promueve la formación de grumos en el proceso de mezclado, también se presentó deficiente acabado superficial en algunas de éstas, así como también bajas resistencias en otras, por todo lo anterior se hizo una mezcla de prueba descartando el pasa #16 de la arena de trituración y con una relación agua cemento de 0.33 y en la proporciones de 30 A.T. y 70% A.R, con lo cual se mejoró el comportamiento en estado fresco no se presentaron grumos, pero aun los resultados de resistencia no fueron satisfactorios.

Tabla 16. Fase de ajuste de la fórmula de trabajo para mezcla de control

TIPO DE MEZCLA						Resistencia a la flexión Promedio 5, Mayores (Mpa)		Resistencia a la compresión Promedio 5, Mayores (Mpa)	Observaciones
Tipo muestra	Fecha Fabricación	A.R.	A.T	APEBD	a/c	Absorción %	28 días	28 días	
M11	3-feb-23	70	30	0%	0.31	4.71	5.39	25.59	Variar los tiempos de vibración Variar la forma de mezclado Mejor acabado
M10	3-feb-23	70	30	0	0.33	7.47	3.01	10.19	Vibrado previo en el llenado de la mezcla N°10. Tiempo de vibrado 30seg Suponemos relación A/C=0.31 por secado de la mezcla El mejor acabado de todos hasta ahora
M9	24-ene-23	80	20	6%	0.35	15.77	0.31	1.90	Tiempo de compactación= 10seg Presenta desmoronamiento Se observa falta de cobertura en los agregados
M8	24-ene-23	80	20	N.A.	0.35		0.66	5.22	
M7	24-ene-23	80	20	N.A.	0.35	15.4	0.4	2.35	
M6	22-dic-22	75	25	N.A.	0.38	8.63	3.33	17.94	El comportamiento en cuanto a resistencia no es acorde con la bibliografía
M5	22-dic-22	75	25	N.A.	0.33	10.84	1.42	20.40	
M4	9-dic-22	60	40	N.A.	0.33	9.36	3.75	22.90	
M3	7-dic-22.	50	50	N.A.	0.33	10.85	3.50	40.91	Acabado deficiente presenta grumos Y una absorción importante superior al 7%
M2	nov-21.	50	50	N.A.	0.35		4.76	41.27	
M1	nov-21.	50	50	N.A.			0.13		Mezcla para ajustar el comportamiento del equipo

Teniendo en cuenta los hallazgos presentados durante la fabricación de la mezcla, Seleccionamos la proporción 30%A.T. (fracción 3/8" - #16) y 70%A.R. y disminuimos la relación agua cemento a 0.31 con la que obtuvimos los resultados más consistentes en

todos los aspectos ya mencionados. A continuación, se resumen los resultados granulométricos; y se ha graficado en la siguiente ilustración:

Tabla 17. Proporción de los agregados y gradación resultante

Gradaciones						
Tamiz (mm)	Recomendadas		Agregados			Combinación resultante (muestra de control)
	ICPC (1986)	Dowson (s.f.)	A.T.	A.R.	APEBD	AT: 30% AR: 70% APEBD: 0%
9.5	100	100	100	100	100	100
4.75	85	60	97	98	50.5	98
2.36	65	40	33	96	19.4	77
1.19	50	35	0	87	2.7	61
0.6	35	25		67	0.44	47
0.3	15	7		31	0.11	22
0.15	5	2		8	0.03	6
0.075	3	0		4.5	0.01	3.2

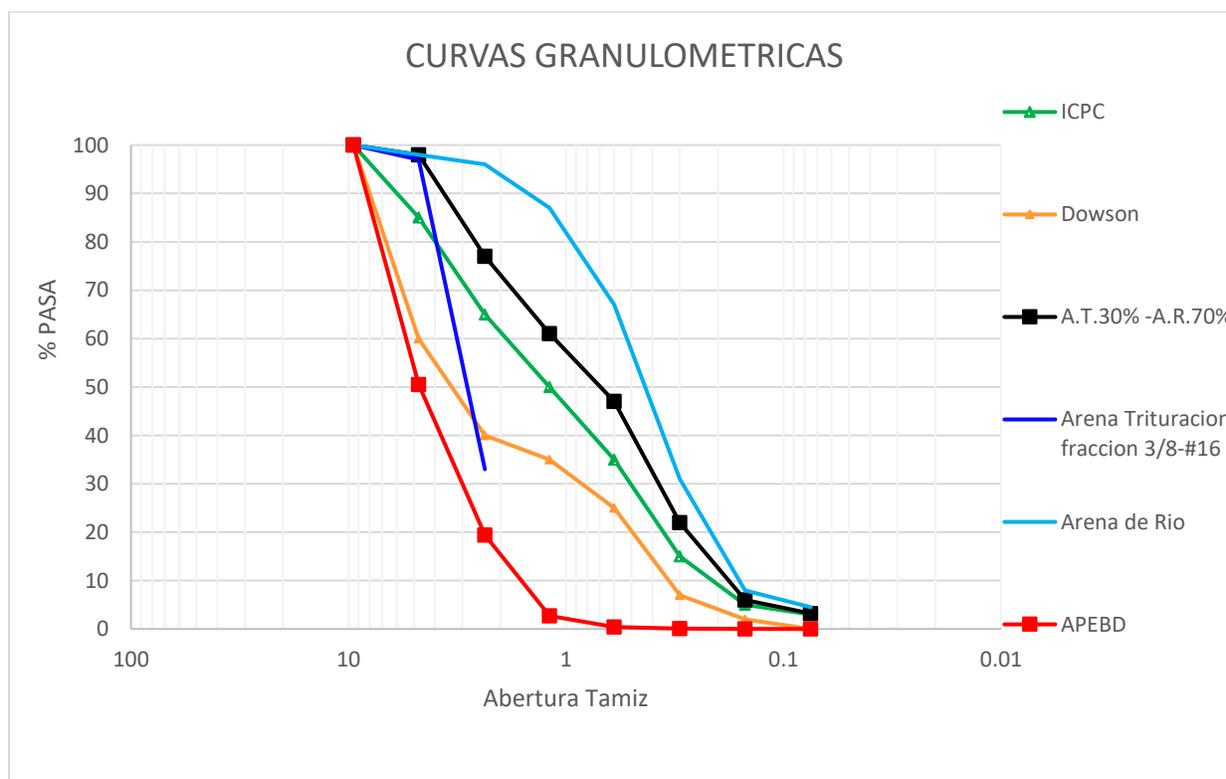


Ilustración 4. Curvas Granulométricas

6.3 Etapa 3 Elaboración de los adoquines de concreto

En esta etapa se utilizaron insumos tales como cemento hidráulico, agregados, agua y aditivos; equipos como mezcladora y máquina vibro compactadora para elaborar adoquines de concreto rectangular.

6.3.1 Fabricación y curado de adoquines de control y con adición de APEBD

Se elaboraron los adoquines comenzando por la muestra de control y dosificando el APEBD en los porcentajes 1%, 2%, 4% y 6%, respecto de la masa de los agregados,³ limitando el porcentaje de APEBD a un máximo de 6% debido que una mayor adición ocasiono durante el proceso de fabricación la rotura al momento de retirar las probetas del molde por falta de cohesión en estado fresco de la mezcla; una vez elaborados los adoquines previstos se les dio el curado recomendado que consistió en mantenerlos húmedos y protegidos por una cubierta plástica que minimiza la pérdida de agua necesaria para hidratar el cemento y con esto garantizar el adecuado desarrollo de resistencia.



Ilustración 5. Materiales para fabricación de adoquines



Ilustración 6. Fabricación de adoquines



Ilustración 7. Algunos gránulos de APEBD se transforman en fibras durante el mezclado



Ilustración 8. Se resalta APEBD en forma de fibras por efecto del mezclado



Ilustración 9. Motores de rotación excéntrica que ejercen vibración para compactar la mezcla



Ilustración 10. Adoquines desmoldados de la máquina de fabricación

6.4 Etapa 4 Ensayos de control de calidad (Prueba de especímenes)

Como ya específico en las tablas 2, 3 y 4 del presente documento en Colombia para evaluar la calidad de adoquines de concreto se puede tomar de referencia las Normas Técnicas Colombianas con la NTC 2017 de 2004 o las Especificaciones Técnicas del Instituto Nacional de Vías INVIAS con su artículo 510-22. A continuación se muestra en las siguientes imágenes, los ensayos y fallos obtenidos al someter los adoquines a pruebas de resistencia mecánica.

6.4.1 Norma Técnica Colombiana NTC- 2017

Módulo de Rotura (MR) – Resistencia a la Flexión

En este ensayo se mide la resistencia a la flexotracción de los bloques bajo condiciones normalizadas aplicando una carga puntual en el centro de la luz del elemento prismático apoyado en 2 puntos y se determina el máximo esfuerzo de rotura alcanzado durante la falla.



Ilustración 11. Ensayo de resistencia a flexión



Ilustración 12. Falla típica de un adoquín sometido a ensayo de flexión



Ilustración 13. Ensayo de resistencia a la flexión



Ilustración 14. Falla llevada a la rotura bajo el ensayo de resistencia a la flexión

Absorción

En este ensayo se lleva hasta masa constante cada espécimen en un horno a 110°C, luego se saturan por un tiempo de alrededor de 24 horas, se mide la masa de agua que ingreso a los poros expuestos del adoquín y se la expresa en términos de un porcentaje referido a la masa seca de cada bloque de concreto.



Ilustración 15. Proceso de secado de los adoquines, para peso seco al horno



Ilustración 16. Peso del adoquín sumergido

Densidad

Esta se determina mediante medidas de masa en el aire seca y en el agua previa saturación todo con el fin de determinar con precisión la relación entre la masa de cada uno de los adoquines y su correspondiente volumen normalizado a una unidad volumétrica.



Ilustración 17. Peso Saturado superficialmente seco



Ilustración 18. Dimensiones de los adoquines

6.4.2 Especificaciones Generales de Construcción INVIAS actualización año 2022

Resistencia a la compresión (f'_c) INV E-426

En resumen, para determinar la resistencia a la compresión se aplica una carga perpendicular al plano mayor del adoquín hasta llevarlo a la falla bajo las condiciones controladas según lo especificado por la norma en cuanto a velocidad de carga y condiciones geométricas del espécimen de ensayo.



Ilustración 19. Ensayo de resistencia a la compresión a los 28d



Ilustración 20. Adoquín de concreto sometido al ensayo de resistencia a la compresión



Ilustración 21. Falla de un adoquín sometido al ensayo de compresión

6.5 Etapa 5 Resultados, comparación, análisis y conclusiones

6.5.1 Resultados

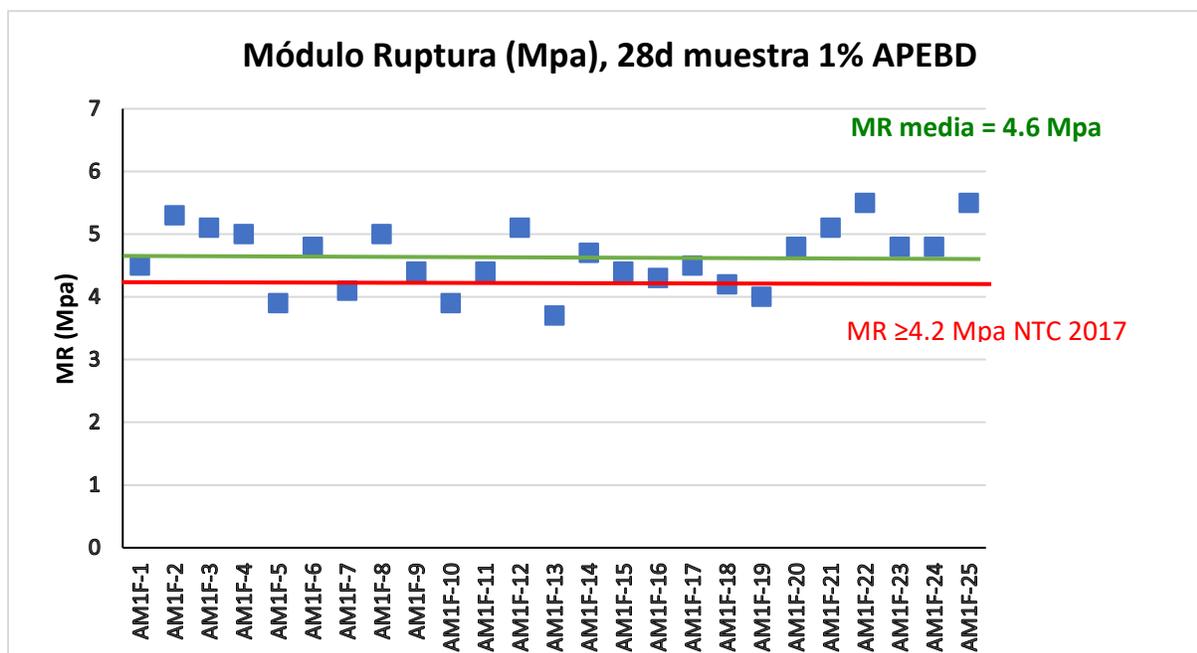
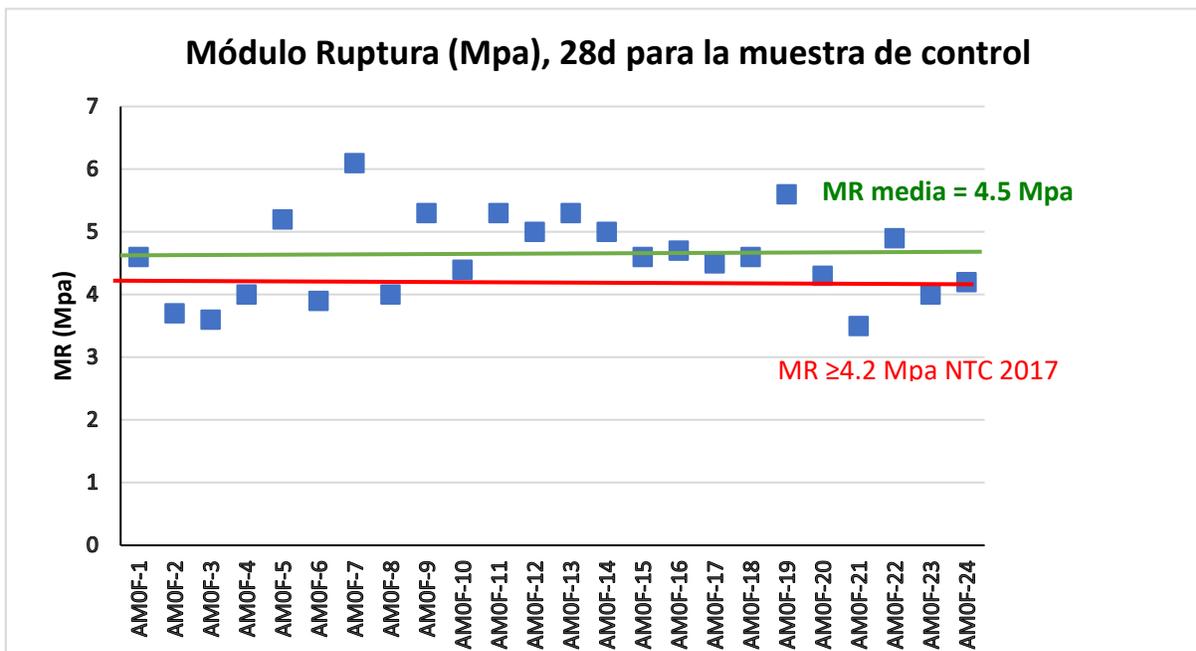
En los anexos “resistencia a la flexión de adoquines” y “Resistencia a la compresión de adoquines”, se resumen los cálculos y resultados con los que se graficaron los siguientes resultados por cada % de adición del aglutinado

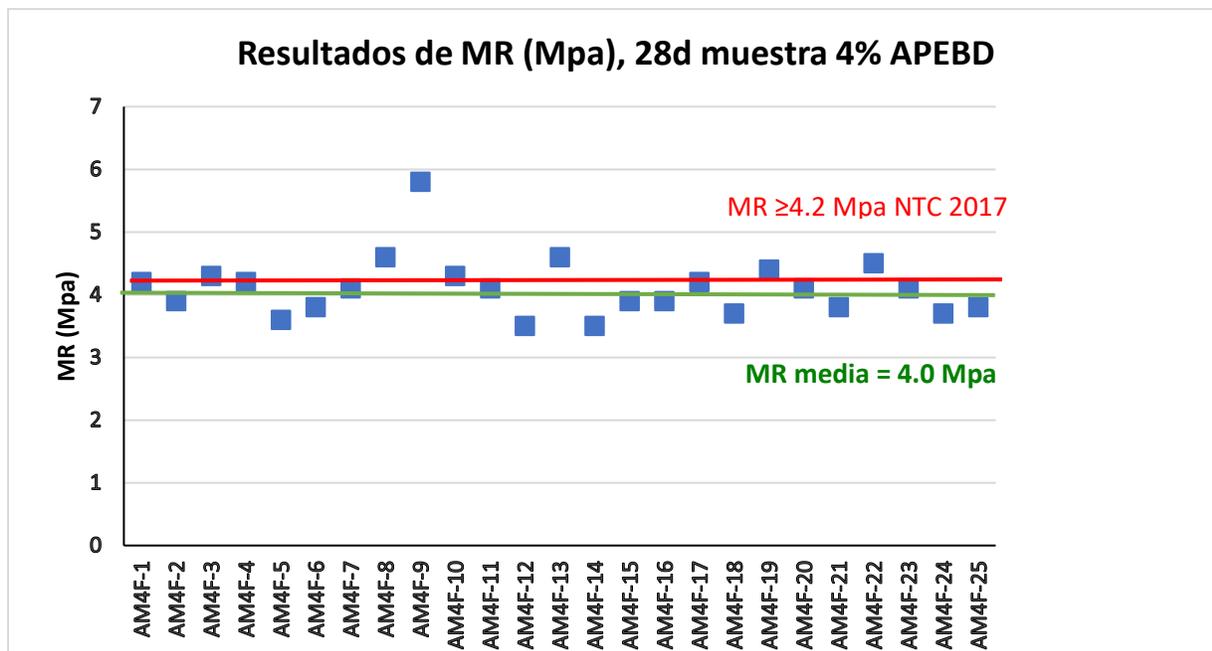
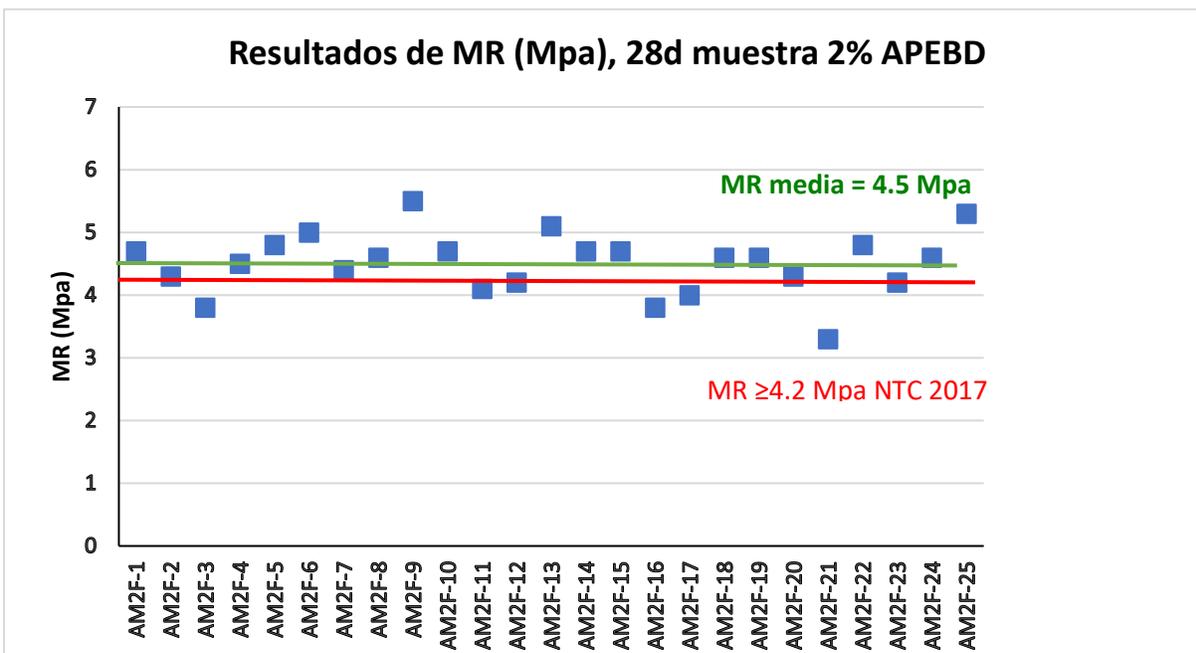
6.5.2 Comparación de data

Se evaluaron las propiedades mecánicas en adoquines de concreto (M. Control) y adoquines con incorporación de aglutinado de polietileno reciclado en porcentajes de 1% vs 2% vs 4% vs 6%. (Ver anexo. Eval. Prop. Mecánicas)

Módulo de Rotura (MR)

A continuación, se muestra gráficamente los resultados de la Evaluación de la resistencia a flexión en Adoquines Rectangulares de concreto con incorporación de aglutinado de polietileno reciclado en porcentajes de 1%, 2%, 4%, 6% y 6.4%.





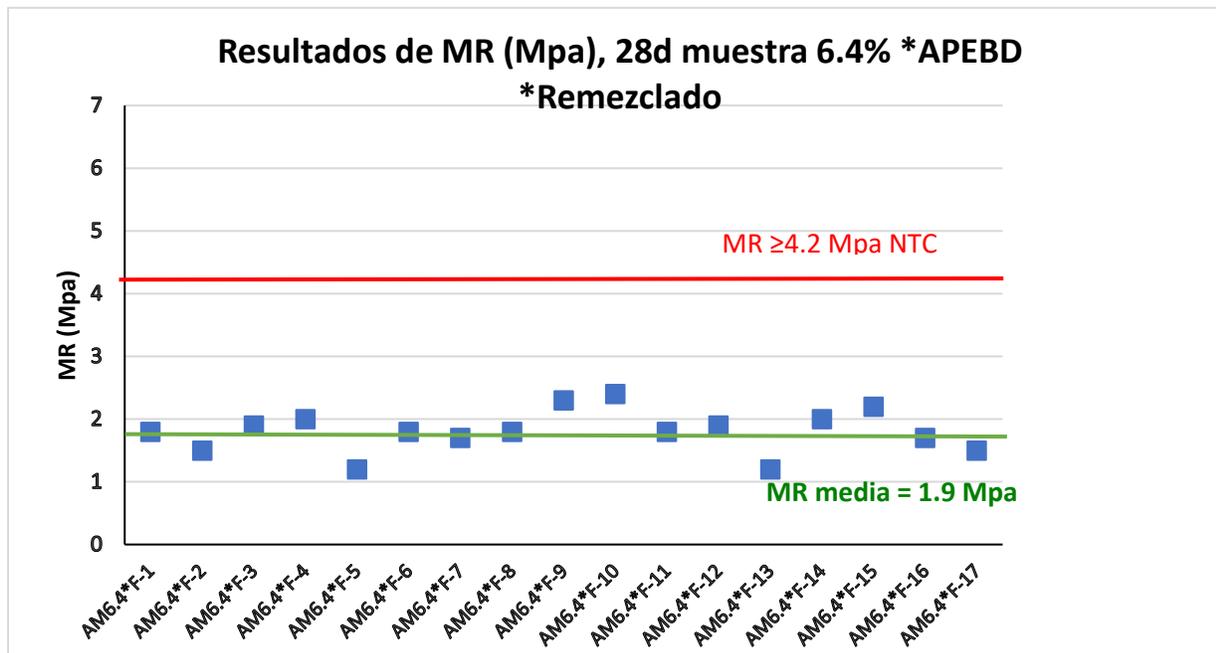
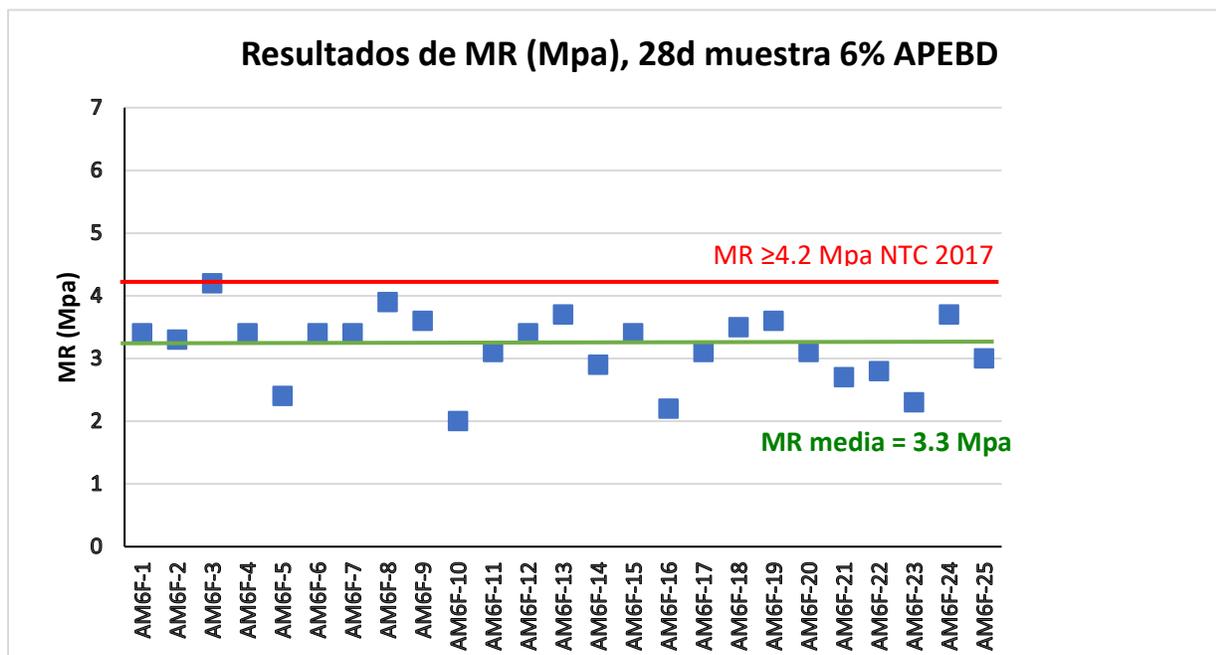
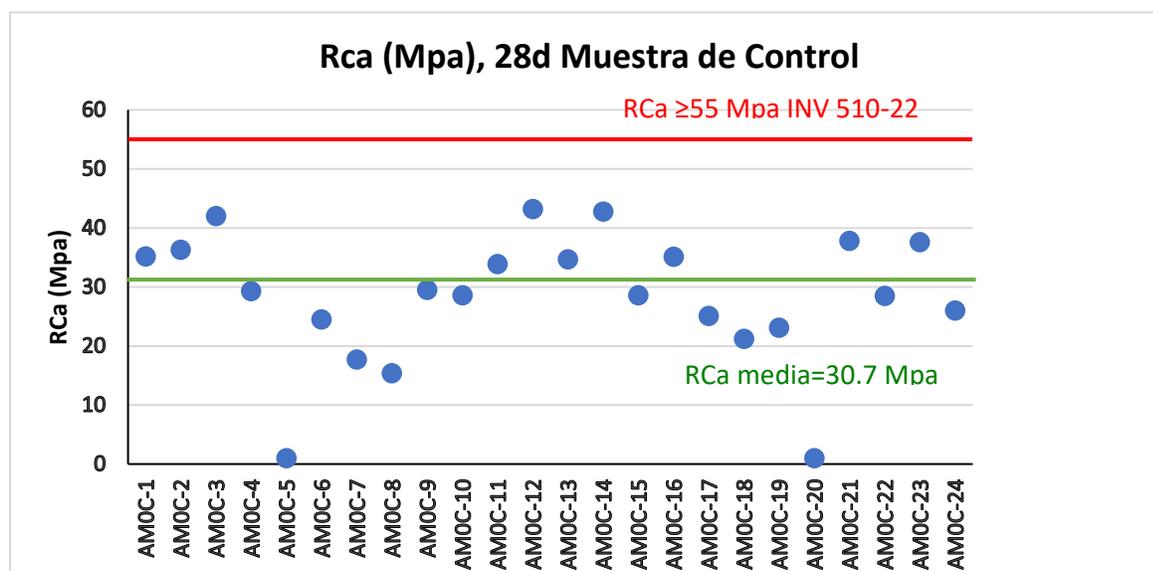


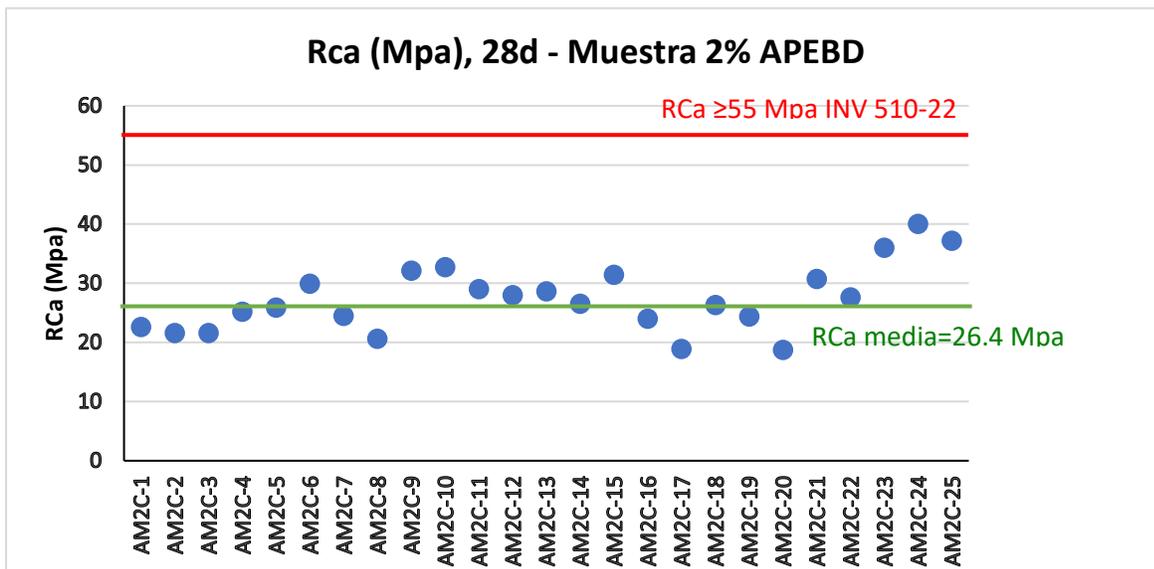
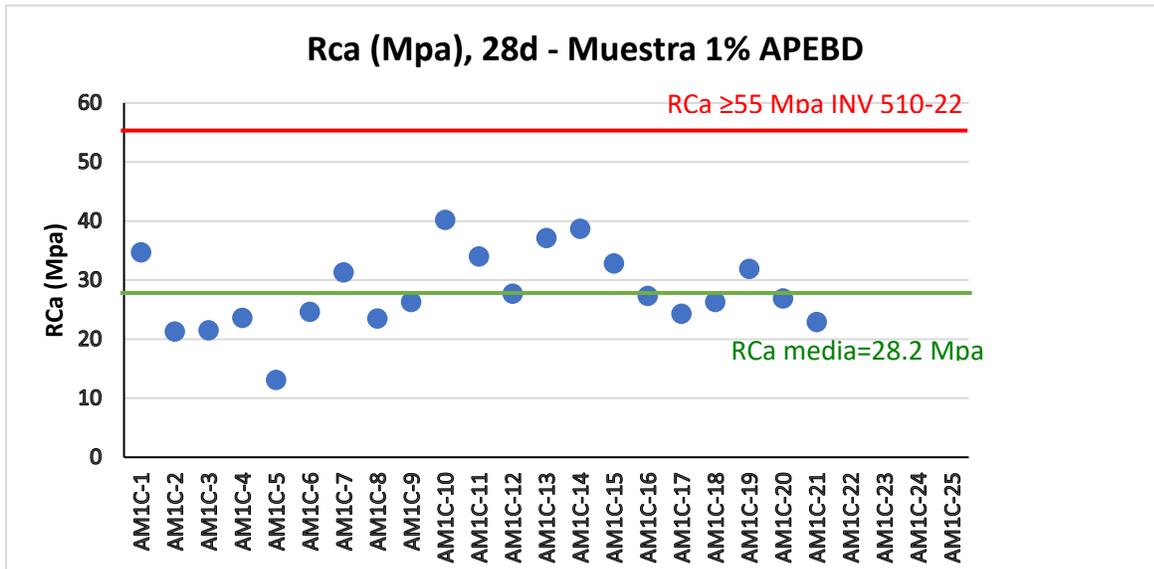
Tabla 18. Comparación de resultados de resistencia a flexión de adoquines + %APEBD con las especificaciones de diferentes organismos.

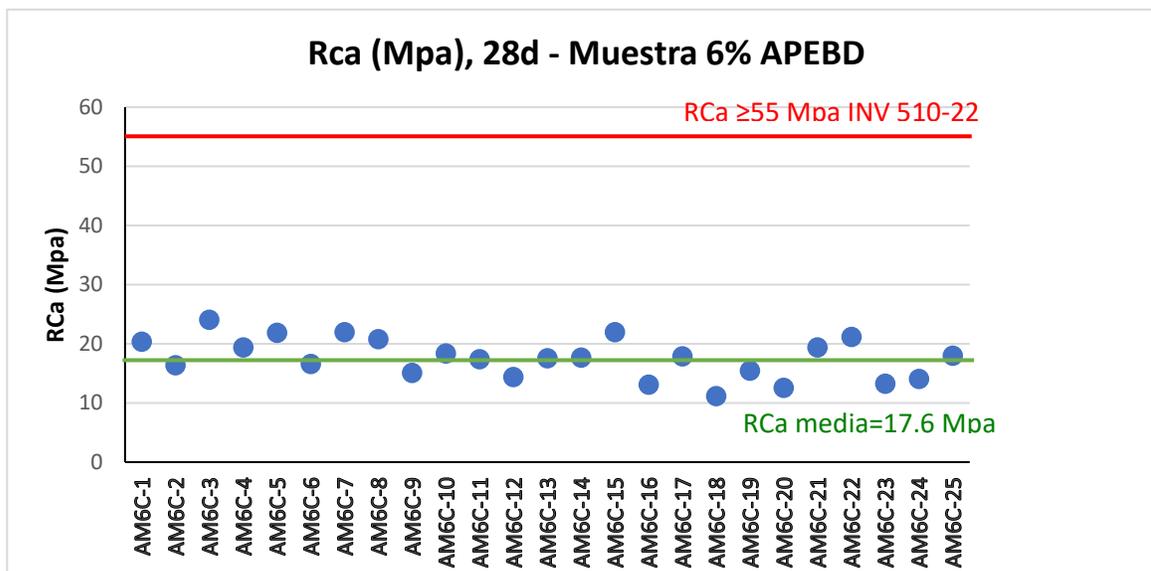
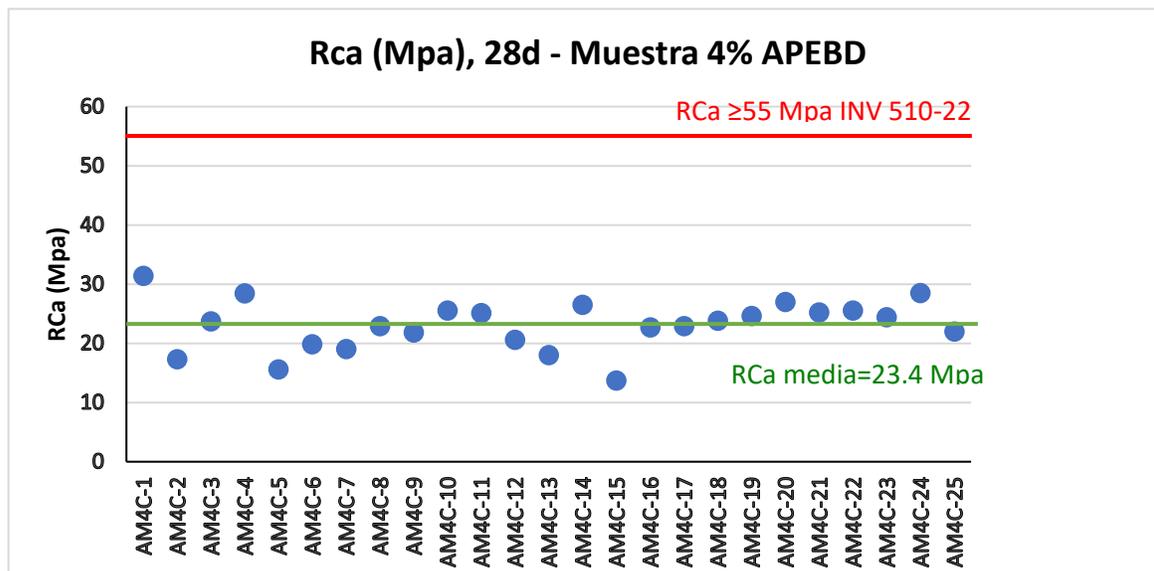
NORMA TECNICA	REQUISITO	Valores Mr aceptables del experimento
Normas Técnicas Colombianas Adoquines de concreto para pavimentos NTC 2017-2004	MR \geq 4.2 Mpa, promedio de 3 unidades y valor individual Mínimo 3.8 Mpa, con chequeo de resistencia a la abrasión	Concreto Muestra de control: Mr= 4.5 Mpa Mezcla Concreto + 1%APEBD: Mr=4.6 Mpa Mezcla Concreto + 2%APEBD: Mr= 4.5 Mpa
Instituto Argentino de Normalización y certificación IRAM Norma 11656	MR \geq 4.2 Mpa, promedio de 3 unidades y valor individual Mínimo 3.8 Mpa, con chequeo de resistencia a la abrasión	
Norma Europea PrEN 1338:2010,	Promedio de 8 unidades $T^* \geq$ 3.6 Mpa, Valor individual $T_i \geq$ 2.9 Mpa, T^* = Tracción Indirecta	No aplica

Resistencia a la compresión (f_c)

A continuación, se muestra gráficamente los resultados de la Evaluación de la resistencia a compresión en Adoquines Rectangulares de concreto con incorporación de aglutinado de polietileno reciclado en porcentajes de 1%, 2%, 4%, 6% y 6.4%.







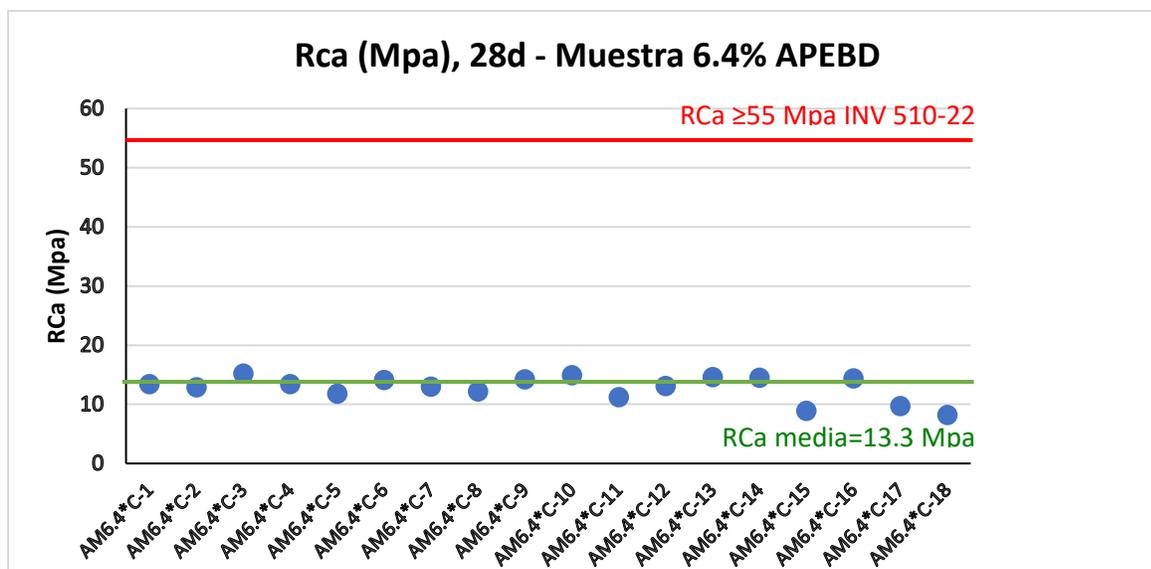


Tabla 19. Comparación de resultados de resistencia a Compresión de adoquines + % APEBD entre especificaciones de diferentes organismos

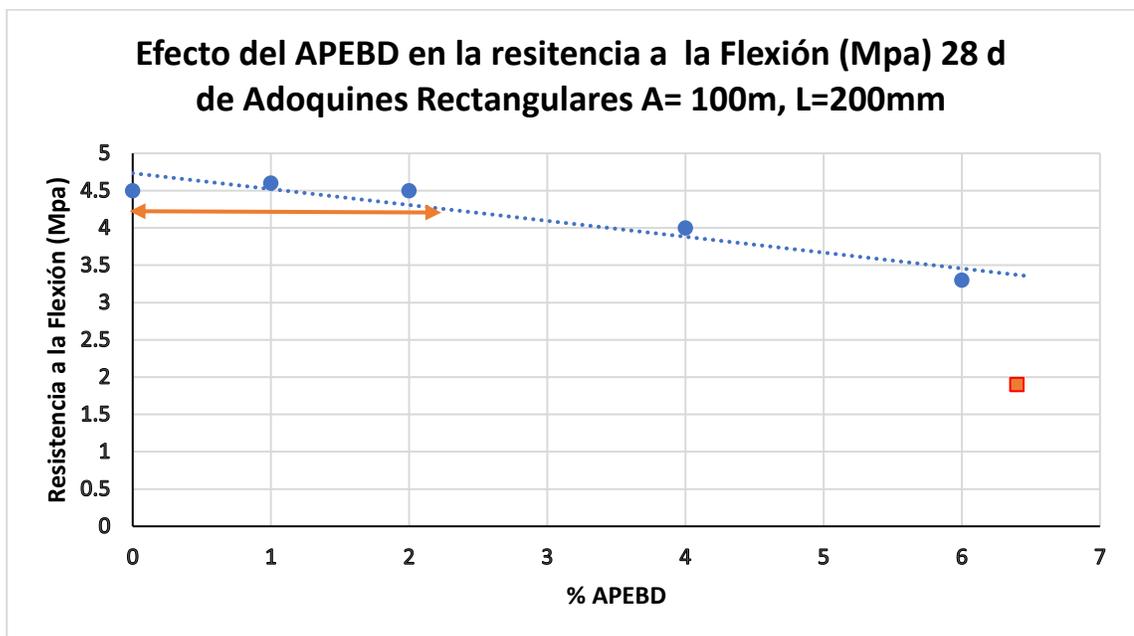
NORMA TECNICA	REQUISITO	Valores Fca experimento	Valores Fca experimento (Mpa)
INVIAS Art. 510-22	NT1: Sin valor NT2-NT3: Mínimo 55 Mpa, Valor Individual mínimo 50 Mpa	Concreto Muestra de control Fca= 30.7 Mpa Mezcla Concreto + 1%APEBD: Fca=28.20 Mpa Mezcla Concreto + 2%APEBD: Fca= 26.40 Mpa	
Norma Britanica Precast concrete paving blocks BS 6717	Minino 49 Mpa, valor individual Mínimo 40 Mpa		
Solid Concrete Interlocking Paving Units ASTM C 936 – 08	Mínimo 55 Mpa, ningún valor individual menor a 50 Mpa		
Norma Europea PrEN 1338:2010,	Promedio de 8 unidades $T^* \geq 3.6$ Mpa, Valor individual $T_i \geq 2.9$ Mpa, T^* = Tracción Indirecta	No aplica	

6.5.3 Análisis de Resultados

✓ Efecto del APEBD en la resistencia a la Flexión 28 Mpa de Adoquines Rectangulares

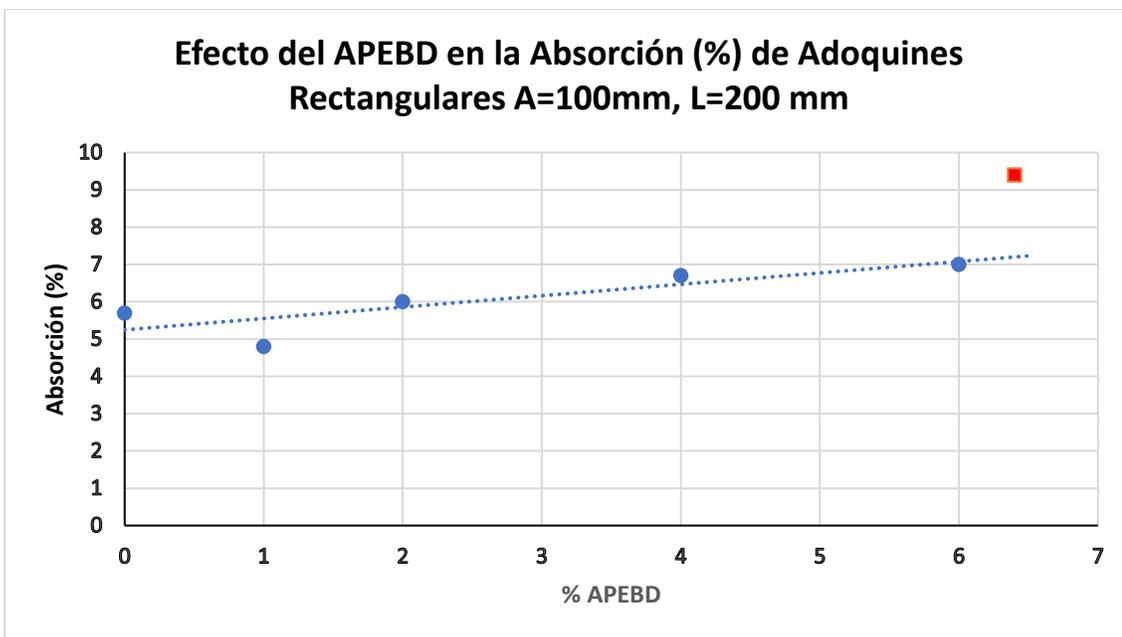
Una vez evaluados los resultados de los ensayos de resistencia a la flexión, se graficó una línea de tendencia de la que se puede leer que: la resistencia a la flexión se reduce a partir de 2% de APEBD en peso seco de los agregados en la mezcla y en el rango de 0-2% la tendencia es mantener el mismo esfuerzo de rotura.

Nota: el punto identificado como un cuadro de color rojo en las gráficas siguientes indica que para estos especímenes fue necesario remezclar los materiales del concreto y por consiguiente no es considerado para determinar la tendencia de las variables analizadas.



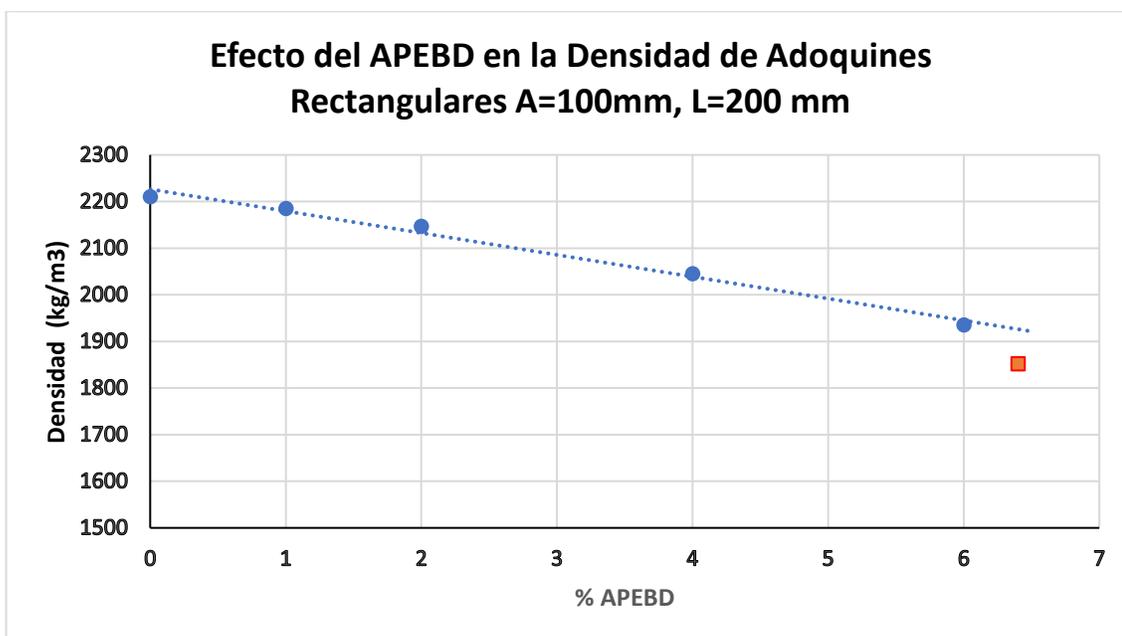
✓ Efecto del APEBD en la Absorción (%) de Adoquines Rectangulares A=100mm, L=200 mm

Con el fin de analizar la relación entre la adición de APEBD y la absorción se graficó una línea de tendencia, la cual muestra que con mayor adición de APEBD, se observa un aumento de la absorción.



- ✓ **Efecto del APEBD en la Densidad (%) de Adoquines Rectangulares A=100mm, L=200 mm**

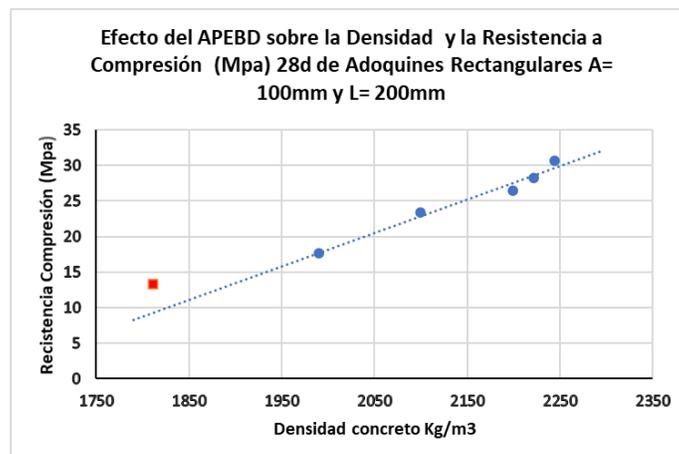
Los resultados gráficos nos muestran el comportamiento esperado que a mayor porcentaje del plástico la densidad disminuye como consecuencia de su menor peso específico.



✓ **Efecto del APEBD sobre la densidad y la Resistencia a la Compresión (Mpa) 28d.**

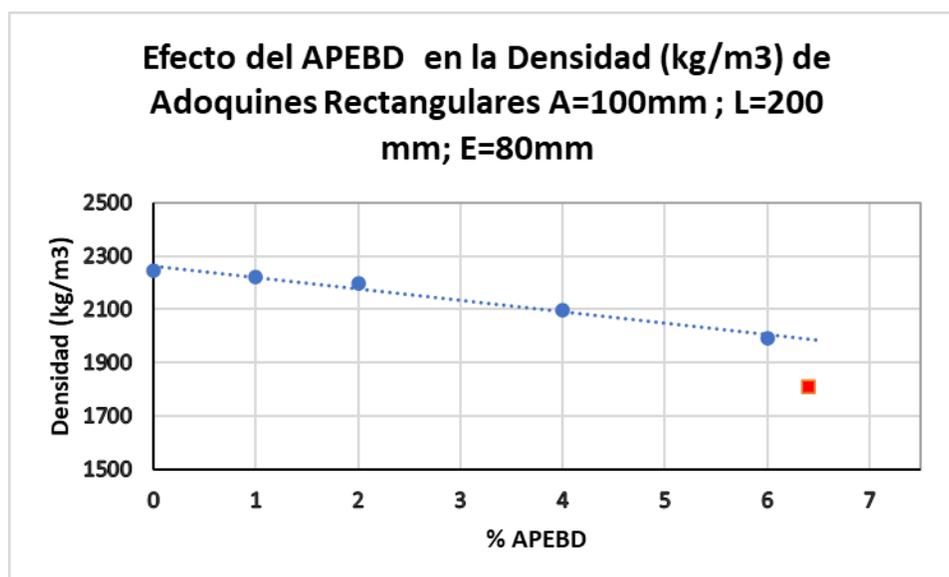
Se logró identificar la relación directa entre la densidad y la resistencia a la compresión de los adoquines, tanto en la muestra de control cómo en las variaciones de adición de APEBD, siendo el comportamiento acorde a lo esperado a mayor densidad del adoquín mayor es su resistencia.

% APEBD	DENSIDAD (KG/M3)	COMPRESION (Mpa) 28d
0	2244	30.7
1	2222	28.2
2	2199	26.4
4	2099	23.4
6	1990	17.6
6.4	1811	13.3



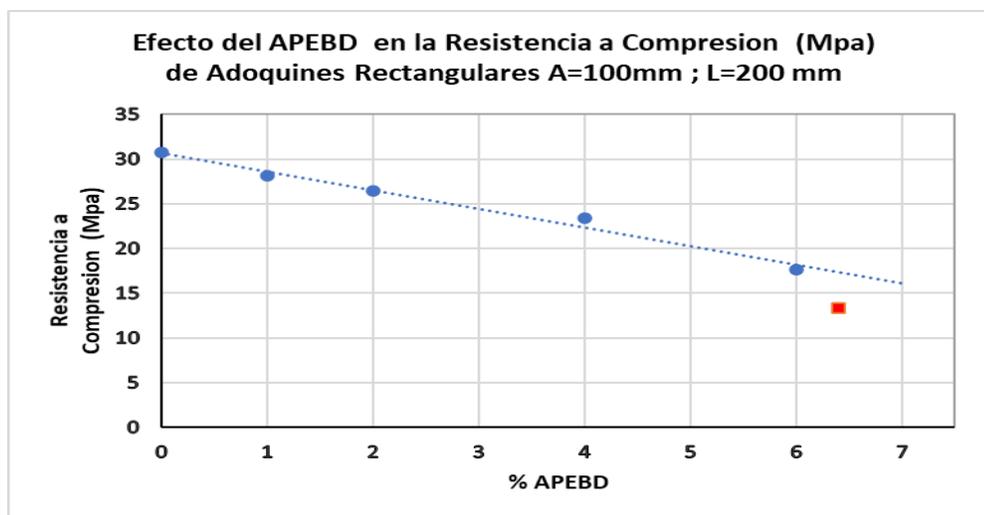
✓ **Efecto del APEBD en la Densidad (kg/m³) de Adoquines Rectangulares A=100mm; L=200 mm; E=80mm**

Se logró identificar una relación lineal inversa entre la densidad y la adición de APEBD, siendo los adoquines más densos los de la muestra de control, que no poseen adición.



✓ **Efecto del APEBD en la Resistencia a Compresión (Mpa) de Adoquines Rectangulares A=100mm; L=200 mm**

Una vez evaluada la resistencia a la compresión en los adoquines en mezcla de control y la mezcla con adición de APEBD, se graficó una línea de tendencia negativa, en la que se lee: a mayor adición de APEBD, menor resistencia a la compresión.



- ✓ La incorporación del APEBD en proporciones menores al 2%, referidas al peso total de los agregados no tiene mayor influencia en los resultados de resistencia a flexión en adoquines ensayados a 28 días, los resultados logrados nos indican que el comportamiento mecánico a compresión no se afecta significativamente hasta 2% de incorporación del APEBD.
- ✓ Se observa que la incorporación mencionada si tiene influencia en la densidad del concreto y la absorción de los adoquines desde el 1% de APEBD, la primera disminuye en razón de la disminución del peso y sobre la segunda propiedad es necesario profundizar en la causa de este efecto.
- ✓ Los resultados logrados nos indican que el material incorporado tiene un aporte efectivo para la prueba a flexión y un tanto menor para compresión, esto puede deberse a que el

APEBD tiene una moderada adherencia con la mezcla de concreto, esta afirmación se puede sustentar con la inspección visual al tipo de falla en los adoquines a flexión, se detalló que varios gránulos se rompieron y no sufrieron desprendimiento de la mezcla de concreto no obstante para otros si se observó su separación del mortero.



Ilustración 22. Falla típica de un adoquín sometido a ensayo de flexión.

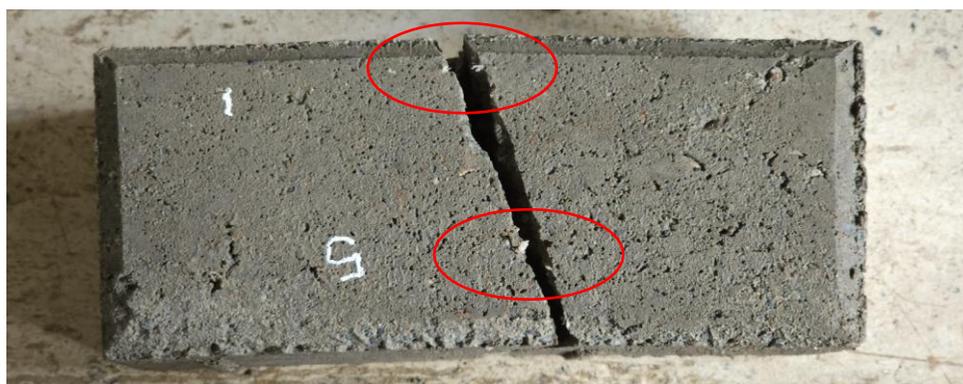


Ilustración 23. Mezcla con 4% de aglutinado bajo el ensayo a flexión presentó adherencia moderada entre al plástico y la mezcla

- ✓ Para los porcentajes mayores a 4% se presentó la falla típica a flexión esperada para el adoquín, aunque algunos gránulos de APEBD de la parte superior no sufrieron ruptura y por consiguiente las dos partes del adoquín no se separaron en su totalidad, lo anterior puede ser influenciado por la forma irregular de los gránulos, en el mismo sentido se observó que algunos de estos en la etapa de mezclado sufrían un desenvolvimiento y se

transformaron en una fibra alargada que dependiendo su posición y orientación en la mezcla se oponen a la propagación de la fisura en el momento de falla del adoquín.



Ilustración 24. Rotura del agregado plástico embebido en la mezcla por las fuerzas de tensión en el ensayo de flexión.



Ilustración 25. Falla a la compresión de un adoquín con aglutinado 1%

7. Conclusiones

- ✓ Se determinó que la incorporación del APEBD en mezclas para adoquines de concreto en un rango de porcentajes entre 0 y 2% en peso de los agregados no disminuye de forma apreciable la resistencia a flexión respecto de mezclas que no tienen esta adición.
- ✓ Para los materiales usados de la región, la resistencia a la compresión de muestras de adoquines rectangulares con incorporación de APEBD disminuye a medida que aumentamos el % del plástico adicionado, en los datos analizados se ve a partir del 1%.
- ✓ La cohesión de las mezclas en estado fresco para fabricar adoquines de concreto rectangulares, disminuye notablemente al incorporar porcentajes de APEBD mayores al 6% en peso de los agregados, y en consecuencia afecta el moldeado de los bloques de concreto.
- ✓ De acuerdo con los resultados logrados en el comportamiento mecánico de adoquines rectangulares bajo solicitaciones de esfuerzos de compresión y flexión realizados en el presente estudio se puede afirmar que con una adición de APEBD del 2% en peso de los agregados no se presentan variaciones considerables en sus respuestas mecánicas a compresión y flexión y por consiguiente el reemplazo de los materiales vírgenes es factible, a partir de los resultados obtenidos en este trabajo con los materiales de nuestra región.
- ✓ El reemplazo de agregados vírgenes de nuestra región por el material sintético APEBD realizado en el presente estudio, es una alternativa viable en términos de su respuesta mecánica a esfuerzos de compresión y flexión para el aprovechamiento de este material producto del reciclaje.
- ✓ El APEBD tiene un potencial uso adicional y por consiguiente la posibilidad de aumentar su explotación en la economía circular propuesta para materiales plásticos de un solo uso para nuestro País.
- ✓ El uso del APEBD en mezclas de concreto puede contribuir positivamente a la disminución de la huella de carbono y la huella de residuos de productos en nuestra región.

- ✓ La incorporación del APEBD en el concreto puede tener un incremento variable en los costos de producción, dependiendo de la oferta y demanda para este material, producto del reciclaje de polietileno de baja densidad; no obstante, será necesario cuantificar el costo de sus beneficios ambientales para establecer el valor real de su utilización y su factibilidad económica.
- ✓ Se puede recomendar el uso de estos plásticos junto con los materiales de la región para la fabricación de adoquines, basados sobre que su resistencia a compresión con la incorporación del APEBD en porcentajes iguales o menores al 2% ocasiona una reducción de esta resistencia de alrededor de un 14% con respecto a muestras que no tienen la adición del sintético, lo anterior junto a los estudios realizados y probados por Shackel (1980), Panda y Ghosh (2002), sobre la baja incidencia que tiene esta respuesta mecánica en el comportamiento de un pavimento de adoquín, no obstante se hace necesario probar su desempeño bajo los otros requisitos que exigen las especificaciones para su completa aprobación.
- ✓ En virtud de lo anterior se verificó la aplicabilidad del polietileno de baja densidad reciclado como agregado alternativo en mezclas de concreto para adoquines, puesto que con una adición de 2% en masa de los agregados, no se aprecia un efecto significativo sobre la respuesta mecánica de los adoquines a esfuerzos de flexión y compresión (ver tabla 18 y 19), y se deja abierta la siguiente pregunta de cómo mejorar su adherencia para incrementar el porcentaje de adición de aglutinado. En la proyección de investigaciones futuras en esta temática.
- ✓ Los adoquines de concreto con incorporación entre 0% y 2% de APEBD cumplen con el requisito de resistencia mínima a flexión solicitado en la NTC 2017, por el contrario, no cumplen con la especificación de resistencia a la compresión del

INVIAS para tránsitos NT2 y NT3 de acuerdo con las especificaciones de esta entidad en su última actualización del año 2022.

BIBLIOGRAFÍA

Abril, M. y Ramos, A (2017). *Identificación de la variación en la resistencia del concreto debido al origen del agregado grueso.* (Tesis pregrado). Universidad Católica de Colombia. Bogotá, D.C.

Al-Hadithi, A. (2015). *The effects of adding waste plastic fibers on some mechanical properties of gap-graded concrete curing by drainage water and sewage water.* Universidad de Anbar. Ramadi-Anbar. Iraq.

Ananthí et al., Study on the effects of Polypropylene fibre, 2017

Angarita, D. y Lizarazo, O. (2018). *Análisis del comportamiento mecánico de adoquines de concreto con adición de fibra de acero de llantas recicladas.* (Tesis de pregrado). Universidad de la Salle. Bogotá D.C. Colombia.

ASTM International. (2016). *ASTM C 936/936M -16 Standard Specification for Solid Concrete Interlocking Paving Units.*

Baldenebro, F. (2015). *Estudio numérico-experimental de fibras de PET y su comportamiento en una matriz de concreto.* (Tesis de doctorado). Universidad Autónoma de Sinaloa. México.

Balaji et al., (2018) Experimental Investigation on Paver Blocks with Partial Replacement of Coarse Aggregates with Plastic Waste.

Balwadaa et al., (2021) *Packaging Plastic Waste Management for a Circular Economy and Identifying a better Waste Collection System using Analytical Hierarchy Process (AHP).* India.

Dowson et al., Mix desing for concrete block paving, (S.F.)

Christian Meyer. (2013). The Greening of the Concrete Industry. The 2013 World Congress on Advances in Structural Engineering and Mechanics Jeju, Korea. Columbia University, New York.

Coicue, L et. al. (2017). *Polietileno de baja densidad como alternativa para mejorar las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica densa en caliente MDC-19.* (Tesis de pregrado). Universidad Católica De Colombia. Bogotá D.C. Colombia.

Costa Del Pozo, A. (2012). *Estudio de hormigones y morteros aligerados con agregados de plástico reciclado como árido y carga en la mezcla.* (Tesis de maestría). Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, España.

ESPTÉCNICAS. (2015). *Especificaciones técnicas para “construcción de pavimento en concreto y empedrarían” en el proyecto “el progreso”, en el municipio de Pueblo Rico del departamento de Risaralda*”. Recuperado de <http://www.pvr.gov.co/sitio/Files/CONVOCATORIAS%202015/CONVOCATORIA042DE2015/ESPTÉCNICAS-CONV042DE2015.pdf>

Ferreira, et al. (2014). *Caracterización física de agregados pétreos para concretos caso: vista hermosa (Mosquera) y mina Cemex (Apulo).* Universidad Católica De Colombia. Bogotá D.C. Colombia

Gómez, R. (2014). *Recuperación del polietileno de baja densidad (LDPE) a partir de empaques Tetra Pak.* (Tesis de pregrado) Universidad Autónoma del Estado de México. Tlanguistenco, México.

Hernández, Y. (2018). *Pavimentos de adoquines de concreto una solución ambiental en la construcción de infraestructura vial colombiana.* (Tesis de especialización). Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá D.C. Colombia.

Huang, Yang H.; University of Kentucky. (2004). *Pavement Analysis and Design 2Ed.* Pearson Education, Inc.

ICONTEC. (2017). Instalación de adoquines de concreto para superficies de tránsito peatonal y vehicular. Sección 701-17, NTC 2017, 2004-02-25. Recuperado de <https://www.idu.gov.co/web/content/7638/701-11.pdf>

ICPC Instituto Colombiano de Productores de Cemento, Notas Técnicas, Fabricación de Adoquines de Concreto, Medellín, 2ed. 1986.

ICPI - Interlocking Concrete Pavement Institute, Tech Spec No. 2 (2011). Construction of interlocking Concrete Pavements

ICPI - Interlocking Concrete Pavement Institute, (2006). Pavers Structural Design for Roads and Parking Lots-Tech Spec 4

ICPI - Interlocking Concrete Pavement Institute, (2012). Selection and placement of concrete pavers. Standards for Concrete Pavers. Recuperado de <https://docplayer.es/9735154-Section-8-seleccion-y-colocacion-de-los-adoquines-de-concreto.html>

ICPI - Interlocking Concrete Pavement Institute. (2012). Airfield Pavement Design with concrete pavers.

Indian Standars. (2006). *Precast concrete Blocks for pavign, specification.*

INVIAS - Instituto Nacional de Vías. (2015). Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito. Recuperado de: <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/3807-manual-de-diseno-de-pavimentos-de-concreto-para-vias-con-bajos-medios-y-altos-volumenes-de-transito/file>.

IRAM Adoquines de hormigón para pavimentos intertrabados. Requisitos y métodos de ensayo. (Norma, SCI: 91.100.30 Hormigón y productos de hormigón)

Knapton, J., and David R. Smith, (1998), the north American port pavement desing manual.

Knapton, J., & Barber, S. (s.f.). UK research into concrete block pavement design. 59 Knapton, J., & Cook, I. (s.f.). Design methods for clay and concrete block paving.

Kumar, L. Sherin, F. y Agarwal S. (2019). Strength and Behavior of Concrete Contains Waste Plastic (High Density PVC) Aggregates As Partial Replacement of Coarse Aggregates. University Bhopal, Madhya Pradesh, India. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT). 8(6). 1044-1049.

Laurenti et al., (2023) ANALYZING THE RELATIONSHIP BETWEEN PRODUCT WASTE FOOTPRINTS AND ENVIRONMENTAL DAMAGE – A LIFE CYCLE ANALYSIS OF 1,400+ PRODUCTS. México – Suecia – Luxemburgo.

Léctor, M. y Villarreal, E. (2017). *Utilización de materiales plásticos de reciclaje como adición en la elaboración de concreto en la ciudad de nuevo Chimbote.* (Tesis de pregrado) Universidad Nacional del Santa. Nuevo Chimbote- Perú.

León, M, & Ramírez, F. (2010). Caracterización morfológica de agregados para concreto mediante el análisis de imágenes. *Scielo. Revista ingeniería de construcción*, 25(2), 215-240. https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732010000200003

Liu et al., (2021) HOW DOES THE GLOBAL PLASTIC WASTE TRADE CONTRIBUTE TO ENVIRONMENTAL BENEFITS: IMPLICATION FOR REDUCTIONS OF GREENHOUSE GAS EMISSIONS? Canada y China.

Manhal A Jibrael1 y Farah Peter2. (2016) *Strength and behavior of concrete contains waste plastic.* University, Koya, Kurdistan region, Iraq.

Matallana, EL CONCRETO Fundamentos y nuevas tecnologías, 2020. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá D.C. Colombia.

Mendieta, L. (2017). *Aplicación de los concretos reforzados con fibras de acero para losas de contrapiso en VIS.* (Tesis de pregrado). Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá D.C. Colombia.

Muñoz, H. (2018). *Análisis de la resistencia a la compresión exigida por la especificación INV ART 510 -13 y de la resistencia a la flexotracción exigida NTC 2017 (segunda actualización) para adoquines rectangulares de concreto fabricados con materiales de la región.* (Tesis de maestría). Universidad del Cauca. Popayán - Colombia.

Palacios, A. (2014). *Elaboración de PET-concreto, buscando mejorar sus propiedades mecánicas de tensión y flexión.* (Tesis de maestría). Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.

Panda, B., & Ghosh, A. (2002). *Structural Behavior of Concrete Block Paving.* JOURNAL OF TRANSPORTATION ENGINEERING.

Pearson, A. and Shackel, B., Concrete Masonry Association of Australia, School of Civil and Environmental Engineering, University of New South Wales. (2003). AUSTRALIAN NATIONAL STANDARDS FOR SEGMENTAL AND. *Proceedings of the 7th International Conference on Concrete Block Paving (PAVE AFRICA 2003).*

Peñaloza, C. (2015). *Comportamiento mecánico de una mezcla para concreto reciclado usando neumáticos triturados como reemplazo del 10% y 30% del volumen del agregado fino*

para un concreto con fines de uso estructural. (Tesis de pregrado). Universidad Católica de Colombia. Bogotá-Colombia.

Plazas, M. y Gamba, G. (2015). *Caracterización de las propiedades mecánicas de adoquines de concreto con adición de residuo de caucho reciclado producto de llantas usadas.* (Tesis de pregrado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá D.C. Colombia.

Norma Europea (2003), European Estandar (2003). Concrete Paving Blocks. Requirements and test methods PrEN 1338:2003.

Rivera, (S.F.). Concreto simple. Universidad del Cauca. Popayán.

Sierra et al., (2019) Polímeros: generalidades y tendencias de investigación en Colombia.

Quintero, C. y Mahecha, J. (2016). Propiedades mecánicas de un concreto reforzado con fibras de PET reciclado. (Tesis de pregrado). Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá D.C. Colombia.

Sangay, A y Régulo, A. (2014). *Efecto de los agregados de concreto reciclado en la resistencia a la compresión sobre el concreto $F_c=210 \text{ kg/cm}^2$.* (Tesis de pregrado). Universidad de Cajamarca. España.

Shackel, B.(1980). The performance of interlocking block pavements under accelerated trafficking. South África

Tejaswini et al., (2022) A comprehensive review on integrative approach for sustainable management of plastic waste and its associated externalities. India & Singapur.

Zainab et al., (2007) Use of waste plastic in concrete mixture as aggregate replacement. Baghdad Irak.

Zúñiga, A. (2015). *Evaluación del tereftalato de polietileno (PET) como agregado en la elaboración de mortero para ladrillos y concreto.* (Tesis de pregrado). Universidad de la Salle. Bogotá. D.C.

ANEXOS

Evaluación de las propiedades mecánicas en Adoquines Rectangulares de concreto con incorporación de aglutinado de polietileno reciclado.

RESISTENCIA A FLEXION DE ADOQUINES

Norma de ensayo: NTC 2017

Edad de ensayo: veintiocho (28) días

Adoquin No.	Tipo muestra	Ancho (mm)	longitud (mm)	Espesor (mm)	Masa seca (gr)	Masa en Agua (gr)	Masa SSS (gr)	Carga (kn)	Densidad (kg/m3)	Absorción (%)	Mr (Mpa), 28d	Observacion
AM0F-1	MUESTRA DE CONTROL	100.9	200.08	82.9	3594	2159	3782	11.9	2214	5.2	4.6	Cumple especificación Mr≥4.2 Mpa, seria necesario evaluar longitud de huella
AM0F-2		100.3	201.8	81.7	3546	2133	3745	9	2200	5.6	3.7	
AM0F-3		99.9	199.8	82.1	3615	2182	3790	9.1	2248	4.8	3.6	
AM0F-4		99.4	200.5	83.1	3589	2194	3818	10.1	2210	6.4	4	
AM0F-5		100.3	201.3	82.8	3604	2185	3812	13.1	2215	5.8	5.2	
AM0F-6		100	201.5	82.3	3621	2191	3805	9.8	2243	5.1	3.9	
AM0F-7		100.6	200	76.2	3295	1987	3484	13.1	2201	5.7	6.1	
AM0F-8		100.9	201	81.6	3567	2165	3782	9.9	2206	6.0	4	
AM0F-9		99.3	200.9	83.7	3618	2205	3845	13.6	2206	6.3	5.3	
AM0F-10		100.3	200.7	82.7	3658	2131	3784	11.2	2213	3.4	4.4	
AM0F-11		100.4	201.6	82.9	3599	2179	3831	13.4	2179	6.4	5.3	
AM0F-12		100	200.4	83.5	3589	2162	3793	12.8	2200	5.7	5	
AM0F-13		99.9	201.4	83.3	3634	2177	3814	13.6	2220	5.0	5.3	
AM0F-14		100.4	200.5	84.3	3738	2256	3894	13.2	2282	4.2	5	
AM0F-15		99.9	201.2	82.5	3573	2128	3766	11.6	2181	5.4	4.6	
AM0F-16		100.2	200.4	83.3	3631	2220	3866	12.1	2206	6.5	4.7	
AM0F-17		100.6	201.1	82.8	3535	2143	3761	11.4	2185	6.4	4.5	
AM0F-18		100.7	200.3	84.5	3596	2179	3806	12.2	2210	5.8	4.6	
AM0F-19		99.7	199.2	78.6	3381	2052	3593	12.8	2194	6.3	5.6	
AM0F-20		100.4	200.6	82.4	3587	2176	3796	10.8	2214	5.8	4.3	
AM0F-21		99.6	200.3	83.8	3613	2206	3822	9	2236	5.8	3.5	
AM0F-22		99.6	199.7	80.5	3408	2053	3625	11.7	2168	6.4	4.9	
AM0F-23		100.5	199.8	82.4	3586	2192	3796	10.1	2236	5.9	4	
AM0F-24		99.2	199.8	79.4	3313	1986	3522	9.8	2157	6.3	4.2	
PROMEDIO MUESTRA DE CONTROL									2209	5.7	4.6	

Evaluación de las propiedades mecánicas en Adoquines Rectangulares de concreto con incorporación de aglutinado de polietileno reciclado.

Adoquin No.	Tipo muestra	Ancho (mm)	longitud (mm)	Espesor (mm)	Masa seca (gr)	Masa en Agua (gr)	Masa SSS (gr)	Carga (kn)	Densidad (kg/m3)	Absorción (%)	Mr (Mpa), 28d	Observacion
AM1F-1	M1	99.8	200.3	95.2	4089	2400	4292	15	2161	5.0	4.5	Cumple especificación Mr≥4.2 Mpa, seria necesario evaluar longitud de huella
AM1F-2		99.3	199.9	93.6	4034	2407	4244	17.2	2196	5.2	5.3	
AM1F-3		100	199.8	94.9	4013	2365	4248	17	2131	5.9	5.1	
AM1F-4		99.9	200.6	95	4044	2414	4270	16.7	2179	5.6	5	
AM1F-5		99.5	200.2	95.9	4128	2478	4365	13.3	2188	5.7	3.9	
AM1F-6		99.6	200	95.2	4156	2474	4346	15.9	2220	4.6	4.8	
AM1F-7		99.2	200.3	94.9	4058	2426	4290	13.7	2177	5.7	4.1	
AM1F-8		101	199.9	94.3	4136	2442	4299	16.5	2227	3.9	5	
AM1F-9		99.8	200.6	96.5	4186	2484	4384	15	2203	4.7	4.4	
AM1F-10		100	200.5	96.4	4074	2415	4299	13.3	2162	5.5	3.9	
AM1F-11		99.9	200.1	95	4074	2371	4246	14.8	2173	4.2	4.4	
AM1F-12		99.5	199.9	94	4171	2452	4323	16.6	2229	3.6	5.1	
AM1F-13		99.5	200.1	96.5	4130	2412	4296	12.7	2192	4.0	3.7	
AM1F-14		100	200.7	96.2	4164	2409	4316	16.1	2184	3.7	4.7	
AM1F-15		99.5	200.1	96.6	4178	2447	4344	15.2	2202	4.0	4.4	
AM1F-16		99.7	200.5	95.9	4244	2482	4369	14.6	2249	2.9	4.3	
AM1F-17		100	199.5	95.6	4108	2402	4260	15.4	2211	3.7	4.5	
AM1F-18		99.4	200	99.9	4286	2534	4470	15.4	2214	4.3	4.2	
AM1F-19		99.1	200	96.2	4061	2420	4298	13.6	2162	5.8	4	
AM1F-20		100	199.9	95.1	4056	2381	4263	16.1	2155	5.1	4.8	
AM1F-21		99.9	199.4	94.9	4019	2360	4240	17.2	2138	5.5	5.1	
AM1F-22		99.5	200.3	93.4	4031	2419	4265	17.8	2184	5.8	5.5	
AM1F-23		99.7	200.4	95.5	4018	2390	4259	16.1	2150	6.0	4.8	
AM1F-24		99.1	201.4	96.7	4056	2397	4292	16.4	2140	5.8	4.8	
AM1F-25		100	200.5	93.9	4068	2446	4308	17.9	2185	5.9	5.5	
PROMEDIO M 1% (APEBD)									2184	4.9	4.6	

Evaluación de las propiedades mecánicas en Adoquines Rectangulares de concreto con incorporación de aglutinado de polietileno reciclado.

Adoquin No.	Tipo muestra	Ancho (mm)	longitud (mm)	Espesor (mm)	Masa seca (gr)	Masa en Agua (gr)	Masa SSS (gr)	Carga (kn)	Densidad (kg/m3)	Absorción (%)	Mr (Mpa), 7d	Observacion
AM2F-1	M2	100.5	199.9	85.15	3628	2148	3820	12.6	2170	5.3	4.7	Cumple especificación Mr≥4.2 Mpa, seria necesario evaluar longitud de huella
AM2F-2		99.8	199.65	87.02	3620	2156	3858	12.1	2127	6.6	4.3	
AM2F-3		99.7	199.5	82.6	3512	2086	3710	9.5	2163	5.6	3.8	
AM2F-4		100	199.9	83.8	3576	2109	3744	11.7	2187	4.7	4.5	
AM2F-5		100.1	199.9	85.6	3631	2158	3847	13	2150	5.9	4.8	
AM2F-6		100	200.2	82.9	3466	2035	3682	12.8	2104	6.2	5	
AM2F-7		99.6	199.9	82.6	3486	2074	3703	11.2	2140	6.2	4.4	
AM2F-8		99	200.3	83.4	3434	2046	3666	11.6	2120	6.8	4.6	
AM2F-9		99.4	200.2	81.2	3349	1995	3575	13.3	2120	6.7	5.5	
AM2F-10		99.01	200	87.2	3563	2115	3809	13	2103	6.9	4.7	
AM2F-11		99.6	200.1	86.8	3594	2127	3832	11.4	2108	6.6	4.1	
AM2F-12		99.8	200.1	83.4	3462	2051	3683	10.9	2121	6.4	4.2	
AM2F-13		99.2	199.8	84.4	3479	2067	3706	13.4	2123	6.5	5.1	
AM2F-14		99.7	199.4	85.9	3592	2144	3816	12.9	2148	6.2	4.7	
AM2F-15		99.4	199.7	83.5	3546	2112	3757	12.2	2156	6.0	4.7	
AM2F-16		99.2	199.7	83.2	3557	2133	3763	9.7	2182	5.8	3.8	
AM2F-17		99.3	200.7	83.3	3523	2095	3723	10.2	2164	5.7	4	
AM2F-18		99.6	199.6	86.1	3622	2146	3833	12.5	2147	5.8	4.6	
AM2F-19		99.2	199.8	84.8	3612	2146	3813	12.1	2167	5.6	4.6	
AM2F-20		100	199.6	83.4	3531	2099	3737	11	2156	5.8	4.3	
AM2F-21		99.9	200.3	84.9	3658	2174	3853	8.9	2179	5.3	3.3	
AM2F-22		99.1	200.4	83.4	3513	2086	3728	12.1	2139	6.1	4.8	
AM2F-23		99.9	199.9	85	3636	2148	3819	11.2	2176	5.0	4.2	
AM2F-24		99.2	200.5	86.1	3667	2177	3869	12.4	2167	5.5	4.6	
AM2F-25		99.6	201.1	84.2	3550	2102	3751	13.9	2153	5.7	5.3	
PROMEDIO M 2% (APEBD)									2147	6.0	4.5	

Evaluación de las propiedades mecánicas en Adoquines Rectangulares de concreto con incorporación de aglutinado de polietileno reciclado.

Adoquin No.	Tipo muestra	Ancho (mm)	longitud (mm)	Espesor (mm)	Masa seca (gr)	Masa en Agua (gr)	Masa SSS (gr)	Carga (kn)	Densidad (kg/m3)	Absorción (%)	Mr (Mpa), 28d	Observacion
AM4F-1	M4	99	201.1	85.9	3501	2042	3729	11.4	2075	6.5	4.2	No cumple especificación Mr<4.2 Mpa
AM4F-2		99.8	199.4	84.9	3397	1974	3631	10.4	2050	6.9	3.9	
AM4F-3		99.4	199.7	83.4	3327	1912	3544	11	2039	6.5	4.3	
AM4F-4		99	200.5	85.8	3465	2007	3692	11.3	2056	6.6	4.2	
AM4F-5		101	199.8	84.9	3366	1942	3599	9.7	2031	6.9	3.6	
AM4F-6		100.2	199.9	85.3	3454	1992	3679	10.3	2047	6.5	3.8	
AM4F-7		99.4	199.6	83.9	3318	1913	3563	10.6	2011	7.4	4.1	
AM4F-8		99.3	199.6	88.8	3504	2025	3742	13.5	2041	6.8	4.6	
AM4F-9		99.1	199.9	88.2	3567	2078	3800	16.5	2071	6.5	5.8	
AM4F-10		99.8	200.2	84.5	3366	1947	3590	11.3	2049	6.7	4.3	
AM4F-11		99.8	200.1	85.7	3497	2040	3709	11	2095	6.1	4.1	
AM4F-12		98.7	200.1	83.8	3304	1910	3527	8.9	2043	6.7	3.5	
AM4F-13		99.4	200.2	85.6	3414	1984	3644	12.5	2057	6.7	4.6	
AM4F-14		99.8	199.8	86.3	3475	2013	3718	9.7	2038	7.0	3.5	
AM4F-15		99.5	199.4	83.2	3296	1902	3520	9.9	2037	6.8	3.9	
AM4F-16		99.5	201.5	84.1	3327	1913	3569	10.1	2009	7.3	3.9	
AM4F-17		98.8	199.4	85.2	3361	1934	3586	11.2	2035	6.7	4.2	
AM4F-18		98.9	199.7	85.4	3425	1989	3643	9.9	2071	6.4	3.7	
AM4F-19		99.7	199.8	85.8	3501	2046	3736	11.9	2072	6.7	4.4	
AM4F-20		99.5	199.7	84.8	3459	2009	3680	10.8	2070	6.4	4.1	
AM4F-21		99.1	200.3	86.9	3442	1988	3675	10.4	2040	6.8	3.8	
AM4F-22		99.3	200.6	86	3394	1943	3627	12.2	2015	6.9	4.5	
AM4F-23		99.3	199.9	85.7	3359	1928	3592	11.2	2019	6.9	4.1	
AM4F-24		99.8	199.4	85.7	3465	1995	3685	10	2050	6.3	3.7	
AM4F-25		99.4	200.5	85.2	3403	1958	3626	10	2040	6.6	3.8	
PROMEDIO M 4% (APEBD)									2046	6.7	4.1	

Evaluación de las propiedades mecánicas en Adoquines Rectangulares de concreto con incorporación de aglutinado de polietileno reciclado.

Adoquin No.	Tipo muestra	Ancho (mm)	longitud (mm)	Espesor (mm)	Masa seca (gr)	Masa en Agua (gr)	Masa SSS (gr)	Carga (kn)	Densidad (kg/m3)	Absorción (%)	Mr (Mpa), 28d	Observacion
AM6F-1	M6	99.2	200.5	87.3	3324	1860	3548	9.4	1969	6.7	3.4	No cumple especificación Mr<4.2 Mpa
AM6F-2		98.6	199.7	88.6	3303	1802	3501	9.6	1944	6.0	3.3	
AM6F-3		99.5	199.6	85.3	3382	1890	3562	11.4	2023	5.3	4.2	
AM6F-4		99.2	199.4	87.3	3397	1901	3606	9.5	1992	6.2	3.4	
AM6F-5		98.7	199.7	88.1	3302	1835	3556	6.8	1919	7.7	2.4	
AM6F-6		98.9	199.8	87.3	3311	1826	3531	9.6	1942	6.6	3.4	
AM6F-7		99.2	199.8	85.7	3251	1799	3462	9.1	1955	6.5	3.4	
AM6F-8		99.4	199.4	87.7	3341	1874	3576	11.2	1963	7.0	3.9	
AM6F-9		99.4	199.1	85.8	3321	1846	3538	9.8	1963	6.5	3.6	
AM6F-10		98.9	201.7	89.1	3260	1805	3535	5.8	1884	8.4	2	
AM6F-11		99	200.2	87.4	3356	1851	3573	8.8	1949	6.5	3.1	
AM6F-12		99.4	198.9	86.7	3274	1803	3522	9.5	1905	7.6	3.4	
AM6F-13		99.4	199.5	88.9	3487	1954	3712	10.7	1984	6.5	3.7	
AM6F-14		98.8	199.3	87.5	3351	1840	3571	8.1	1936	6.6	2.9	
AM6F-15		98.9	199.3	85.9	3274	1812	3515	9.2	1922	7.4	3.4	
AM6F-16		98.9	200.5	90.5	3371	1822	3606	6.6	1890	7.0	2.2	
AM6F-17		100	200.2	87.8	3274	1800	3533	8.9	1889	7.9	3.1	
AM6F-18		99.2	199.8	86.1	3355	1860	3574	9.6	1957	6.5	3.5	
AM6F-19		98.8	199.2	87.1	3288	1786	3522	9.9	1894	7.1	3.6	
AM6F-20		99	199.6	88.7	3374	1830	3590	8.9	1917	6.4	3.1	
AM6F-21		99.3	200.4	90.5	3321	1798	3591	8	1852	8.1	2.7	
AM6F-22		99	199.3	85.7	3277	1871	3486	7.6	2029	6.4	2.8	
AM6F-23		98.8	199.7	90.2	3323	1823	3609	6.9	1861	8.6	2.3	
AM6F-24		98.7	199.8	86	3248	1788	3485	10.1	1914	7.3	3.7	
AM6F-25		98.9	199.6	89.9	3335	1814	3617	9	1850	8.5	3	
PROMEDIO M 6% (APEBD)									1982	7.0	3.2	

Evaluación de las propiedades mecánicas en Adoquines Rectangulares de concreto con incorporación de aglutinado de polietileno reciclado.

Adoquin No.	Tipo muestra	Ancho (mm)	longitud (mm)	Espesor (mm)	Masa seca (gr)	Masa en Agua (gr)	Masa SSS (gr)	Carga (kn)	Densidad (kg/m3)	Absorción (%)	Mr (Mpa), 28d	Observacion
AM6.4°F-1	M6.4*	98.9	199.8	92.8	3301	1786	3598	5.8	1822	9.0	1.8	No cumple especificación Mr<4.2 Mpa
AM6.4°F-2		98.8	199.7	89.4	3191	1726	3511	4.3	1788	10.0	1.5	
AM6.4°F-3		98.9	200.5	91.3	3315	1804	3602	5.7	1844	8.7	1.9	
AM6.4°F-4		98.7	199.6	85.9	3047	1625	3342	5.4	1775	9.7	2	
AM6.4°F-5		98.4	199.6	89.8	3095	1714	3433	3.6	1800	10.9	1.2	
AM6.4°F-6		98.9	199.4	80.5	3023	1697	3334	4.4	1847	10.3	1.8	
AM6.4°F-7		98.5	199.4	86.6	3070	1720	3370	4.7	1861	9.8	1.7	
AM6.4°F-8		99	200.4	85.5	3028	1694	3334	4.7	1846	10.1	1.8	
AM6.4°F-9		99	199.3	90.2	3255	1816	3530	6.8	1899	8.4	2.3	
AM6.4°F-10		98.8	199.7	85.3	3034	1698	3327	6.4	1862	9.7	2.4	
AM6.4°F-11		99.3	199.8	85.6	3004	1676	3299	4.9	1851	9.8	1.8	
AM6.4°F-12		98.8	199.7	83.9	2990	1672	3279	5	1861	9.7	1.9	
AM6.4°F-13		98.5	199.9	90.2	3072	1711	3403	3.6	1816	10.8	1.2	
AM6.4°F-14		98.2	199.7	84.4	2985	1665	3259	5.2	1873	9.2	2	
AM6.4°F-15		98.6	199.3	92.7	3337	1862	3618	6.9	1900	8.4	2.2	
AM6.4°F-16		98.3	200	90.9	3220	1799	3495	5.1	1899	8.5	1.7	
AM6.4°F-17		99	200	85.4	3048	1710	3349	3.9	1860	9.9	1.5	
PROMEDIO M 6** (APEBD)									1835	9.6	1.8	

Evaluación de las propiedades mecánicas en Adoquines Rectangulares de concreto con incorporación de aglutinado de polietileno reciclado.

MUESTRAS PARA COMPRESIÓN

Norma Invias E 426 - 22

Edad de ensayo: veintiocho (28) días

Adoquin No.	Tipo muestra	Ancho (mm)	longitud (mm)	Espesor (mm)	Masa seca (gr)	Carga (Kn)	Relacion Aspecto	Fa	Densidad (kg/m3)	Rca (Mpa), 28d	Rca(Mpa), Prom. 28d	Observacion
AM0C-1	Muestra de control	99.2	199.5	78.8	3519	610.27	0.794	1.14	2257	35.2	28.30	No cumple especificación INVIAS FCa \geq 55 MPa., Se elimino de los calculo las muestras AM0C-5 Y AMOC-20 se encontraban fisuradas
AM0C-2		101	199.5	80.2	3715	642.22	0.794	1.14	2299	36.3		
AM0C-3		99.8	200	77.9	3471	742	0.781	1.13	2232	42		
AM0C-4		99.8	200.7	77.7	3428	519.85	0.779	1.13	2203	29.3		
AM0C-5		99.4	199.7	81.4	3679	18.1	0.819	1.15	2277	1		
AM0C-6		100.5	200.5	81.8	3745	429.39	0.814	1.15	2272	24.5		
AM0C-7		99.7	200.7	76.9	3475	313.75	0.771	1.13	2258	17.7		
AM0C-8		99.7	199.1	75	3352	276.08	0.752	1.11	2252	15.4		
AM0C-9		99.4	199.6	80.8	3633	508.79	0.813	1.15	2266	29.5		
AM0C-10		100.3	199.7	77.1	3414	511.65	0.769	1.12	2211	28.6		
AM0C-11		99.6	200.3	81.2	3648	588.62	0.815	1.15	2252	33.9		
AM0C-12		99.2	199.9	80	3581	744.55	0.806	1.15	2257	43.2		
AM0C-13		98.6	200.5	79	3486	601.99	0.801	1.14	2232	34.7		
AM0C-14		99.5	200.1	78.9	3569	746.99	0.793	1.14	2272	42.8		
AM0C-15		99.1	200.1	78.7	3510	498.22	0.794	1.14	2249	28.6		
AM0C-16		100.2	200.4	76.7	3409	629.35	0.765	1.12	2213	35.1		
AM0C-17		99.4	198.9	78.4	3435	434.89	0.789	1.14	2216	25.1		
AM0C-18		99	199.8	80.7	3522	365.47	0.815	1.15	2206	21.2		
AM0C-19		98.9	199.5	79.7	3497	395.9	0.806	1.15	2224	23.1		
AM0C-20		99.1	199.2	81.1	3523	17.86	0.818	1.15	2201	1		
AM0C-21		99.3	200	78.6	3572	658.48	0.792	1.14	2288	37.8		
AM0C-22		100	200	77.3	3442	504.6	0.773	1.13	2226	28.5		
AM0C-23		100	200.4	77	3489	666.71	0.770	1.13	2261	37.6		
AM0C-24		100.4	200.2	83	3721	450.53	0.827	1.16	2230	26		
PROMEDIO MUESTRA DE CONTROL										2244	28.3	

Evaluación de las propiedades mecánicas en Adoquines Rectangulares de concreto con incorporación de aglutinado de polietileno reciclado.

Adoquin No.	Tipo muestra	Ancho (mm)	longitud (mm)	Espesor (mm)	Masa seca (gr)	Carga (Kn)	Relacion Aspecto	Fa	Densidad (kg/m3)	Rca (Mpa), 28d	Rca (Mpa), Prom. 28d	Observacion			
AM1C-1	M1	99.2	200.1	95.9	4225	565.17	0.967	1.22	2219	34.7	28.1	No cumple especificación INVIAS FCa≥ 55 MPa.			
AM1C-2		99.6	200.7	96.3	4202	349.2	0.967	1.22	2183	21.3					
AM1C-3		99.5	198.1	98.5	4288	345.21	0.990	1.23	2209	21.5					
AM1C-4		99.5	199.7	97.3	4292	381.3	0.978	1.23	2220	23.6					
AM1C-5		99.4	199.6	97.8	4237	211.82	0.984	1.23	2184	13.1					
AM1C-6		99.9	200.4	95.5	4211	404.5	0.956	1.22	2203	24.6					
AM1C-7		99.3	200.7	95	4254	511.48	0.957	1.22	2247	31.3					
AM1C-8		99.6	199.5	95.7	4239	382.65	0.961	1.22	2229	23.5					
AM1C-9		99.5	200.2	97.1	4283	425.67	0.976	1.23	2214	26.3					
AM1C-10		99.9	200	95.2	4306	658.64	0.953	1.22	2264	40.2					
AM1C-11		99.8	200.1	95.9	4321	556.75	0.961	1.22	2256	34					
AM1C-12		99.6	200	98	4360	448.35	0.984	1.23	2233	27.7					
AM1C-13		101	199.3	95.8	4251	611.89	0.949	1.22	2204	37.1					
AM1C-14		101	200	93.7	4192	646.52	0.928	1.21	2215	38.7					
AM1C-15		99.9	200.1	97.5	4290	533.6	0.976	1.23	2201	32.8					
AM1C-16		99.8	199.5	95.6	4205	445.8	0.958	1.22	2209	27.3					
AM1C-17		100	199.2	96.1	4229	397	0.961	1.22	2209	24.3					
AM1C-18		100	199.6	94.2	4207	433.3	0.942	1.21	2237	26.3					
AM1C-19		99.5	200.4	95.2	4265	521.5	0.957	1.22	2247	31.9					
AM1C-20		99.3	199.8	94.8	4247	437.2	0.955	1.22	2258	26.9					
AM1C-21		99.6	199.9	94.9	4213	373.5	0.953	1.22	2230	22.9					
AM1C-22															
AM1C-23															
AM1C-24															
AM1C-25															
PROMEDIO M1% (APEBD)									2222	28.1					

Evaluación de las propiedades mecánicas en Adoquines Rectangulares de concreto con incorporación de aglutinado de polietileno reciclado.

Adoquin No.	Tipo muestra	Ancho (mm)	longitud (mm)	Espesor (mm)	Masa seca (gr)	Carga (Kn)	Relacion Aspecto	Fa	Densidad (kg/m3)	Rca (Mpa), 28d	Rca (Mpa), Prom. 28d	Observacion
AM2C-1	M2	100.3	199.9	86	3779	387.78	0.857	1.17	2192	22.6	27.40	No cumple especificación INVIAS F _{Ca} ≥ 55 MPa.
AM2C-2		99	199.3	80.9	3456	369.84	0.817	1.15	2165	21.6		
AM2C-3		99.5	199.9	86.3	3734	363.93	0.867	1.18	2175	21.6		
AM2C-4		99.9	200.2	82.1	3596	434.32	0.822	1.16	2190	25.2		
AM2C-5		99.7	200.3	79.7	3494	453.62	0.799	1.14	2195	25.9		
AM2C-6		99.4	199.9	82.2	3586	511.73	0.827	1.16	2196	29.9		
AM2C-7		99.7	199.8	83.6	3683	416.9	0.839	1.17	2212	24.5		
AM2C-8		99.6	199.3	80.6	3537	355.83	0.809	1.15	2211	20.6		
AM2C-9		100.1	200.2	82.5	3707	553.88	0.824	1.16	2242	32.1		
AM2C-10		98.9	199.4	81.1	3549	560.18	0.820	1.15	2219	32.7		
AM2C-11		99	199.9	81.5	3600	494.5	0.823	1.16	2232	29		
AM2C-12		99.4	200.4	86.1	3727	472.41	0.866	1.18	2173	28		
AM2C-13		99.5	199.8	81.4	3571	494.5	0.818	1.15	2207	28.6		
AM2C-14		99.7	200.2	84.1	3691	452.44	0.844	1.17	2199	26.5		
AM2C-15		99.8	199.7	84	3697	534.51	0.842	1.17	2208	31.4		
AM2C-16		101	200.2	81.7	3613	421.33	0.809	1.15	2187	24		
AM2C-17		101	200.2	82.2	3614	332.7	0.814	1.15	2174	18.9		
AM2C-18		99.5	199.4	79.4	3526	457.44	0.798	1.14	2238	26.3		
AM2C-19		99.3	199.6	82.3	3590	416.76	0.829	1.16	2201	24.4		
AM2C-20		98.6	199.7	81.1	3431	316.68	0.823	1.16	2149	18.7		
AM2C-21		99.2	200.1	83.7	3663	520.52	0.844	1.17	2205	30.7		
AM2C-22		101	200.2	84.5	3693	480.68	0.837	1.16	2161	27.6		
AM2C-23		99.5	200.4	84.8	3733	614.07	0.852	1.17	2208	36		
AM2C-24		99.4	199.7	79.1	3502	696.27	0.796	1.14	2230	40		
AM2C-25		100	199.7	85.2	3759	634.53	0.852	1.17	2209	37.2		
PROMEDIO M2% (APEBD)									2199	27.4		

Evaluación de las propiedades mecánicas en Adoquines Rectangulares de concreto con incorporación de aglutinado de polietileno reciclado.

Adoquin No.	Tipo muestra	Ancho (mm)	longitud (mm)	Espesor (mm)	Masa seca (gr)	Carga (Kn)	Relacion Aspecto	Fa	Densidad (kg/m3)	Rca (Mpa), 28d	Rca (Mpa), Prom. 28d	Observacion
AM4C-1	M4	99.5	199.7	81.9	3468	538.17	0.823	1.16	2131	31.4	23.0	No cumple especificación INVIAS FCa≥ 55 MPa.
AM4C-2		99.10	199.3	90	3593	285.36	0.908	1.2	2021	17.3		
AM4C-3		99.5	199.8	85.6	3610	398.55	0.860	1.18	2121	23.7		
AM4C-4		99.5	199.4	83.1	3506	486.55	0.835	1.16	2126	28.4		
AM4C-5		99.5	200.4	87.7	3652	261.94	0.881	1.19	2088	15.6		
AM4C-6		99.9	199.9	88	3681	331.67	0.881	1.19	2095	19.8		
AM4C-7		99.4	200.3	86.7	3570	320.89	0.872	1.18	2068	19		
AM4C-8		99	200.1	88.5	3646	380.42	0.894	1.19	2080	22.9		
AM4C-9		98.6	199.5	89.4	3603	357.53	0.907	1.2	2049	21.8		
AM4C-10		99.6	199.6	87.2	3605	429.46	0.876	1.18	2080	25.5		
AM4C-11		99.9	198.8	87.6	3623	421.85	0.877	1.18	2082	25.1		
AM4C-12		99.4	199.6	80.6	3690	355.88	0.811	1.15	2308	20.6		
AM4C-13		99.2	199.6	84.2	3515	304.32	0.849	1.17	2108	18		
AM4C-14		99.1	199.8	83.9	3512	448.58	0.847	1.17	2114	26.5		
AM4C-15		99.3	199.8	89.5	3641	226.44	0.901	1.2	2050	13.7		
AM4C-16		99.6	199.7	84.5	3620	386.49	0.848	1.17	2154	22.7		
AM4C-17		99.2	200	83.3	3496	388.62	0.840	1.17	2115	22.9		
AM4C-18		98.9	200.3	85.6	3549	399.86	0.866	1.18	2093	23.8		
AM4C-19		99.1	200.2	88.5	3634	410.77	0.893	1.19	2070	24.6		
AM4C-20		99.7	199.7	82	3483	463.75	0.822	1.16	2133	27		
AM4C-21		99.4	200.4	84.6	3552	428.98	0.851	1.17	2108	25.2		
AM4C-22		99.5	199.5	85	3486	432.25	0.854	1.17	2066	25.5		
AM4C-23		98.4	199.7	85.4	3450	406.24	0.868	1.18	2056	24.4		
AM4C-24		100	199.5	88	3736	477.72	0.880	1.19	2128	28.5		
AM4C-25		99.1	199.5	88.5	3550	365.61	0.893	1.19	2029	22		
PROMEDIO M4% (APEBD)									2099	23.0		

Evaluación de las propiedades mecánicas en Adoquines Rectangulares de concreto con incorporación de aglutinado de polietileno reciclado.

Adoquin No.	Tipo muestra	Ancho (mm)	longitud (mm)	Espesor (mm)	Masa seca (gr)	Carga (Kn)	Relacion Aspecto	Fa	Densidad (kg/m3)	Rca (Mpa), 28d	Rca (Mpa), Prom. 28d	Observacion
AM6C-1	M6	99.8	198.9	85.8	3413	343.6	0.860	1.18	2004	20.4	17.6	No cumple especificación INVIAS F _{Ca} ≥ 55 MPa.
AM6C-2		98.90	200.2	88.3	3458	272.87	0.893	1.19	1978	16.4		
AM6C-3		99.5	199.3	84.9	3503	408.36	0.853	1.17	2081	24.1		
AM6C-4		98.7	200.7	87.9	3392	322.14	0.891	1.19	1948	19.4		
AM6C-5		98.7	200.1	87.6	3543	362.92	0.888	1.19	2048	21.9		
AM6C-6		101	199.3	89	3573	281.57	0.881	1.19	1994	16.6		
AM6C-7		98.7	199.8	87.6	3452	365.05	0.888	1.19	1998	22		
AM6C-8		98.5	199.8	87.5	3447	343.91	0.888	1.19	2002	20.8		
AM6C-9		99.3	199.4	87.6	3427	251.68	0.882	1.19	1976	15.1		
AM6C-10		101	199.1	85	3353	315.52	0.842	1.17	1962	18.4		
AM6C-11		99.1	199.6	88.6	3464	289.49	0.894	1.19	1977	17.4		
AM6C-12		98.7	199.5	89.6	3447	236.3	0.908	1.2	1954	14.4		
AM6C-13		99.5	200.8	88.4	3467	294.86	0.888	1.19	1963	17.6		
AM6C-14		99	199.9	90.4	3575	291.97	0.913	1.2	1998	17.7		
AM6C-15		99	199.8	84.9	3425	369.3	0.858	1.18	2039	22		
AM6C-16		98.7	200	90.5	3484	215.8	0.917	1.2	1950	13.1		
AM6C-17		98.7	199.8	91.6	3591	292.4	0.928	1.21	1988	17.9		
AM6C-18		99.3	199.3	88.4	3447	185.8	0.890	1.19	1970	11.2		
AM6C-19		100	199.7	87.8	3480	259.4	0.878	1.19	1985	15.5		
AM6C-20		98.7	200.2	89.6	3439	206.7	0.908	1.2	1942	12.6		
AM6C-21		99.2	199.9	85.9	3464	325.7	0.866	1.18	2034	19.4		
AM6C-22		98.9	200	85.5	3498	355	0.865	1.18	2068	21.2		
AM6C-23		99	199.9	92.3	3514	218.1	0.932	1.21	1924	13.3		
AM6C-24		99.6	199.8	89.2	3498	235.3	0.896	1.19	1971	14.1		
AM6C-25		98.7	199.5	89	3485	295.9	0.902	1.2	1989	18		
PROMEDIO M6% (APEBD)										1990	17.6	

Evaluación de las propiedades mecánicas en Adoquines Rectangulares de concreto con incorporación de aglutinado de polietileno reciclado.

Adoquin No.	Tipo muestra	Ancho (mm)	longitud (mm)	Espesor (mm)	Masa seca (gr)	Carga (Kn)	Relacion Aspecto	Fa	Densidad (kg/m3)	Rca (Mpa), 28d	Rca (Mpa), Prom. 28d	Observacion
AM6.4°C-1	M6.4*	99.5	199	85.4	3241	224.6	0.858	1.18	1917	13.4	12.8	No cumple especificación INVIAS FCa \geq 55 MPa.
AM6.4°C-2		98.60	199.7	82.3	3483	219.1	0.835	1.16	2149	12.9		
AM6.4°C-3		99.2	199.4	84.2	3160	257	0.849	1.17	1897	15.2		
AM6.4°C-4		98.8	199.8	85.1	3258	224.6	0.861	1.18	1939	13.4		
AM6.4°C-5		99.2	200.1	93	3484	192.8	0.938	1.21	1887	11.8		
AM6.4°C-6		99.1	200.1	85.3	3213	237.2	0.861	1.18	1900	14.1		
AM6.4°C-7		99.9	200.2	85.4	3262	222.6	0.855	1.17	1910	13		
AM6.4°C-8		98.6	200	86.7	3203	202.4	0.879	1.19	1873	12.2		
AM6.4°C-9		99.6	199.7	85.3	3250	241.13	0.856	1.17	1916	14.2		
AM6.4°C-10		98.7	199.8	906	3329	187.7	9.179	1.57	186	14.9		
AM6.4°C-11		99	199.8	86.9	3172	185.6	0.878	1.19	1845	11.2		
AM6.4°C-12		98.9	199.9	85.5	3223	220	0.865	1.18	1907	13.1		
AM6.4°C-13		99.3	199.1	83.4	3190	246.2	0.840	1.17	1935	14.6		
AM6.4°C-14		99.5	199.6	90.7	3460	240.7	0.912	1.2	1921	14.5		
AM6.4°C-15		98.9	199.7	87.9	3240	147.8	0.889	1.19	1866	8.9		
AM6.4°C-16		99.2	200	85.1	3233	242.6	0.858	1.18	1915	14.4		
AM6.4°C-17		99.3	200.1	89.2	3284	162.4	0.898	1.19	1853	9.7		
AM6.4°C-18		99.3	199.2	90.7	3206	135.1	0.913	1.2	1787	8.2		
PROMEDIO M6*% (APEBD)									1811	12.8		

Evaluación de las propiedades mecánicas en Adoquines Rectangulares de concreto con incorporación de aglutinado de polietileno reciclado.

RESISTENCIA A FLEXION DE ADOQUINES

Norma de ensayo: NTC 2017

Edad de ensayo: veintiocho (28) días

Adoquin No.	Tipo muestra	Densidad (kg/m ³)	Absorción (%)	Mr (Mpa), 28d	Valores en el rango 90% confianza
AMOF-1	MUESTRA DE CONTROL	2214	5.2	4.6	4.6
AMOF-2		2200	5.6	3.7	3.7
AMOF-3		2248	4.8	3.6	3.6
AMOF-4		2210	6.4	4	4
AMOF-5		2215	5.8	5.2	5.2
AMOF-6		2243	5.1	3.9	3.9
AMOF-7		Eliminado	Eliminado	6.1	Eliminado
AMOF-8		2206	6.0	4	4
AMOF-9		2206	6.3	5.3	5.3
AMOF-10		2213	3.4	4.4	4.4
AMOF-11		2179	6.4	5.3	5.3
AMOF-12		2200	5.7	5	5
AMOF-13		2220	5.0	5.3	5.3
AMOF-14		2282	4.2	5	5
AMOF-15		2181	5.4	4.6	4.6
AMOF-16		2206	6.5	4.7	4.7
AMOF-17		2185	6.4	4.5	4.5
AMOF-18		2210	5.8	4.6	4.6
AMOF-19		2194	6.3	5.6	5.6
AMOF-20		2214	5.8	4.3	4.3
AMOF-21		2236	5.8	3.5	3.5
AMOF-22		2168	6.4	4.9	4.9
AMOF-23		2236	5.9	4	4
AMOF-24		2157	6.3	4.2	4.2
Media		2210	5.7	4.6	4.5
Desv Est				0.7	0.6
Mr Lim superior, Nivel confiaz 90%				5.8	
Mr limit Inferior, Nivel confiaz90%				3.4	

Evaluación de las propiedades mecánicas en Adoquines Rectangulares de concreto con incorporación de aglutinado de polietileno reciclado.

RESISTENCIA A FLEXION DE ADOQUINES

Norma de ensayo: NTC 2017

Edad de ensayo: veintiocho (28) días

Adoquin No.	Tipo muestra	Densidad (kg/m ³)	Absorción (%)	Mr (Mpa), 28d	Valores en el rango 90% confianza
AM1F-1	M1	2161	5	4.5	4.5
AM1F-2		2196.0	5.2	5.3	5.3
AM1F-3		2131	5.9	5.1	5.1
AM1F-4		2179	5.6	5	5.0
AM1F-5		2188.0	5.7	3.9	3.9
AM1F-6		2220	4.6	4.8	4.8
AM1F-7		2177	5.7	4.1	4.1
AM1F-8		2227	3.9	5	5.0
AM1F-9		2203	4.7	4.4	4.4
AM1F-10		2162.0	5.5	3.9	3.9
AM1F-11		2173	4.2	4.4	4.4
AM1F-12		2229	3.6	5.1	5.1
AM1F-13		Eliminado	Eliminado	3.7	Eliminado
AM1F-14		2184	3.7	4.7	4.7
AM1F-15		2202	4	4.4	4.4
AM1F-16		2249	2.9	4.3	4.3
AM1F-17		2211	3.7	4.5	4.5
AM1F-18		2214	4.3	4.2	4.2
AM1F-19		2162	5.8	4	4.0
AM1F-20		2155	5.1	4.8	4.8
AM1F-21		2138	5.5	5.1	5.1
AM1F-22		Eliminado	Eliminado	5.5	Eliminado
AM1F-23		2150	6	4.8	4.8
AM1F-24		2140	5.8	4.8	4.8
AM1F-25		Eliminado	Eliminado	5.5	Eliminado
Media		2185	4.8	4.6	4.6
Desv Est				0.5	0.4
Mr Lim superior, Nivel confiaz 90%				5.4	
Mr limit Inferior, Nivel confiaz90%				3.8	

Evaluación de las propiedades mecánicas en Adoquines Rectangulares de concreto con incorporación de aglutinado de polietileno reciclado.

RESISTENCIA A FLEXION DE ADOQUINES

Norma de ensayo: NTC 2017

Edad de ensayo: veintiocho (28) días

Adoquin No.	Tipo muestra	Densidad (kg/m ³)	Absorción (%)	Mr (Mpa), 28d	Valores en el rango 90% confianza
AM2F-1	M2	2170	5.3	4.7	4.7
AM2F-2		2127	6.6	4.3	4.3
AM2F-3		2163.0	5.6	3.8	3.8
AM2F-4		2187	4.7	4.5	4.5
AM2F-5		2150	5.9	4.8	4.8
AM2F-6		2104	6.2	5	5.0
AM2F-7		2140	6.2	4.4	4.4
AM2F-8		2120	6.8	4.6	4.6
AM2F-9		Eliminado	Eliminado	5.5	Eliminado
AM2F-10		2103	6.9	4.7	4.7
AM2F-11		2108	6.6	4.1	4.1
AM2F-12		2121	6.4	4.2	4.2
AM2F-13		2123	6.5	5.1	5.1
AM2F-14		2148	6.2	4.7	4.7
AM2F-15		2156	6.0	4.7	4.7
AM2F-16		2182.0	5.8	3.8	3.8
AM2F-17		2164	5.7	4	4.0
AM2F-18		2147	5.8	4.6	4.6
AM2F-19		2167	5.6	4.6	4.6
AM2F-20		2156	5.8	4.3	4.3
AM2F-21		Eliminado	Eliminado	3.3	Eliminado
AM2F-22		2139	6.1	4.8	4.8
AM2F-23		2176	5.0	4.2	4.2
AM2F-24		2167	5.5	4.6	4.6
AM2F-25		2153	5.7	5.3	5.3
Media		2147	6.0	4.5	4.5
Desv Est				0.5	0.4
Mr Lim superior, Nivel confiaz 90%				5.3	
Mr limit Inferior, Nivel confiaz90%				3.7	

Evaluación de las propiedades mecánicas en Adoquines Rectangulares de concreto con incorporación de aglutinado de polietileno reciclado.

RESISTENCIA A FLEXION DE ADOQUINES

Norma de ensayo: NTC 2017

Edad de ensayo: veintiocho (28) días

Adoquin No.	Tipo muestra	Densidad (kg/m ³)	Absorción (%)	Mr (Mpa), 28d	Valores en el rango 90% confianza
AM4F-1	M4	2075	6.5	4.2	4.2
AM4F-2		2050	6.9	3.9	3.9
AM4F-3		2039	6.5	4.3	4.3
AM4F-4		2056	6.6	4.2	4.2
AM4F-5		2031	6.9	3.6	3.6
AM4F-6		2047	6.5	3.8	3.8
AM4F-7		2011	7.4	4.1	4.1
AM4F-8		2041	6.8	4.6	4.6
AM4F-9		Eliminado	Eliminado	5.8	Eliminado
AM4F-10		2049	6.7	4.3	4.3
AM4F-11		2095	6.1	4.1	4.1
AM4F-12		2043	6.7	3.5	3.5
AM4F-13		2057	6.7	4.6	4.6
AM4F-14		2038	7.0	3.5	3.5
AM4F-15		2037	6.8	3.9	3.9
AM4F-16		2009	7.3	3.9	3.9
AM4F-17		2035	6.7	4.2	4.2
AM4F-18		2071	6.4	3.7	3.7
AM4F-19		2072	6.7	4.4	4.4
AM4F-20		2070	6.4	4.1	4.1
AM4F-21		2040	6.8	3.8	3.8
AM4F-22		2015	6.9	4.5	4.5
AM4F-23		2019	6.9	4.1	4.1
AM4F-24		2050	6.3	3.7	3.7
AM4F-25		2040	6.6	3.8	3.8
Media		2045	6.7	4.1	4.0
Desv Est				0.5	0.3
Mr Lim superior, Nivel confiaz 90%				4.9	
Mr limit Inferior, Nivel confiaz90%				3.3	

Evaluación de las propiedades mecánicas en Adoquines Rectangulares de concreto con incorporación de aglutinado de polietileno reciclado.

RESISTENCIA A FLEXION DE ADOQUINES

Norma de ensayo: NTC 2017

Edad de ensayo: veintiocho (28) días

Adoquin No.	Tipo muestra	Densidad (kg/m ³)	Absorción (%)	Mr (Mpa), 28d	Valores en el rango 90% confianza
AM6F-1	M6	1969	6.7	3.4	3.4
AM6F-2		1944	6.0	3.3	3.3
AM6F-3		Eliminado	Eliminado	4.2	Eliminado
AM6F-4		1992	6.2	3.4	3.4
AM6F-5		1919	7.7	2.4	2.4
AM6F-6		1942	6.6	3.4	3.4
AM6F-7		1955	6.5	3.4	3.4
AM6F-8		1963	7.0	3.9	3.9
AM6F-9		1963	6.5	3.6	3.6
AM6F-10		Eliminado	Eliminado	2	Eliminado
AM6F-11		1949	6.5	3.1	3.1
AM6F-12		1905	7.6	3.4	3.4
AM6F-13		1984	6.5	3.7	3.7
AM6F-14		1936	6.6	2.9	2.9
AM6F-15		1922	7.4	3.4	3.4
AM6F-16		Eliminado	Eliminado	2.2	Eliminado
AM6F-17		1889	7.9	3.1	3.1
AM6F-18		1957	6.5	3.5	3.5
AM6F-19		1894	7.1	3.6	3.6
AM6F-20		1917	6.4	3.1	3.1
AM6F-21		1852	8.1	2.7	2.7
AM6F-22		2029.0	6.4	2.8	2.8
AM6F-23		Eliminado	Eliminado	2.3	Eliminado
AM6F-24		1914	7.3	3.7	3.7
AM6F-25		1850	8.5	3	3.0
Media		1935	7.0	3.2	3.3
Desv Est				0.5	0.4
Mr Lim superior, Nivel confiaz 90%				4	
Mr limit Inferior, Nivel confiaz90%				2.4	

Evaluación de las propiedades mecánicas en Adoquines Rectangulares de concreto con incorporación de aglutinado de polietileno reciclado.

RESISTENCIA A FLEXION DE ADOQUINES

Norma de ensayo: NTC 2017

Edad de ensayo: veintiocho (28) días

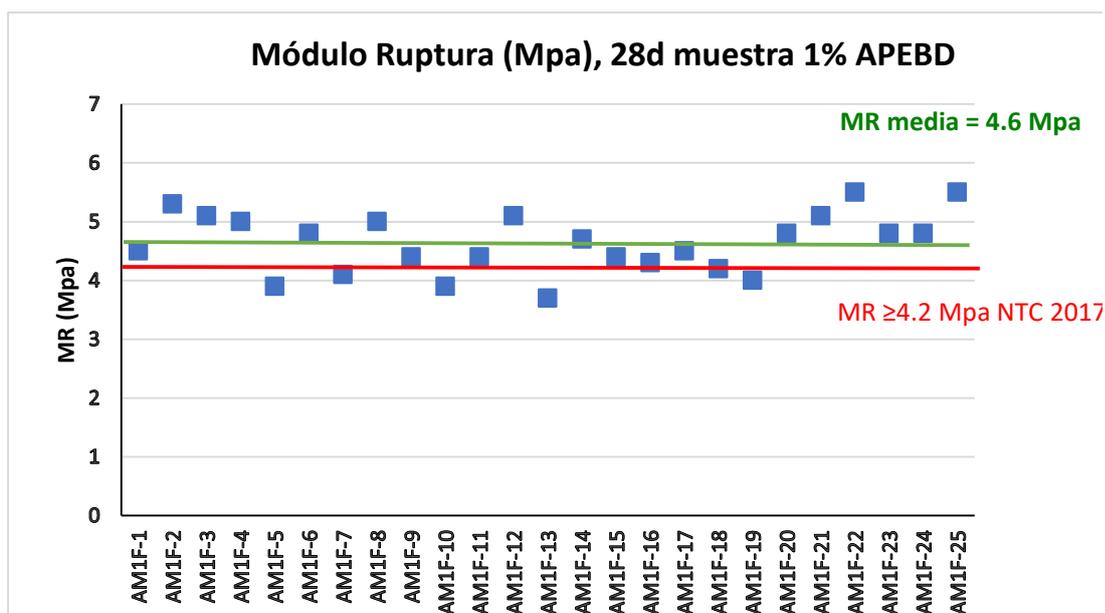
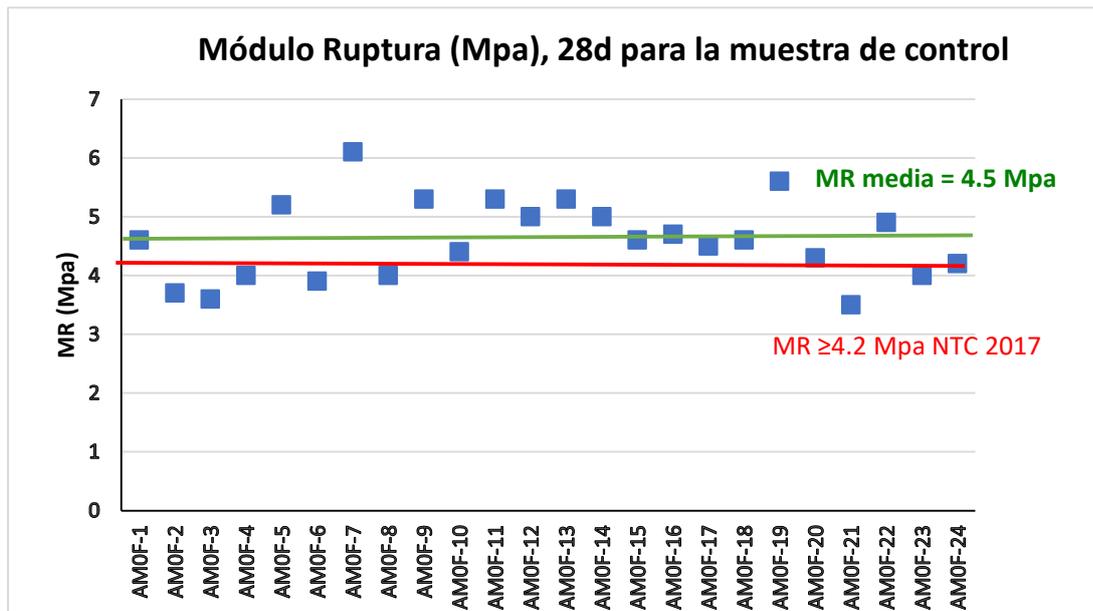
Adoquin No.	Tipo muestra	Densidad (kg/m³)	Absorción (%)	Mr (Mpa), 28d	Valores en el rango 90% confianza
AM6.4*F-1	M6.4*	1822	9.0	1.8	1.8
AM6.4*F-2		1788	10.0	1.5	1.5
AM6.4*F-3		1844	8.7	1.9	1.9
AM6.4*F-4		1775	9.7	2	2.0
AM6.4*F-5		Eliminado	Eliminado	1.2	Eliminado
AM6.4*F-6		1847	10.3	1.8	1.8
AM6.4*F-7		1861	9.8	1.7	1.7
AM6.4*F-8		1846	10.1	1.8	1.8
AM6.4*F-9		1899.0	8.4	2.3	2.3
AM6.4*F-10		Eliminado	Eliminado	2.4	Eliminado
AM6.4*F-11		1851	9.8	1.8	1.8
AM6.4*F-12		1861	9.7	1.9	1.9
AM6.4*F-13		Eliminado	Eliminado	1.2	Eliminado
AM6.4*F-14		1873	9.2	2	2.0
AM6.4*F-15		1900	8.4	2.2	2.2
AM6.4*F-16		1899	8.5	1.7	1.7
AM6.4*F-17		1860	9.9	1.5	1.5
Media Mr (Mpa), 28d		1852	9.4	1.8	1.9
Desv Est (Mr)				0.3	0.2
Mr Lim superior, Nivel confiaz 90%				2.3	
Mr limit Inferior, Nivel confiaz90%				1.3	

Evaluación de las propiedades mecánicas en Adoquines Rectangulares de concreto con incorporación de aglutinado de polietileno reciclado.

RESISTENCIA A FLEXION DE ADOQUINES

Norma de ensayo: NTC 2017

Edad de ensayo: veintiocho (28) días



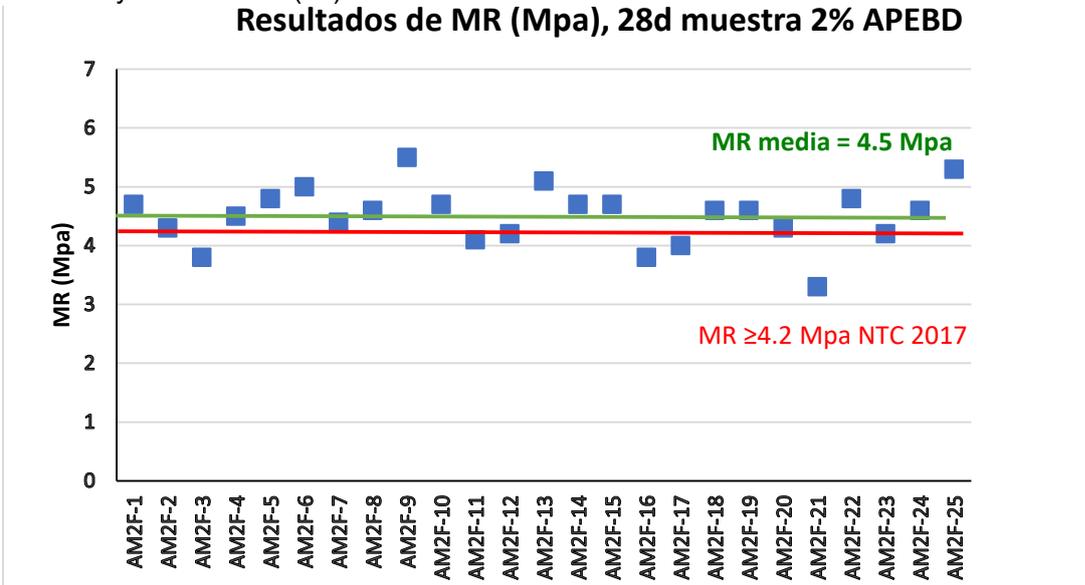
Evaluación de las propiedades mecánicas en Adoquines Rectangulares de concreto con incorporación de aglutinado de polietileno reciclado.

RESISTENCIA A FLEXION DE ADOQUINES

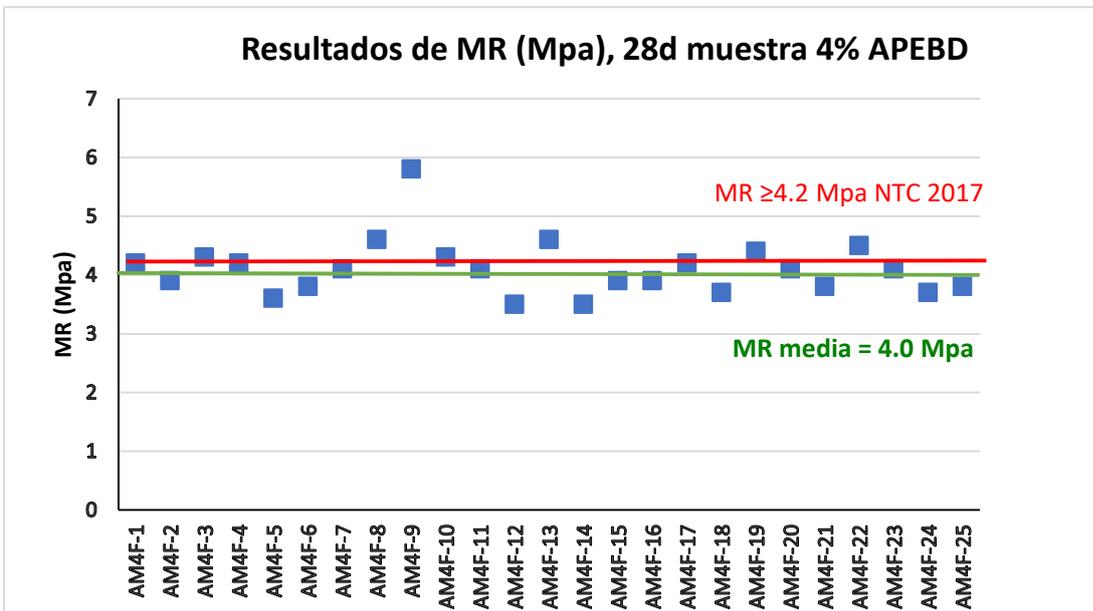
Norma de ensayo: NTC 2017

Edad de ensayo: veintiocho (28) días

Resultados de MR (Mpa), 28d muestra 2% APEBD



Resultados de MR (Mpa), 28d muestra 4% APEBD



Resultados de MR (Mpa), 28d muestra 6% APEBD

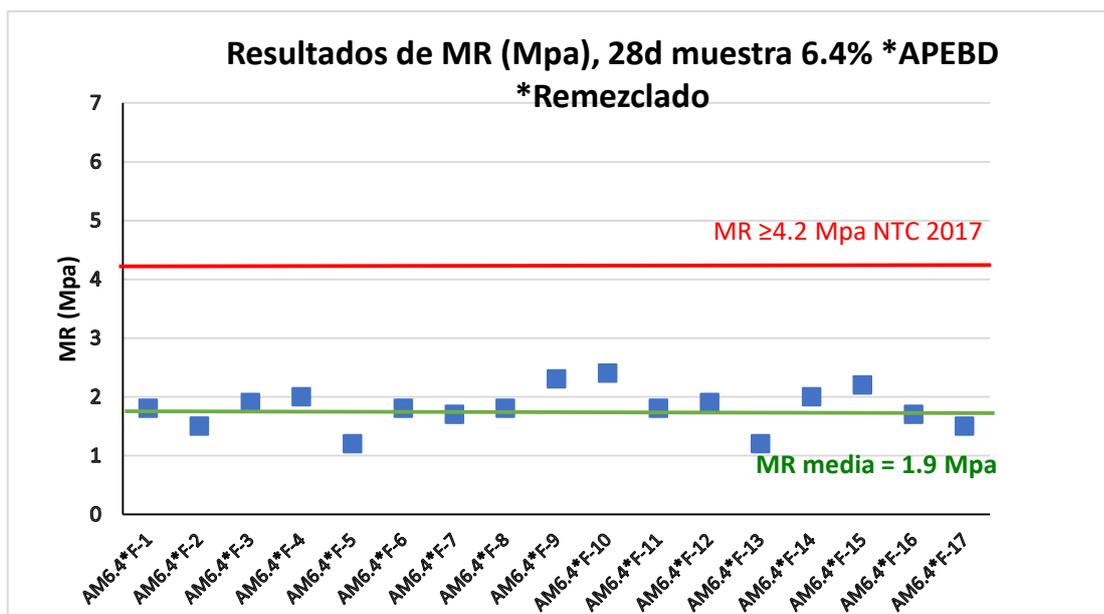
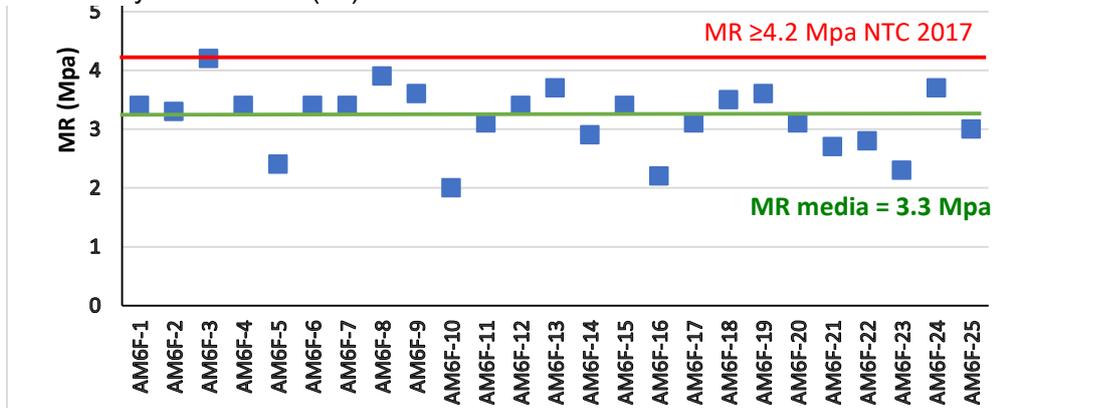


Evaluación de las propiedades mecánicas en Adoquines Rectangulares de concreto con incorporación de aglutinado de polietileno reciclado.

RESISTENCIA A FLEXION DE ADOQUINES

Norma de ensayo: NTC 2017

Edad de ensayo: veintiocho (28) días



Evaluación de las propiedades mecánicas en Adoquines Rectangulares de concreto con incorporación de aglutinado de polietileno reciclado.

MUESTRAS PARA COMPRESIÓN

Norma Invias E 426 - 13

Edad de ensayo: veintiocho (28) días

Adoquin No.	Tipo muestra	Rc (Mpa), 28d	Valores en el rango 90% confianza
AM0C-1	MUESTRA DE CONTROL	35.2	35.2
AM0C-2		36.3	36.3
AM0C-3		42	42
AM0C-4		29.3	29.3
AM0C-5		1	Eliminado
AM0C-6		24.5	24.5
AM0C-7		17.7	17.7
AM0C-8		15.4	15.4
AM0C-9		29.5	29.5
AM0C-10		28.6	28.6
AM0C-11		33.9	33.9
AM0C-12		43.2	43.2
AM0C-13		34.7	34.7
AM0C-14		42.8	42.8
AM0C-15		28.6	28.6
AM0C-16		35.1	35.1
AM0C-17		25.1	25.1
AM0C-18		21.2	21.2
AM0C-19		23.1	23.1
AM0C-20		1	Eliminado
AM0C-21		37.8	37.8
AM0C-22		28.5	28.5
AM0C-23		37.6	37.6
AM0C-24		26	26
Media RC (Mpa), 28d		28.3	30.7
Desv Est (Mr)		11.2	7.8
Mr Lim superior, Nivel confiaz 90%		46.7	
Mr limit Inferior, Nivel confiaz90%		9.9	

Evaluación de las propiedades mecánicas en Adoquines Rectangulares de concreto con incorporación de aglutinado de polietileno reciclado.

MUESTRAS PARA COMPRESIÓN

Norma Invias E 426 - 13

Edad de ensayo: veintiocho (28) días

Adoquin No.	Tipo muestra	RCa (Mpa), 28d	Valores en el rango 90% confianza
AM1C-1	M1% APEBD	34.7	34.7
AM1C-2		21.3	21.3
AM1C-3		21.5	21.5
AM1C-4		23.6	23.6
AM1C-5		13.1	Eliminado
AM1C-6		24.6	24.6
AM1C-7		31.3	31.3
AM1C-8		23.5	23.5
AM1C-9		26.3	26.3
AM1C-10		40.2	Eliminado
AM1C-11		34	34
AM1C-12		27.7	27.7
AM1C-13		37.1	37.1
AM1C-14		38.7	38.7
AM1C-15		32.8	32.8
AM1C-16		27.3	27.3
AM1C-17		24.3	24.3
AM1C-18		26.3	26.3
AM1C-19		31.9	31.9
AM1C-20		26.9	26.9
AM1C-21		22.9	22.9
AM1C-22			
AM1C-23			
AM1C-24			
AM1C-25			
Media RC (Mpa), 28d		28.1	28.20
Desv Est (Mr)		6.6	5.2
Mr Lim superior, Nivel confiaz 90%		39	
Mr limit Inferior, Nivel confiaz90%		17.2	

Evaluación de las propiedades mecánicas en Adoquines Rectangulares de concreto con incorporación de aglutinado de polietileno reciclado.

MUESTRAS PARA COMPRESIÓN

Norma Invias E 426 - 13

Edad de ensayo: veintiocho (28) días

Adoquin No.	Tipo muestra	Rc (Mpa), 28d	Valores en el rango 90% confianza
AM2C-1	M2% APEBD	22.6	22.6
AM2C-2		21.6	21.6
AM2C-3		21.6	21.6
AM2C-4		25.2	25.2
AM2C-5		25.9	25.9
AM2C-6		29.9	29.9
AM2C-7		24.5	24.5
AM2C-8		20.6	20.6
AM2C-9		32.1	32.1
AM2C-10		32.7	32.7
AM2C-11		29	29
AM2C-12		28	28
AM2C-13		28.6	28.6
AM2C-14		26.5	26.5
AM2C-15		31.4	31.4
AM2C-16		24	24
AM2C-17		18.9	18.9
AM2C-18		26.3	26.3
AM2C-19		24.4	24.4
AM2C-20		18.7	18.7
AM2C-21		30.7	30.7
AM2C-22		27.6	27.6
AM2C-23		36	36
AM2C-24		40	Eliminado
AM2C-25		37.2	Eliminado
Media RC (Mpa), 28d		27.4	26.40
Desv Est (Mr)		5.5	4.6
Mr Lim superior, Nivel confiaz 90%		36.4	
Mr limit Inferior, Nivel confiaz90%		18.4	

Evaluación de las propiedades mecánicas en Adoquines Rectangulares de concreto con incorporación de aglutinado de polietileno reciclado.

MUESTRAS PARA COMPRESIÓN

Norma Invias E 426 - 13

Edad de ensayo: veintiocho (28) días

Adoquin No.	Tipo muestra	Rc (Mpa), 28d	Valores en el rango 90% confianza
AM4C-1	M4% APEBD	31.4	Eliminado
AM4C-2		17.3	17.3
AM4C-3		23.7	23.7
AM4C-4		28.4	28.4
AM4C-5		15.6	Eliminado
AM4C-6		19.8	19.8
AM4C-7		19	19
AM4C-8		22.9	22.9
AM4C-9		21.8	21.8
AM4C-10		25.5	25.5
AM4C-11		25.1	25.1
AM4C-12		20.6	20.6
AM4C-13		18	18
AM4C-14		26.5	26.5
AM4C-15		13.7	Eliminado
AM4C-16		22.7	22.7
AM4C-17		22.9	22.9
AM4C-18		23.8	23.8
AM4C-19		24.6	24.6
AM4C-20		27	27
AM4C-21		25.2	25.2
AM4C-22		25.5	25.5
AM4C-23		24.4	24.4
AM4C-24		28.5	28.5
AM4C-25		22	22
Media RC (Mpa), 28d		23	23.4
Desv Est (Mr)		4.2	3.1
Mr Lim superior, Nivel confiaz 90%		29.9	
Mr limit Inferior, Nivel confiaz90%		16.1	

Evaluación de las propiedades mecánicas en Adoquines Rectangulares de concreto con incorporación de aglutinado de polietileno reciclado.

MUESTRAS PARA COMPRESIÓN

Norma Invias E 426 - 13

Edad de ensayo: veintiocho (28) días

Adoquin No.	Tipo muestra	Rc (Mpa), 28d	Valores en el rango 90% confianza
AM6C-1	M6% APEBD	20.4	20.4
AM6C-2		16.4	16.4
AM6C-3		24.1	Eliminado
AM6C-4		19.4	19.4
AM6C-5		21.9	21.9
AM6C-6		16.6	16.6
AM6C-7		22	22
AM6C-8		20.8	20.8
AM6C-9		15.1	15.1
AM6C-10		18.4	18.4
AM6C-11		17.4	17.4
AM6C-12		14.4	14.4
AM6C-13		17.6	17.6
AM6C-14		17.7	17.7
AM6C-15		22	22
AM6C-16		13.1	13.1
AM6C-17		17.9	17.9
AM6C-18		11.2	Eliminado
AM6C-19		15.5	15.5
AM6C-20		12.6	12.6
AM6C-21		19.4	19.4
AM6C-22		21.2	21.2
AM6C-23		13.3	13.3
AM6C-24		14.1	14.1
AM6C-25		18	18
Media RC (Mpa), 28d		17.6	17.6
Desv Est (Mr)		3.4	3
Mr Lim superior, Nivel confiaz 90%		23.2	
Mr limit Inferior, Nivel confiaz90%		12	

Evaluación de las propiedades mecánicas en Adoquines Rectangulares de concreto con incorporación de aglutinado de polietileno reciclado.

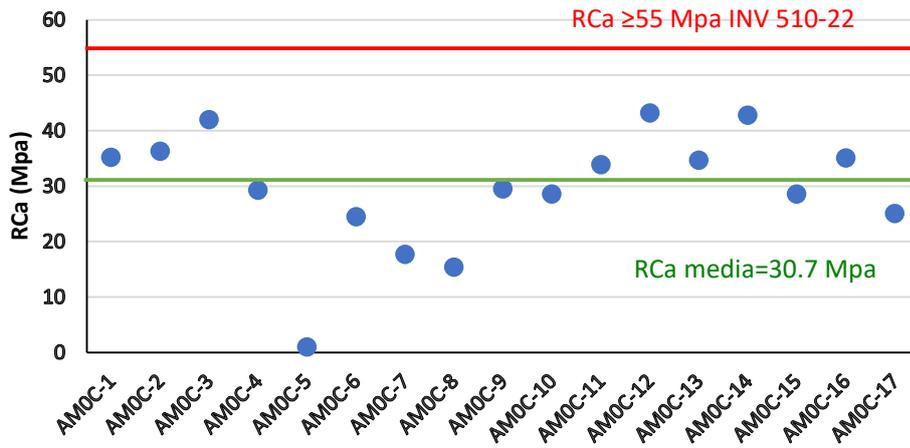
MUESTRAS PARA COMPRESIÓN

Norma Invias E 426 - 13

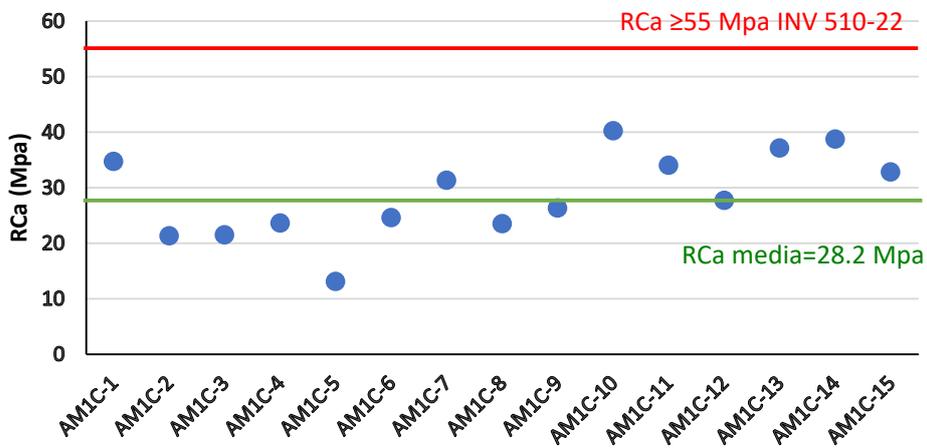
Edad de ensayo: veintiocho (28) días

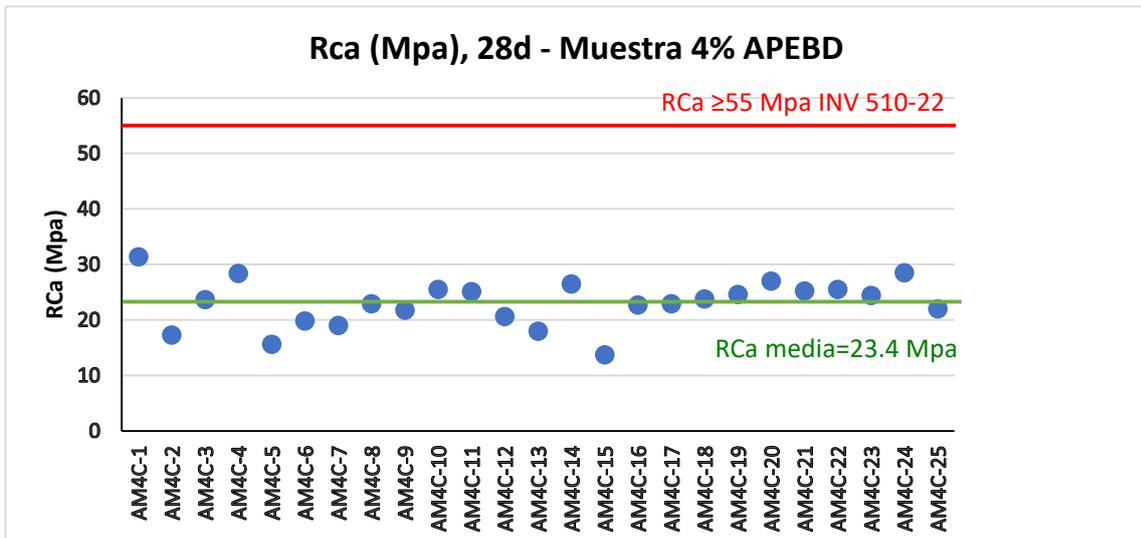
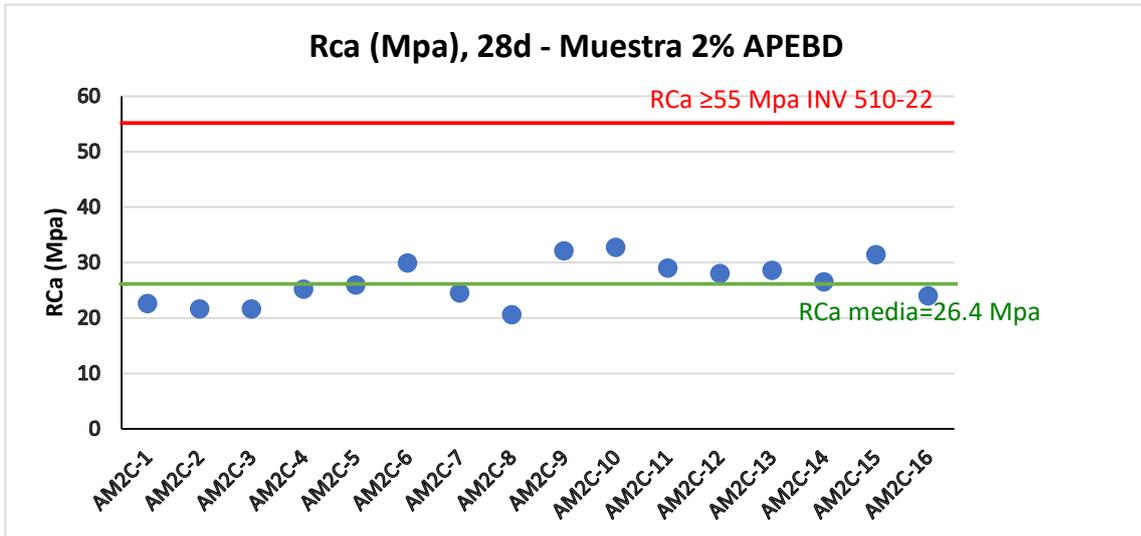
Adoquin No.	Tipo muestra	Rc (Mpa), 28d	Valores en el rango 90% confianza
AM6.4*C-1	M6.4% APEBD	13.4	13.4
AM6.4*C-2		12.9	12.9
AM6.4*C-3		15.2	15.2
AM6.4*C-4		13.4	13.4
AM6.4*C-5		11.8	11.8
AM6.4*C-6		14.1	14.1
AM6.4*C-7		13	13
AM6.4*C-8		12.2	12.2
AM6.4*C-9		14.2	14.2
AM6.4*C-10		14.9	14.9
AM6.4*C-11		11.2	11.2
AM6.4*C-12		13.1	13.1
AM6.4*C-13		14.6	14.6
AM6.4*C-14		14.5	14.5
AM6.4*C-15		8.9	Eliminado
AM6.4*C-16		14.4	14.4
AM6.4*C-17		9.7	9.7
AM6.4*C-18		8.2	Eliminado
Media RC (Mpa), 28d		12.8	13.3
Desv Est (Mr)		2.1	1.4
Mr Lim superior, Nivel confiaz 90%		16.3	
Mr limit Inferior, Nivel confiaz90%		9.3	

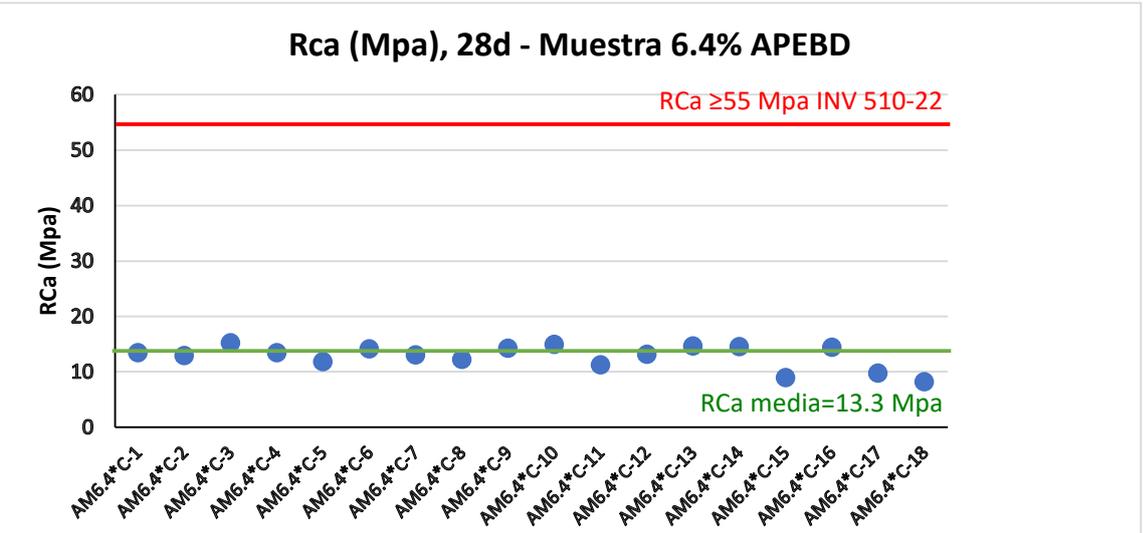
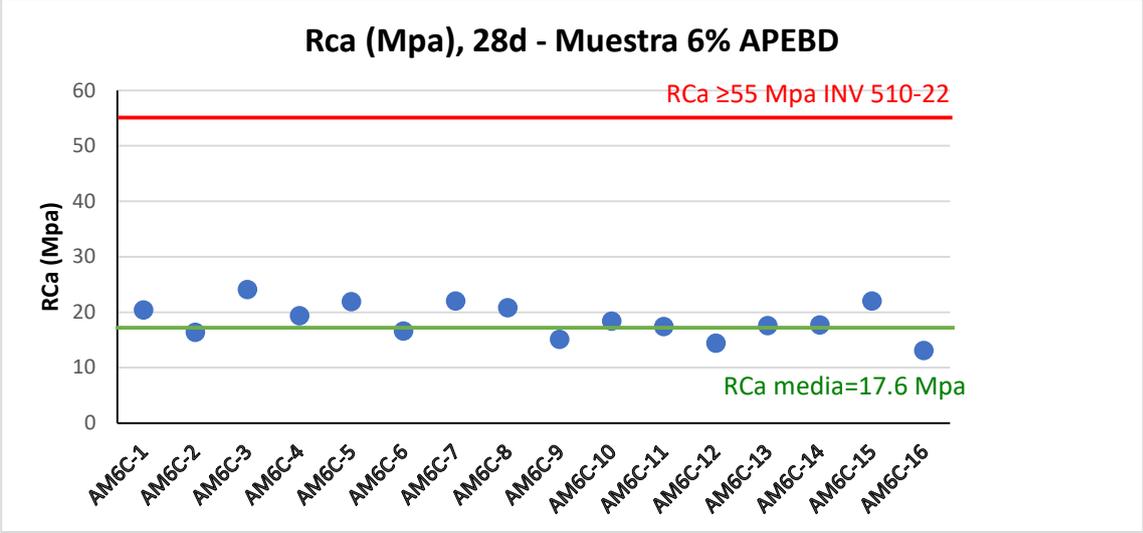
Rca (Mpa), 28d Muestra de Control



Rca (Mpa), 28d - Muestra 1% APEBD



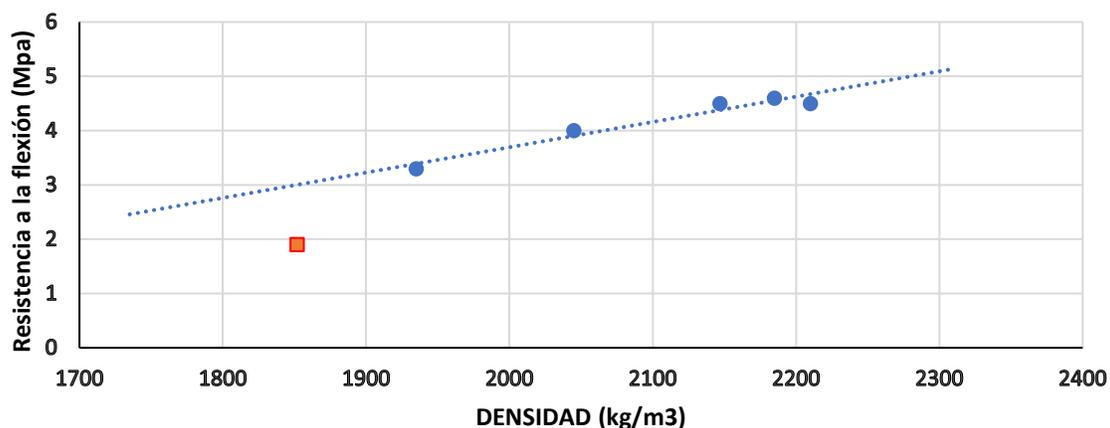




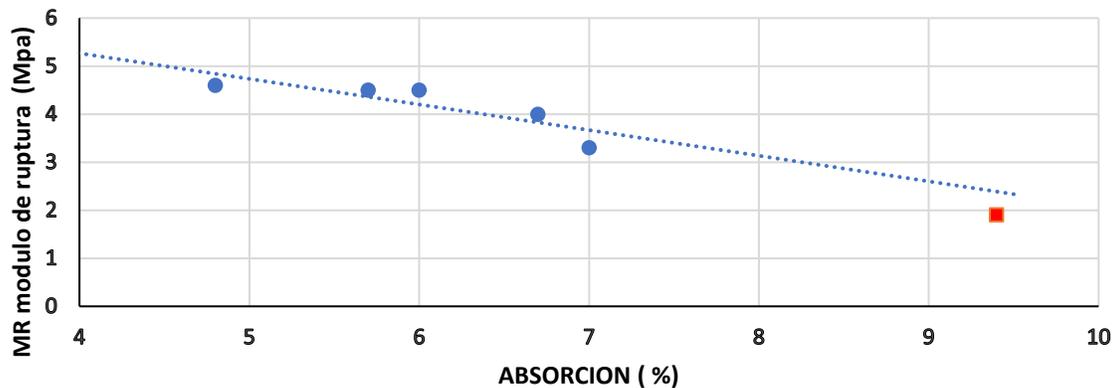
Resumen de resultados de resistencia a Flexión de adoquines para una edad de ensayo de 28 días

% APEBD	DENSIDAD (KG/M3)	ABSORCIÓN %	FLEXION (Mpa) 28 d
0	2210	5.7	4.5
1	2185	4.8	4.6
2	2147	6	4.5
4	2045	6.7	4
6	1935	7	3.3
6.4	1852	9.4	1.9

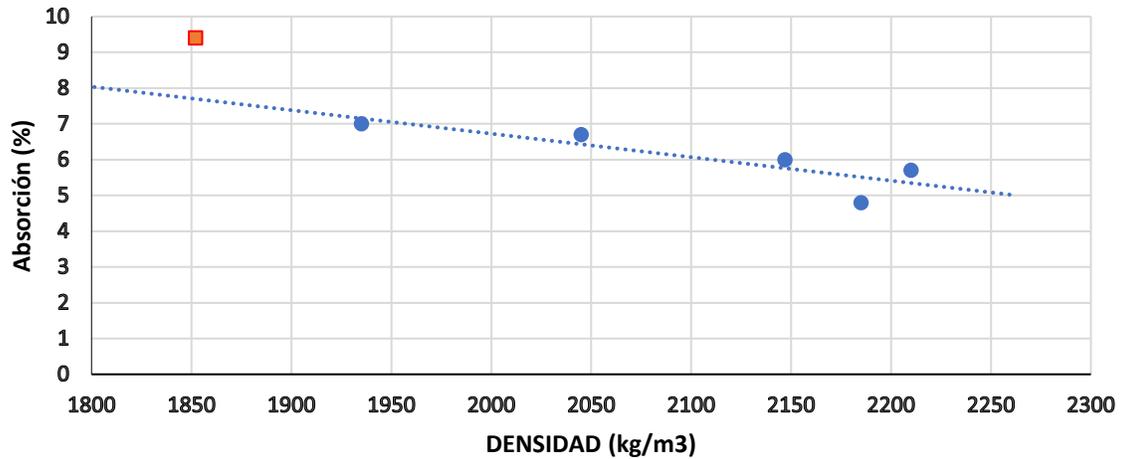
Efecto del APEBD sobre la Densidad y el MR (28d) en adoquines con L=200mm, A=100mm y E= 80 mm



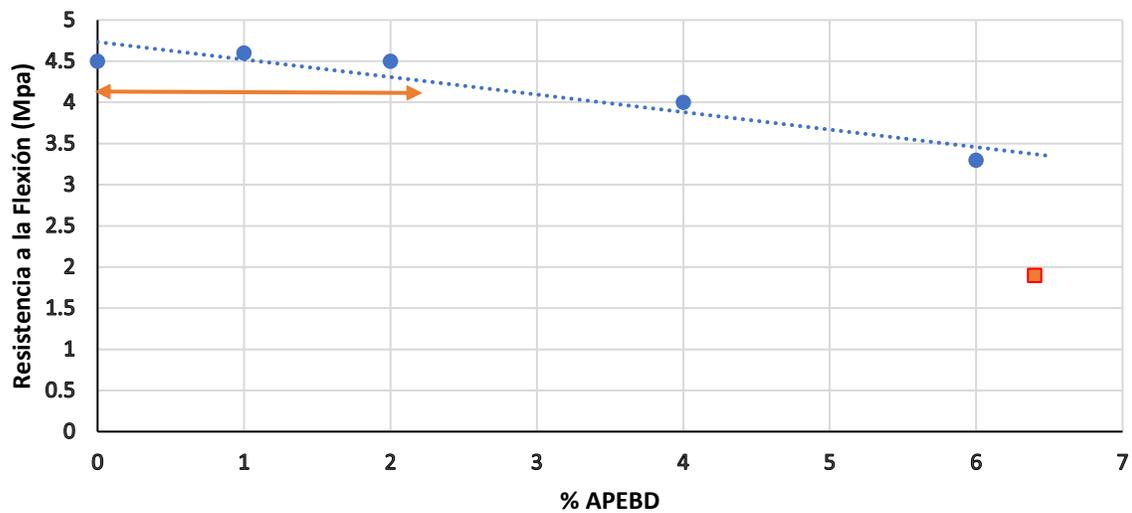
Efecto del APEBD sobre la Absorción y el MR (28d) en adoquines con L=200mm, A=100mm y E= 80 mm

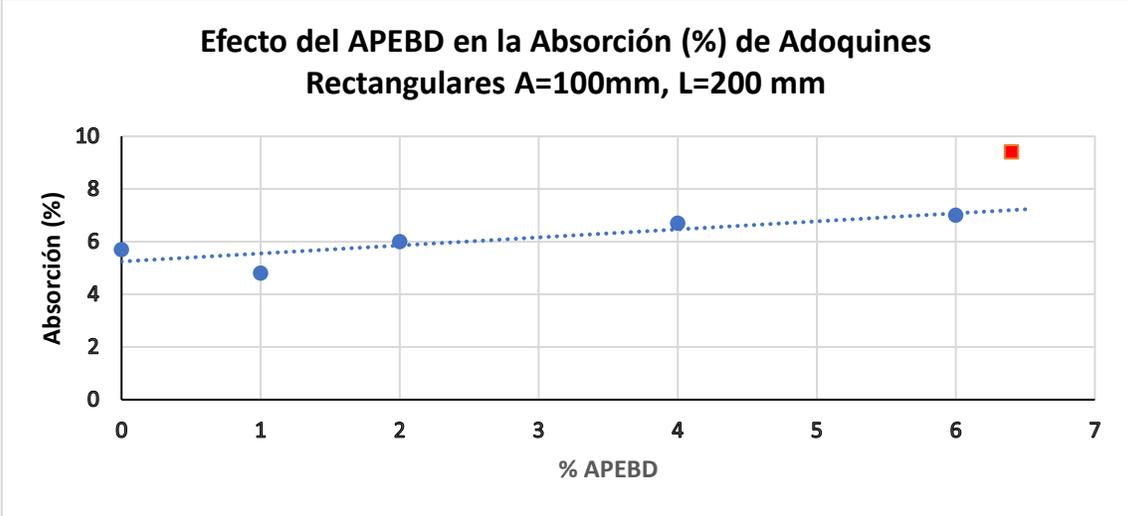


Relación entre la densidad y la absorción en adoquines con incorporación de APEBD con dimensión L=200mm, A=100mm y E= 80 mm



Efecto del APEBD en la resistencia a la Flexión (Mpa) 28 d de Adoquines Rectangulares A= 100m, L=200mm

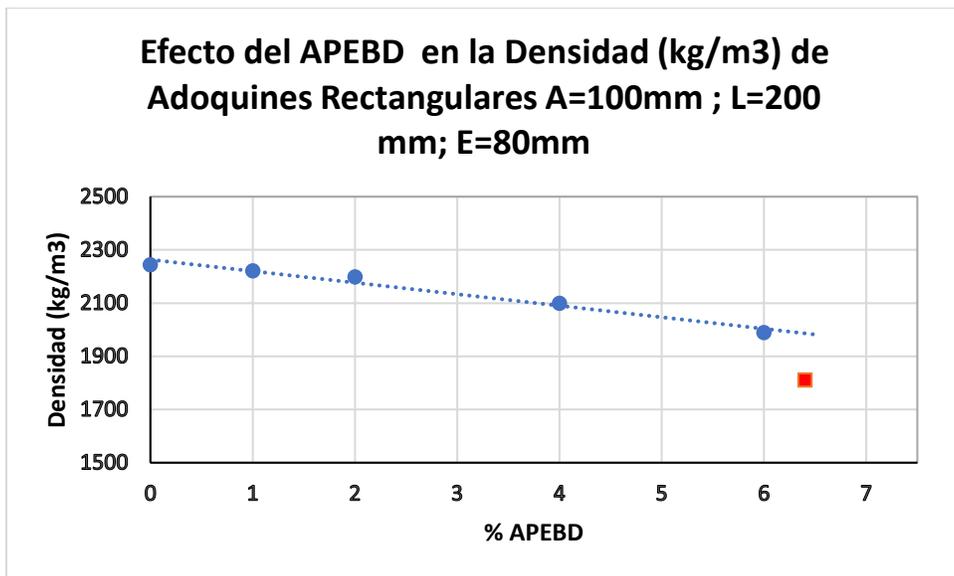
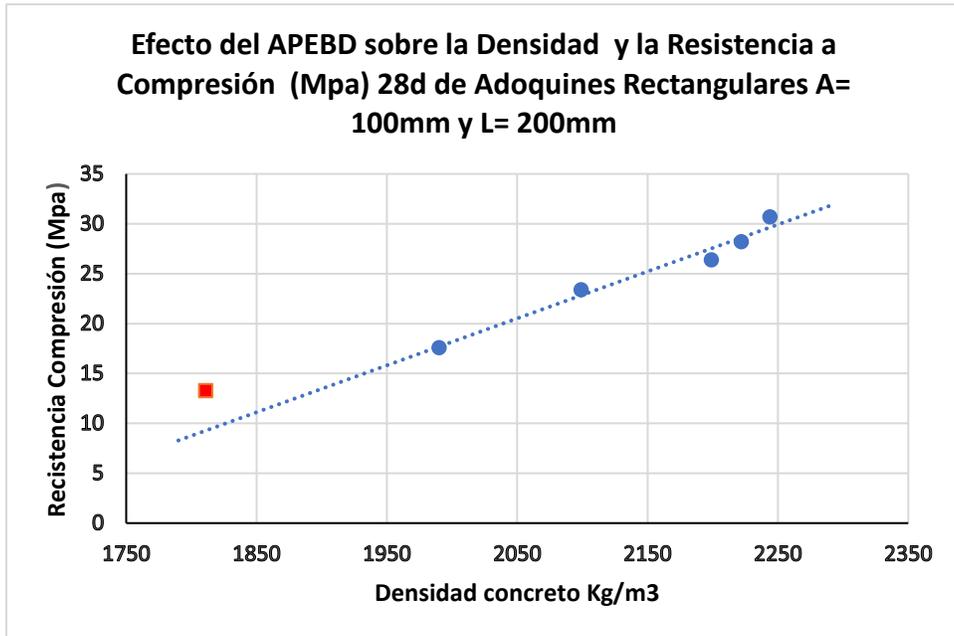


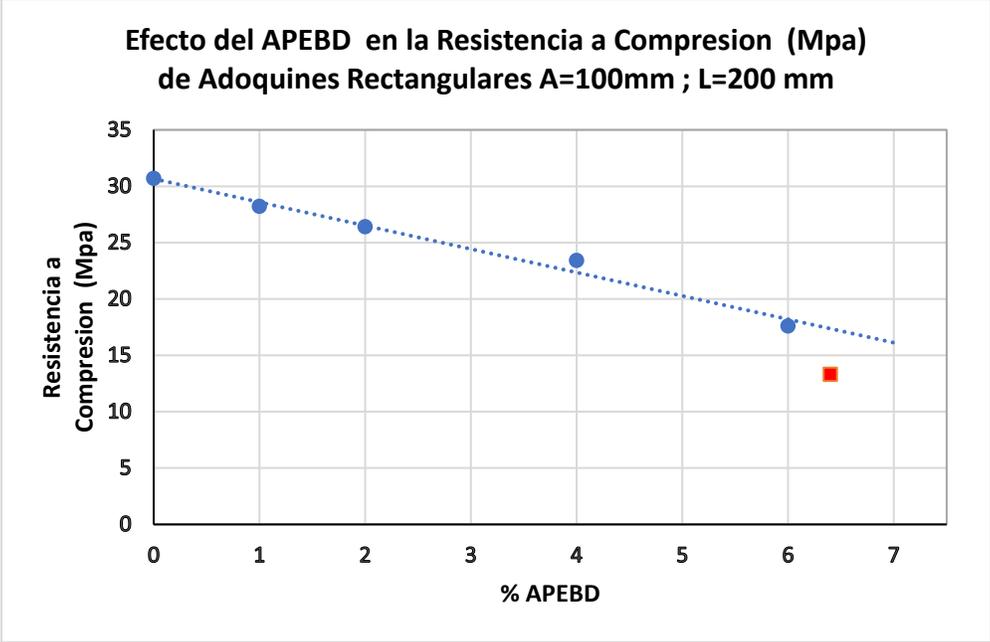


Nota: Para todos los gráficos la serie (punto) de color rojo, corresponde a la mezcla con 6.4% APEBD, la cual fue remezclada para lograr las probetas, con el primer mezclado de los materiales, los adoquines en estado fresco no tuvieron la suficiente cohesión para resistir el levantamiento de los moldes.

Resumen de resultados de resistencia a Compresión de adoquines para una edad de ensayo de 28 días

% APEBD	DENSIDAD (KG/M3)	COMPRESION (Mpa) 28d
0	2244	30.7
1	2222	28.2
2	2199	26.4
4	2099	23.4
6	1990	17.6
6.4	1811	13.3





Nota: Para todos los gráficos la serie (punto) de color rojo, corresponde a la mezcla con 6.4% APEBD, la cual fue remezclada para lograr las probetas, con el primer mezclado de los materiales, los adoquines en estado fresco no tuvieron la suficiente cohesión para resistir el levantamiento de los moldes.

Evaluación de las propiedades mecánicas en Adoquines Rectangulares de concreto con incorporación de aglutinado de polietileno reciclado.

Ensayos : Compresión, Flexión a 28 días, absorción y densidad normas de ensayos INVIAS 2022 INV E- 426 y NTC 2017.

Fecha ensayo: 10 de marzo de 2023

Nota; La muestra de control se realizó en una proporción de agregados de: 30% Arena de trituración (Pasa 3/8"-#16) y 70% Arena de río y se hizo variar la proporción del APEBD en los siguientes porcentajes : 1%, 2%, 4%, 6% y 6,4% con respecto al peso seco de los agregados.

Proporciones en Masa

NO.	Muestra	Cemento (C)	A/C	Ag.fino Trituración (T)	Ag. fino Río (R)	Ag. Sintetico APEBD (S)
Gs mat		2.96	1	2.74	2.6	0.94
1	Muestra control	1	0.31	0.78	1.83	0
2	M1 (1%APEBD)	1	0.31	0.77	1.79	0.03
3	M2 (2%APEBD)	1	0.31	0.75	1.75	0.05
4	M4 (4%APEBD)	1	0.31	0.75	1.74	0.1
5	M6 (6% APEBD)	1	0.31	0.72	1.68	0.15
6	M6*(6,4% APEBD)	1	0.31	0.71	1.66	0.16

Cantidades de materiales por m3 de mezcla

NO.	Muestra	Cemento (kg/m3)	Agua (L)	Agregado fino Río- (kg/m3)	Agregado fino Trituración- (kg/m3)	Ag. Sintetico APEBD(kg/m3)
1	Muestra control	611	189.4	476.6	1118.1	0.0
2	M1 (1%APEBD)	606	187.9	466.6	1084.7	18.2
3	M2 (2%APEBD)	607	188.2	455.3	1062.3	30.4
4	M4 (4%APEBD)	589	182.6	441.8	1024.9	58.9
5	M6 (6% APEBD)	583	180.7	419.8	979.4	87.5
6	M6,4 (6,4% APEBD)	583	180.7	413.9	967.8	93.3

COMPARACION EN TERMINOS DE ANALISIS BASICO DE LOS COSTOS DE UN ADOQUIN VS ADOQUIN CON 1% Y 2% DE APEBD

Nota: este analisis se realizo con fecha de corte marzo 15 de 2023

MATERIALES	CANTIDADES/MEZCLA			Valor unitario	VALOR PARCIAL		
	Muestra control	M1 (1%APEBD)	M2 (2%APEBD)		Muestra Control	M1 (1%APEBD)	M2 (2%APEBD)
Cemento (kg/m3)	608	606	607	700	425,600	424,200	424,900
Agua (L)	188.5	184.45	188.2	56	10,555	10,329	10,538
Agregado fino Trituración- (kg/m3)	0.680	0.660	0.6	146,000	99,280	96,360	93,440
Agregado fino Rio- (kg/m3)	0.76	0.73	0.72	70,000	53,200	51,100	50,400
Ag. Sintetico APEBD(kg/m3)	0	18.2	30.4	5,000	0	90,900	151,750
Valor costo Basico					\$ 588,635	\$ 672,889	\$ 731,028
Valor adicional por incluir APEBD						84,254	142,393
% Adicional por incluir APEBD						14.3%	24.2%
Valor básico \$/ Adoquin					\$ 942	\$ 1,077	\$ 1,170

Valor \$ / M2 de Adoquin

Tipo de Adoquin	vr. Unitario	Cant/m2	Valor/m2
Adoquin comercial	\$ 1,150.00	50	\$ 57,500
Adoquin comercial +1%APEBD	\$ 1,315.00	50	\$ 65,750
Adoquin comercial +2%APEBD	\$ 1,428.00	50	\$ 71,400

Cantidad de bolsas utilizadas por M2 y M3 de Adoquin

Tipo de Adoquin	Vol / concreto (m3)	Vol APEBD/m3 Concreto	Vol APEBD/m2 de Adoquin	Bolsas de 1Lt/M2 de Adoquin	Bolsas/M3 ccto Adoquin
Adoquin con 1%APEBD	0.08	0.045	0.0036	518	6,480
Adoquin con 2%APEBD	0.08	0.074	0.00592	852	10,656

Nota: 144.000 bolsas son aproximadamente 1m3 de APEBD

ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES

Descripción: Arena Tritudada - Cachibi TM 3/8" - Retenido N.16

DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCION DEL AGREGADO FINO
NORMA I.N.V. E - 222 - 13

ENSAYO N°	1	2	3	Promedio
Temperatura del ensayo (°C)	23	23		
Masa de la muestra saturada y superficialmente seca,g (S)	500.0	500.0	500.0	
Masa al aire de la muestra seca al horno,g (A)	486.0	486.5	486.5	
Masa del picnómetro aforado lleno de agua,g (B)	663.8	657.8	659.6	
Masa total del picnómetro aforado con la muestra y llena de : (C)	986.8	980.4	982.2	
B + S - C	177.00	177.40	177.40	
B + A - C	163.00	163.90	163.90	
Densidad relativa (gravedad Especifica) SH = $\frac{A}{(B + S - C)}$	2.75	2.74	2.74	2.74
Densidad relativa (gravedad Especifica) SSS - $\frac{S}{(B + S - C)}$	2.82	2.82	2.82	2.82
Densidad relativa aparente (Gravedad Especifica Aparente) = $\frac{A}{(B + A - C)}$	2.98	2.97	2.97	2.97
Absorción(%) = $\frac{S - A}{A} * 100$	2.80	2.70	2.70	2.75
Peso recipiente + muestra seca (g.)	591.0	599.2	596.6	
Peso recipiente (g.)	101.8	110.4	107.6	
Peso muestra seca (g.)	489.2	488.8	489.0	

Descripción: Arena de Rio (Puerto Tejeda) TM 3/8"

DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCION DEL AGREGADO FINO

ENSAYO N°	1	2	3	Promedio
Temperatura del ensayo (°C)	23	23		
Masa de la muestra saturada y superficialmente seca,g (S)	500.3	500.4		
Masa al aire de la muestra seca al horno,g (A)	491.1	491.1		
Masa del picnómetro aforado lleno de agua,g (B)	663.2	657.0		
Masa total del picnómetro aforado con la muestra y llena de : (C)	976.8	970.6		
B + S - C	188.62	188.62		
B + A - C	179.61	179.61		
Densidad relativa (gravedad Especifica) SH - $\frac{A}{(B + S - C)}$	2.60	2.60		2.60
Densidad relativa (gravedad Especifica) SSS - $\frac{S}{(B + S - C)}$	2.65	2.65		2.65
Densidad relativa aparente (Gravedad Especifica Aparente) = $\frac{A}{(B + A - C)}$	2.73	2.73		2.73
Absorción(%) = $\frac{S - A}{A} * 100$	1.8	1.8		1.8
Peso recipiente + muestra seca (g.)	602.6	607.4		
Peso recipiente (g.)	108.2	113.2		
Peso muestra seca (g.)	494.4	494.2		

DESCRIPCIÓN DEL SERVICIO:	Porosidad	TIPO DE MUESTRA:	Sólida	REFERENCIA COTIZACIÓN:	CÓDIGO INFORME:
FECHA RECEPCIÓN:	05/11/2021	FECHA REPORTE:	13/01/2023	No aplica	No aplica

OBJETIVO

Presentar los resultados obtenidos para la determinación de porosidad para la muestra analizada en el laboratorio.

SOLICITANTE

Nombre	Eduardo Adrada
Empresa	Universidad del Cauca
Dirección	Popayán, Cauca
Teléfono de contacto	3137197187

METODOLOGÍA Y EQUIPOS UTILIZADOS PARA EL ANÁLISIS DE MUESTRAS

- Determinación de porosidad en función de la densidad real y la densidad aparente del material
- Determinación de porosidad interna por absorción

DETERMINACIÓN DE LA POROSIDAD DE UN MATERIAL POLIMÉRICO

- Densidad real, $\rho_r = 0,9415 \pm 0,0020 \text{ g/cm}^3$ (Densímetro Accupyc)
- Densidad aparente, $\rho_a = 0,33 \text{ g/cm}^3$

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_a}{\rho_r}$$

Porosidad, $\varepsilon = 0,65$

DETERMINACIÓN DE POROSIDAD INTERNA

$$\varepsilon = \frac{V_{Líquido}}{V_{Total}}$$



ENSAYO 1: AGUA A TEMPERATURA AMBIENTE

Descripción del procedimiento:

- Se pesa la muestra seca, se obtiene un peso de 73.29 g
- La muestra seca se sumerge en agua a temperatura ambiente y se agita durante 30 min a 700 rpm
- Esta mezcla se deja en reposo durante 24 h
- Se filtra la muestra y se seca superficialmente
- Se pesa la muestra y se obtiene un peso de 77.95 g

➤ $\varepsilon = 0,056$



Material sumergido a T ambiente

ENSAYO 2: AGUA A 40 GRADOS CENTIGRADOS

Descripción del procedimiento:

- Se calienta agua hasta una temperatura de 40 °C.
- Se pesa la muestra seca, se obtiene un peso de 65.26 g
- La muestra seca se sumerge en agua a 40°C y se agita durante 30 min a 700 rpm
- Esta mezcla se deja en reposo durante 24 h
- Se filtra la muestra y se seca superficialmente.
- Se pesa la muestra y se obtiene un peso de 69.86 g

$$\text{➤ } \varepsilon = 0,062$$



Material sumergido a T = 40°C ambiente

ENSAYO 3: ETANOL AL 70% A TEMPERATURA AMBIENTE



Material sumergido en etanol al 70 %



Secado en horno a 40°C durante 24 h

Descripción del procedimiento:

- Se pesa la muestra seca, se obtiene un peso de 65.11 g
- La muestra seca se sumerge en etanol al 70% y se agita durante 30 min a 700 rpm
- Se tapa el beaker que contiene la mezcla con vinipel y se deja en reposo durante 24 h
- Se filtra la muestra y se seca superficialmente
- Se pesa la muestra y se obtiene un peso final de 69.23 g

$$\text{➤ } \mathbf{\varepsilon = 0,056}$$

EXPOSICIÓN AL MÉTODO DE LIOFILIZACIÓN



Antes y después del proceso liofilización

Peso Tara = 27.9586 g

Peso material antes de liofilización = 64.3781 g

Peso material después de liofilización = 64.3844 g

$$\text{➤ } \mathbf{\varepsilon = 0,056}$$

Nota: Los resultados reportados son válidos sólo para las muestras evaluadas, las cuales fueron tomadas y entregadas por el Usuario.

Descripción: Arena Tritudada - Cachibi TM 3/8" - Retenido N.16

DENSIDAD BULK (PESO UNITARIO) DE LOS AGREGADOS EN ESTADO SUELTO Y COMPACTO				
I.N.V.E-217 -13				
DENSIDAD BULK SUELTA				
Ensayo N°	1	2	3	Promedio
Tamaño Máximo Nominal	N.4			
Volumen del Recipiente (M³) (V)	0.003036	0.003036	0.003036	
Masa del Agregado Suelto (Kg) (P)	4.382	4.375	4.378	
Densidad Bulk $\frac{P}{V}$ (Kg/M³)	1443	1441	1442	1442
Humedad del material	0.0%			
Densidad Bulk del agregado Seco Suelto Kg/M³	1443	1441	1442	1442

Descripción: Arena de Rio - Puerto Tejada TM 3/8"

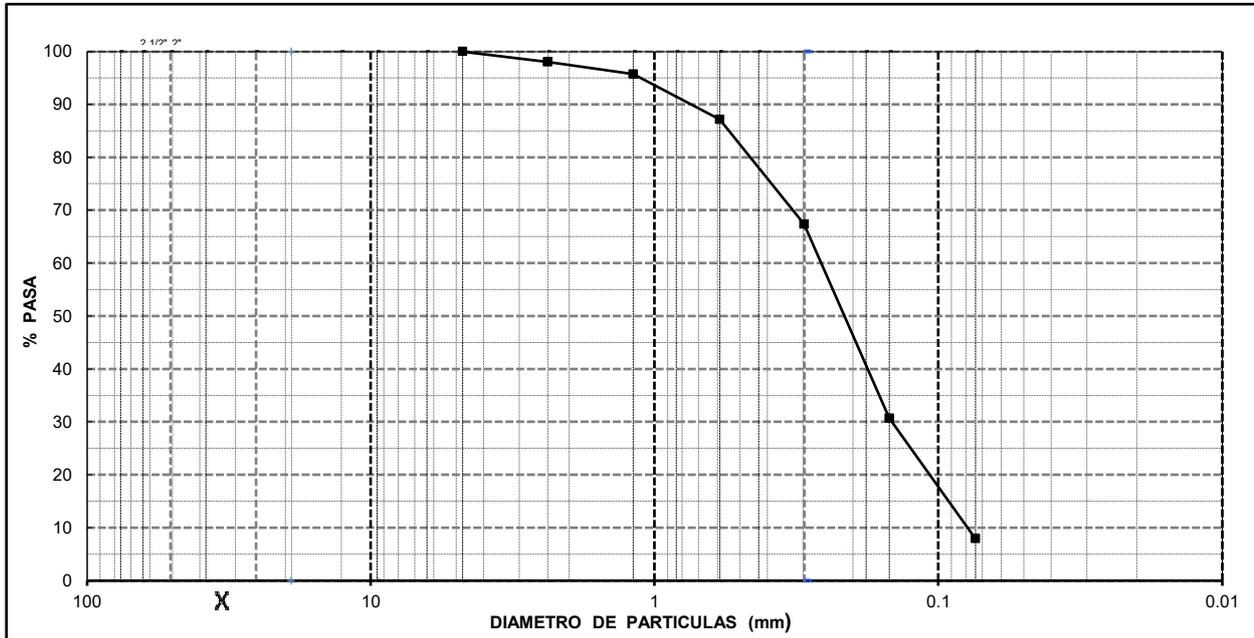
DENSIDAD BULK SUELTA				
Ensayo N°	1	2	3	Promedio
Tamaño Máximo Nominal	N.4			
Volumen del Recipiente (M³) (V)	0.003036	0.003036	0.003036	
Masa del Agregado Suelto (Kg) (P)	4.405	4.41	4.762	
Densidad Bulk $\frac{P}{V}$ (Kg/M³)	1451	1453	1569	1491
Humedad del material	0.0%			
Densidad Bulk del agregado Seco Suelto Kg/M³	1451	1453	1569	1491

Descripción: Sintético TM 3/8"

DENSIDAD BULK (PESO UNITARIO) DE LOS AGREGADOS EN ESTADO SUELTO Y COMPACTO				
I.N.V.E-217 -13				
DENSIDAD BULK SUELTA				
Ensayo N°	1	2	3	Promedio
Tamaño Máximo Nominal	N.4			
Volumen del Recipiente (M³) (V)	0.003036	0.003036	0.003036	
Masa del Agregado Suelto (Kg) (P)	1.100	1.105	1.100	
Densidad Bulk $\frac{P}{V}$ (Kg/M³)	362	364	362	363
Humedad del material	0.0%			
Densidad Bulk del agregado Seco Suelto Kg/M³	362	364	362	363

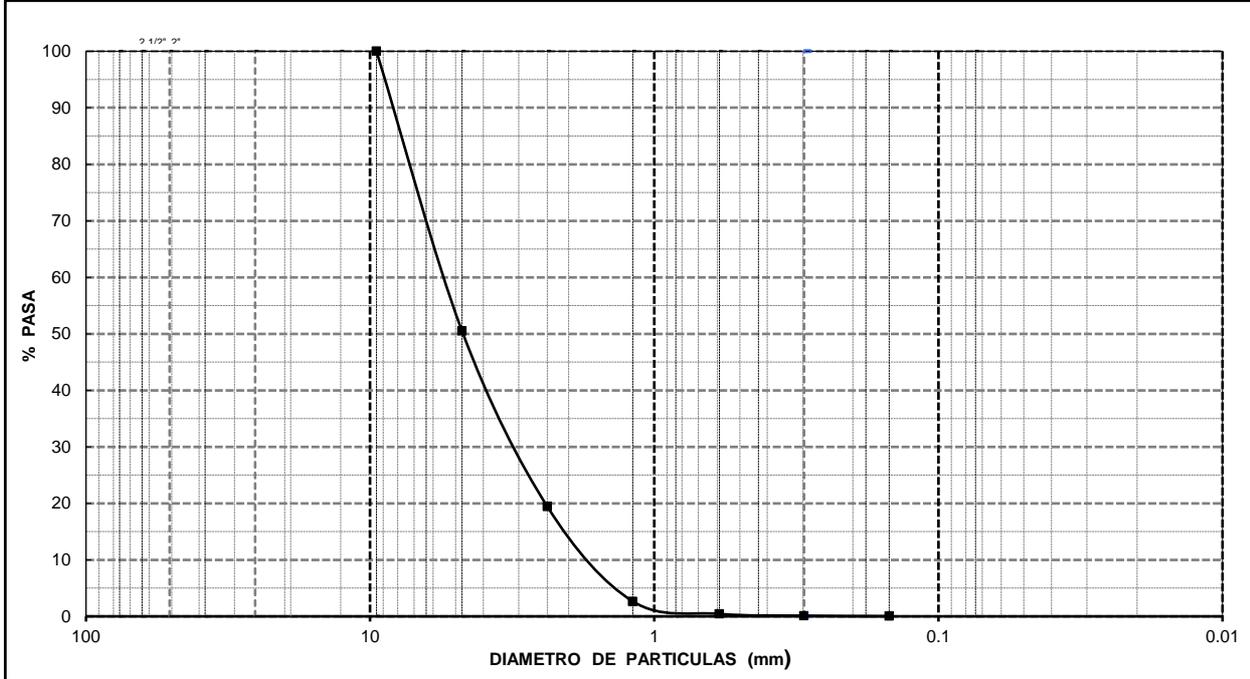
ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS
I.N.V. E - 213-13 Y 202-13

Descripción: Arena de Rio - Puerto Tejada TM 3/8"



ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS
I.N.V. E - 213-13 Y 202-13

Descripcion: Material sintético Pasante 3/8"



TAMICES	PESO RETENIDO (g.)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
3/8"	0	0.0	0	100
N°4	408.8	49.5	49.5	51
N°8	256.5	31.1	80.6	19
N°16	138.6	16.8	97.3	3
N°30	18.3	2.2	99.6	0.4
N°50	2.7	0.3	99.9	0.1
N°100	0.7	0.1	100.0	0.0
N°200	0.2	0.0	100.0	
-200	0.1	0.0		
Peso seco inicial (g.) =		825.9		

Condiciones de la arena al realizarse el ensayo:

Humeda

Seca al aire Seca al horno

Descripción: Arena Tritudada - Cachibi TM 3/8" - Retenido N.16

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE VACÍOS EN AGREGADOS FINOS NO COMPACTADOS
(INFLUENCIADOS POR LA FORMA DE LAS PARTÍCULAS, LA TEXTURA SUPERFICIAL Y LA GRANULOMETRÍA)
I.N.V. E – 239 – 13

Muestra con gradación estándar (Metodo de prueba A).		
PRUEBA	1	2
G: Densidad relativa seca (Gravedad Especifica) del agregado fino	2.74	2.74
V: Volumen del medidor del cilíndrico, (ml)	99.3	99.3
F: Masa neta del agregado fino en el medidor, (g)	143.48	143.41
U = Porcentaje de vacíos en el agregado fino sin compactar.	47.3	47.3
Us = Porcentaje de Vacíos del agregado fino sin compactar	47.3	

Descripción: Arena de Rio (Puerto Tejada) TM 3/8"

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE VACÍOS EN AGREGADOS FINOS NO COMPACTADOS
(INFLUENCIADOS POR LA FORMA DE LAS PARTÍCULAS, LA TEXTURA SUPERFICIAL Y LA GRANULOMETRÍA)
I.N.V. E – 239 – 13

Muestra con gradación estándar (Metodo de prueba A).		
PRUEBA	1	2
G: Densidad relativa seca (Gravedad Especifica) del agregado fino	2.60	2.60
V: Volumen del medidor del cilíndrico, (ml)	99.30	99.30
F: Masa neta del agregado fino en el medidor, (g)	144.03	144.01
U = Porcentaje de vacíos en el agregado fino sin compactar.	44.29	44.22
Us = Porcentaje de Vacíos del agregado fino sin compactar	44.3	