

**FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES**

**TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

**VALORIZACIÓN DEL RESIDUO DE NEUMÁTICO EN
LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO ARTICULADO**

Nayla Caridad Matos Coello

HOLGUÍN 2022



**FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES**

**TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

**VALORIZACIÓN DEL RESIDUO DE NEUMÁTICO EN
LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO ARTICULADO**

Autor: Nayla Caridad Matos Coello

Tutores: MsC. Ing. Eunices Soler Sánchez

DrC. Ing. Arq. Frank Navarro Tamayo

HOLGUÍN 2022



PENSAMIENTO



“Las cosas buenas se deben hacer sin llamar al universo para que lo vea a uno pasar. Se es bueno porque sí; y porque allá dentro se siente como un gusto cuando se ha hecho un bien, o se ha dicho algo útil a los demás”

José Martí

DEDICATORIA

- ✓ *Esta tesis va dedicada con todo el amor del mundo a mi madre, pues he llegado a donde estoy y me he convertido en lo que soy gracias a ella, que ha estado al pendiente de cada detalle, apoyándome, motivándome, ayudándome y nunca me ha dejado sola. Te Amo.*
- ✓ *También a mi hija Ashley quién ha sido mi mayor motivación para nunca rendirme en los estudios y poder llegar a ser un ejemplo para ella.*

AGRADECIMIENTO

- ✓ *A los trabajadores de la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA), principalmente a la Ing. Solanch, que sin ellos no hubiera sido posible la realización de los experimentos.*
- ✓ *Agradecida con mi madre y mi tía por su comprensión y estímulo constante.*
- ✓ *Mis tutores MsC. Eunices Sánchez Soler y DrC. Frank Navarro Tamayo*
- ✓ *Y a todas esas personas que de una forma u otra me han ayudado a que esto fuera posible.*

A todos muchas gracias

RESUMEN

En la actualidad, se emplean residuos industriales en diferentes ramas económicas dependiendo de sus características. La construcción de vías no está exenta y se realizan investigaciones en los que se han obtenidos excelentes resultados principalmente en pavimentos flexibles. Las calles de los repartos residenciales de las zonas periféricas de la ciudad de Holguín están en un estado de desfavorables a las cuales se podrían aplicar la técnica de pavimentación articulada para mejorar la capa de rodadura, así como las aceras. En el municipio está ubicada la planta recapadora Arsenio Escalona, donde se generan volúmenes de residuos de neumático que podrían ser empleados para la conformación de adocretos. Esta investigación centra su objetivo en valorizar el uso de este residuo para la fabricación de adocretos, en función de la problemática de los viales antes mencionados. Para ello se realizan estudios que permiten diseñar una mezcla patrón por el método O'Reilly, y otras dos en las que se sustituyen un 3% y 5% del total de la arena por residuo de neumático. A partir de los ensayos realizados a las muestras arrojan como resultados que: los parámetros de desgaste y absorción cumplen con los requerimientos establecidos en la NC 998:2014, con respecto al parámetro de resistencia la mezcla patrón alcanza 52MPa de resistencia (permite circulación de tráfico pesado) sin embargo para las que se realizan con neumático, se alcanzan (32 MPa para 3%) y (29 MPa para 5%) lo que demuestra que las resistencias disminuyen a medida que se incrementa este residuo y que sí pueden emplearse para la conformación de vías peatonales o carriles para la circulación de ciclos. Para las referencias y asentamientos bibliográficos se utilizaron las normas cubanas establecidas.

ABSTRACT

Currently, industrial waste is used in different economic branches depending on its characteristics. The construction of roads is not exempt and investigations are carried out in which excellent results have been obtained, mainly in flexible pavements. The streets of the residential districts of the peripheral areas of the city of Holguín are in an unfavorable state to which the articulated paving technique could be applied to improve the wearing course as well as the sidewalks. The Arsenio Escalona recapping plant is located in the municipality, where volumes of tire waste are generated that could be used for the formation of adocretes. This research focuses its objective on valuing the use of this waste for the manufacture of adocretes, based on the problems of the aforementioned vials. To this end, studies are carried out that allow the design of a master mix using the O'Reilly method, and two others in which 3% and 5% of the total sand is replaced by tire waste. From the tests carried out on the samples, the results show that: the wear and absorption parameters meet the requirements established in NC 998: 2014, with respect to the resistance parameter, the standard mixture reaches 52MPa of resistance (allows traffic circulation heavy) however for those made with tires, (32 MPa for 3%) and (29 MPa for 5%) are reached, which shows that the resistances decrease as this residue increases and that they can be used for the formation of pedestrian paths or lanes for the circulation of cycles. For the references and bibliographic settlements, the established Cuban standards were used.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO REPRESENTATIVO DEL PAVIMENTO ARTICULADO CON EL USO DE RESIDUO DE NEUMÁTICO.....	9
Introducción al Capítulo	9
1.1 Definiciones, tipos y características de los pavimentos.....	9
1.2 Pavimento articulado.....	13
1.2.1 Antecedente del empleo del pavimento articulado en el mundo y en Cuba.....	13
1.2.2 Pavimentos con adoquines de hormigón.....	20
1.2.3 Antecedentes de estudios sobre el uso de residuos industriales en la construcción de pavimento articulado.....	24
1.3 Caracterización del estado actual de los viales en Cuba y Holguín.....	28
1.4 Caracterización del residuo de neumático procedente de la planta recapadora de neumático de Holguín “Arsenio Escalona”.....	31
1.4.1 Especificaciones que deben cumplir los adocretos según la NC 998:2014.....	32
1.4.2 Ensayos que se realizan a los componentes del adocreto.....	34
1.4.3 Ensayos que se realizan al adoquín d hormigón (adocreto).....	35
Conclusiones del capítulo.....	36
CAPÍTULO II: VALORIZACIÓN DEL EMPLEO DE RESIDUOS DE NEUMÁTICOS DE LA RECAPADORA “ARSENIO ESCALONA” DE LA CIUDAD DE HOLGUÍN PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO ARTICULADO.....	38
Introducción al Capítulo	38
2.1 Ensayos de los materiales componentes.....	38
2.2 Diseño experimental.....	42
2.2.1 Diseño de la mezcla patrón y con residuo de neumático.....	44
2.2.2 Ensayos de la mezcla patrón.....	47
2.2.3 Ensayos de la mezcla con residuos de neumáticos.....	49
2.2.4 Análisis de los resultados.....	51

2.3 Valorización del empleo de adocretos con residuos de neumáticos para la construcción de calles en la ciudad de Holguín.....	53
Conclusiones del capítulo.....	54
CONCLUSIONES GENERALES.....	56
RECOMENDACIONES.....	57
BIBLIOGRAFÍA.....	58
ANEXOS.....	65

INTRODUCCIÓN

La construcción de vías de comunicación, especialmente las carreteras, surge por la necesidad de crear un espacio que permita la circulación de los usuarios en sus diversas formas o medios para trasladarse desde un lugar a otro. Desde el surgimiento de la rueda que dio origen a los diversos medios de transporte, fueron desarrollándose las diferentes superficies terrestres de circulación. En la antigüedad las primeras formas de construcción de los viales a partir de bloques de piedra trabajados especialmente para obtener una superficie lisa. Actualmente quedan vestigios de algunas de ellas como lo es la vía Apia, en Roma. Con el descursar del tiempo los materiales y técnicas de construcción de pavimentos fueron evolucionando hasta crear superficies más resistentes y que permitan mejor confort en la circulación.

Los pavimentos pueden ser: rígidos, flexibles, semirrígidos y articulados, los cuales se construyen fundamentalmente para la circulación de medios de transporte y también para la circulación peatonal. Los primeros poseen una alta resistencia y se emplean fundamentalmente en zonas urbanas, pues son adecuados para resistir tanto las fuerzas verticales impuestas por el tránsito y los esfuerzos horizontales producidos por la fuerza de frenado. Los segundos son funcionales principalmente en vías rurales pues resisten mejor las cargas verticales, el tercero es una combinación entre el primero y el segundo, siendo la capa superior de mezcla asfáltica apoyada sobre una superficie rígida (losa de hormigón o capa de suelo estabilizada) y los articulados son los popularmente conocidos como adoquines que son los primeros en emplearse como se menciona anteriormente. Estos últimos no quedaron en el olvido, sino que aún diversos países los emplean, entre ellos: Rusia, Italia, España, Ámsterdam, Turquía, México, Ecuador, entre otros. Para esta investigación en particular se

hará énfasis en el pavimento articulado. Diversos son los primeros materiales que se emplean para su conformación. En un inicio fueron de piedra, dentro de ellos: los guijarros de río, que, junto con una capa de arena y cal, quedan sellados, formando las primeras carreteras pavimentadas de la historia. Más tarde se comienzan a usar los de madera, con el objetivo de disminuir el ruido que provocaban las carretas y las herraduras de los animales al pisar el adoquinado. También existen de barro (ladrillo cerámico), que se emplea desde hace más de 5.000 años. En la antigua Mesopotamia, ya se disponía para pavimentar las calles y caminos. El rápido desgaste de su superficie hizo que quedasen obsoletos para la circulación de los diversos medios de transportes, y su emplearon para la construcción de plazas y senderos peatonales. Por último, llegaron los adoquines de hormigón (que aparece en la actualidad en muchos lugares con el calificativo de adocretos, aunque sigue persistiendo el nombre de adoquín). Estos empezaron a fabricarse a principios del siglo XIX y revolucionaron la industria. Fue en Holanda y Alemania donde se empiezan a estilar, aunque en la década de los 70's la demanda se dispara, ya que se emplean en todo el mundo. (Sarría, 2019).

Los adoquines y/o adocretos pueden emplearse tanto para la construcción de vías para el tránsito vehicular y peatonal, aceras, superficies de parques, plazas, zonas de parqueo, entre otras. Por tanto, los materiales a emplear para su conformación estarán en función de su utilidad.

En el caso de Cuba, esta técnica de pavimentación no es muy difundida y sólo se pueden percibir en gran medida en provincias como La Habana, Sancti Spíritus (Trinidad), Camagüey, Granma (Bayamo) que se mantienen por cuestión de cultura y patrimonio. Los tipos de adoquines se puede percibir en la actualidad en el país son: de piedras, madera, cerámicos y adocretos. Sin embargo, la pavimentación que más se emplea en el territorio nacional es la de mezclas asfálticas. Que incluso se generan pavimentos mixtos, pues se colocan capas de

hormigón asfáltico sobre superficies de losas de hormigón (pavimento rígido) como acciones de mantenimiento y conservación de las calles de las zonas urbanas. Con respecto a estos trabajos según el Ing. Pavel Rodríguez Rodríguez, director del Centro Provincial de Vialidad afirma que los mantenimientos en el país sólo se encuentran planificados para las carreteras de interés nacional, como la carretera central. A este tipo de carretera se le realizan mantenimientos mensuales (corresponden a limpiezas) y anuales (bacheo, relleno de grietas, etc.), los que necesitan alrededor de doscientos millones de pesos anuales. Estas cifras significan que se requieren inversiones bien altas para que la malla vial del país logre un estado de calidad apropiado para satisfacer las demandas generadas por el tráfico vehicular. (Aragón, 2021)

El municipio de Holguín en particular, que es donde se centra esta investigación, cuenta con una extensión territorial de 689,8 km². Presenta una red vial de 1148.74 km, de las cuales, más del 30% están asfaltadas y el resto carece del mismo. De los viales pavimentados en el municipio cabecera, en buen estado existen 314.1 km, lo que representa el 27.3%, de modo que demuestra que más del 70% del sistema vial urbano está sin una capa de rodadura en condiciones óptimas para ofrecer una cómoda circulación. (Aragón, 2021)

De la información planteada anteriormente, cualquier persona que circule por las calles de la ciudad puede percibir, principalmente en los repartos de las zonas periféricas al centro de ciudad que en su mayoría adolecen de una capa de superficie adecuada para la circulación como, por ejemplo, los repartos: Nuevo Llano, La Quinta, Libertad, Piedra Blanca, 26 de Julio, por mencionar algunos y además estos son de amplia extensión. La justificación a esta situación como, se expresó anteriormente, está dada por la situación económica del país y, por tanto, las inversiones que se dedican a las actividades de mantenimiento y/o reparación con mezclas asfálticas (como técnica más empleada) son para aquellas calles y avenidas de interés local que por lo general son las de centro de ciudad.

Quedando desatendidas las restantes y que generan inconformidad en los habitantes de cada lugar afectado.

A nivel mundial se ha incentivado en el uso de materiales alternativo como acción de prevenir o mitigar las afectaciones al medio ambiente, entre estas se encuentran el del empleo de residuos para las diferentes ramas de la economía. La dirección del territorio cubano también trabaja acorde a lo antes planteado y ha dado más protagonismo en la toma de decisiones a los gobernantes de cada territorio en función de los recursos que cada localidad dispone y su uso para resolver los problemas de cada uno de ellos aspecto abordado en la Asamblea Nacional del Poder Popular (12 abril, 2019), donde el presidente de los Consejos de estado y de Ministros Miguel Díaz- Canel Bermúdez plantea las instituciones de la Educación Superior tienen la responsabilidad de garantizar el asesoramiento y la capacitación de los cuadros profesionales con cargos de dirección a nivel local, además de elaborar propuestas que partan de la ciencia y apliquen mecanismos de innovación.

El programa de desarrollo local – aseveró el mandatario -, debe abarcar pilares económicos, sociales, ambientales y culturales, pues es la forma en que el territorio proyecta el avance de todas sus esferas, y demanda que exista un encadenamiento en aras de su sostenimiento. Planteó además que debe extenderse la práctica de que los gobiernos lleven sus demandas de investigación a las universidades, y que desde ahí se generen alternativas innovadoras para la solución de los problemas. (www.escambray.cu, 2019)

Teniendo en cuenta todo lo antes planteado y que además las pavimentaciones tanto con losas de hormigón, así como con mezclas asfálticas son costosas, entonces cabe preguntarse: ¿por qué no pensar en colocar pavimento articulado en estas calles de la ciudad de Holguín si aún se emplean en varios países del mundo tanto subdesarrolladas como desarrolladas?

Al tener en cuenta que en la actualidad, se busca el mejoramiento de pavimentos

con materiales alternativos como son, los residuos industriales, para mitigar la afectación al medio ambiente producto a la explotación de canteras principalmente; se podría considerar y analizar la conformación de adocretos, con esos materiales según los disponibles en el territorio, tal como los residuos de neumáticos que se generan en la planta Recapadora de neumático “Arsenio Escalona” de esta ciudad de los parques.

Además, este residuo es uno de los que más se ha implementado en la conformación de capa de rodadura porque al ser un derivado del petróleo, presenta buenas propiedades mecánicas tales como resistencia al desgarre, abrasión, resistencia al corte y resiliencia (Torres, 2009). Por lo que se demuestran resultados favorables en mezclas asfálticas para la construcción de pavimentos flexibles. Al tener en cuenta lo antes planteado y la disponibilidad de este residuo en la localidad, se decide analizar si es también útil su empleo en la conformación de adocretos para la colocación en vías urbanas de los repartos ubicados en zonas periféricas de la ciudad de Holguín.

La autora decidió analizar entonces los valores del residuo de neumático de la planta recapadora “Arsenio Escalona” en la construcción de pavimento articulado.

Por tanto, al tener en cuenta todo lo expuesto, el marco metodológico se centra en el **problema científico** a resolver: ¿Se podrá utilizar el residuo de neumático, como un material alternativo para la conformación de un pavimento articulado para los viales de los repartos de zonas periféricas de la ciudad de Holguín? Siendo el **objeto de investigación**: el pavimento articulado y se enmarca en el **campo de acción**: el pavimento articulado con residuo de neumático.

El **objetivo general** de este trabajo es valorizar el uso del residuo de neumáticos para la fabricación de adocretos para su empleo en la construcción de pavimentos articulados como técnica de pavimentación de los viales de los repartos de las zonas periféricas de la ciudad de Holguín, que carecen de una adecuada capa de

rodadura.

Así mismo se planten los siguientes **objetivos específicos**:

1. Elaborar el marco teórico referencial relativo a los trabajos de elaboración de pavimento articulado con adoquines confeccionados con residuos de neumático de la recapadora Arsenio Escalona.
2. Determinar las dosificaciones para la confección de adcretos para una mezcla patrón y mezclas con residuos de neumático.
3. Valorizar el empleo de pavimento articulado con incorporación de residuos de neumáticos, para resolver problemas a los viales de los repartos de las zonas periféricas de la ciudad de Holguín que presentan un estado deficiente en la capa superficial.

Para dar cumplimiento a estos objetivos, se propone la siguiente **hipótesis**: si se valoran diferentes dosificaciones de residuo de neumático de la fábrica recapadora “Arsenio Escalona” se puede obtener adoquines que tengan la resistencia adecuada para el tráfico ligero hacia su uso en los repartos de las zonas periféricas de la ciudad de Holguín en la construcción de pavimento articulado.

La investigación se corresponde con la perspectiva metodológica **cuantitativa**, aunque se utilizaron técnicas **cualitativas**, pues proporcionaron herramientas flexibles y especializadas para dar respuesta al problema científico.

Se utilizaron, de igual modo, diferentes métodos teóricos y empíricos de investigación.

Métodos teóricos

- ✓ Histórico-lógico: propició conocer la evolución del pavimento articulado y el uso de adoquines en el mundo y en Cuba.
- ✓ Análisis- Síntesis: vital en la interpretación de toda la información, la obtención de datos, elaboración de ideas y juicios sobre el tema de

investigación.

- ✓ Inducción- Deducción: se empleó para llegar a generalizaciones a partir del estudio y análisis del uso de residuo de neumático en la construcción de pavimento articulado.

Métodos empíricos:

- ✓ Revisión bibliográfica documental: se utilizó durante toda la investigación para consultar las fuentes necesarias que contribuyeron al desarrollo de la misma: tesis presentadas en años anteriores además de trabajos realizados por especialistas u otras personas que investigaron sobre el tema.
- ✓ Observación participante: permitió a la investigadora insertarse en la producción de adocretos y valorar el uso de residuos de neumáticos en su producción.
- ✓ Grupos de discusión: facilita contrastar los resultados alcanzados, con la opinión de los especialistas en la materia y el criterio de quienes se encargan de gestionar la conservación y realización de viales en el territorio.

Métodos estadísticos:

- ✓ Estadística descriptiva: permitió tabular los datos obtenidos. Se usaron gráficos de pastel y tablas para una mejor organización e interpretación de los datos.

Es importante acotar que el tema de este trabajo se justifica por la razón de responder a la necesidad de la población, donde los órganos de dirección del territorio y los decisores de la infraestructura vial, pueden dar aprobación a soluciones factibles de utilizar para los pavimentos articulados. Esta investigación, forma parte de un proyecto de desarrollo local que está en proceso de aceptación, en conjunto con la ENIA.

Actualidad: responde a una de las líneas de investigación que desarrolla el Departamento de Construcciones de la Universidad de Holguín -Innovación para el desarrollo sostenible-. Responde a una de las áreas del conocimiento que es Ingeniería y Seguridad Vial. Se vincula, además, al proyecto de investigación “Perfeccionamiento de herramientas para el análisis del tránsito y la seguridad vial (Universidad de Camagüey – Universidad de Holguín)”. La misma cumple con uno de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030, que es garantizar una vida sana y promover el bienestar de todos, reduciendo a la mitad el número de muertos y lesiones, causadas por accidentes de tráfico en el mundo.

Aporte: implementar la utilización de una técnica tradicional de pavimentación (con residuos de neumáticos), en función de mejorar el estado actual de las vías urbanas de la ciudad de Holguín.

Novedad: fabricación de adoquines con residuo de neumático.

El informe de tesis se estructuró en una introducción para presentar la justificación del problema científico, además del diseño de investigación utilizado. Después siguen dos capítulos con sus epígrafes correspondientes.

El Capítulo I aborda los referentes teórico-metodológicos que sustentan el sistema de pavimentación, con mayor énfasis en los articulados; además se valora el estado técnico de los viales en Cuba y Holguín, además se exponen los parámetros técnicos necesarios, para la construcción de pavimentos flexibles y articulados.

En el Capítulo II se obtienen las características físicas de los áridos utilizados, para después elaborar diseños de las mezclas y así con ello, poder fabricar los adoquines. Por último, se describirán las pruebas físicas realizadas a los distintos tipos de adoquines fabricados, así como los resultados obtenidos.

Finalmente, la tesis incluye conclusiones, recomendaciones, bibliografía consultada y los anexos necesarios para la comprensión de la investigación.

CAPÍTULO 1 MARCO TEÓRICO REPRESENTATIVO DEL PAVIMENTO ARTICULADO CON EL USO DE RESIDUO DE NEUMÁTICO.

Introducción al capítulo

El presente capítulo, se abordan los temas relacionados con los conceptos, tipos y características de los pavimentos, con mayor énfasis en los articulados. También se hace referencia al estado técnico de los viales en Cuba y Holguín. Además, se realiza un estudio sobre la utilización de residuos en la fabricación de adoquines, y se plantea el empleo del adoquín con residuos de neumáticos, para la solución a los problemas existentes en las vías urbanas de los repartos residenciales de las zonas periféricas de la ciudad. Para concluir, se describen las exigencias mecánicas que deben cumplir los pavimentos articulados a partir de las especificaciones que se describen en la norma cubana (NC 998:2014).

1.1 Definiciones, tipos y características de los pavimentos

¿Qué es un pavimento?

Los pavimentos son estructuras compuestas por capas de diferentes materiales, que se construyen sobre terreno natural, para permitir el tránsito sobre ellos de manera segura, cómoda y confortable. Los materiales de las capas se escogen según el tipo de suelo y el tipo de tránsito que va a pasar sobre ellos, a continuación, un esquema con la estructura de un pavimento.



Figura 1.1 Estructura general de un pavimento

Los pavimentos constituyen uno de los elementos fundamentales de las vías de comunicación terrestres, siendo la parte más costosa, pues en condiciones normales su costo de construcción puede alcanzar entre el 40 y el 60 % del costo total de la vía. Estas estructuras pueden ser de tres tipos fundamentales: flexibles, rígidas y semirrígidas, en dependencia de su comportamiento estructural. Los flexibles tienen la capacidad de adaptarse a pequeños asentamientos diferenciales que pueden experimentarse en la explanación sin que se agrieten las diferentes capas que lo componen, manteniendo su integridad estructural y capacidad de transmisión de las cargas. Los rígidos son aquellos donde su capacidad estructural depende de la elevada rigidez de una losa construida con hormigón hidráulico, la cual es capaz de resistir y distribuir las cargas del tráfico en una superficie o área en que las tensiones verticales transmitidas hacia la subbase del pavimento posean valores muy pequeños, inferiores a su capacidad soportante. El modelo teórico de los semirrígidos no se corresponde a los antes descritos, ya que en los mismos se manifiestan características de los flexibles y de los rígidos, en estos no existe un modelo teórico que de cabal respuesta a los estados tensionales que se manifiestan, entre estos se encuentran los pavimentos de adocreto o adoquines de concreto hidráulico (Sarría, 2019).

Tipo y características de los pavimentos

✓ Pavimentos flexibles

Son aquellos que tiene un revestimiento asfáltico sobre una capa base granular. La distribución de tensiones y deformaciones generadas en la estructura por las cargas de rueda del tráfico, se da de tal forma que las capas de revestimiento y base absorben las tensiones verticales de compresión del suelo de fundación por medio de la absorción de tensiones cizallantes. En este proceso ocurren tensiones de deformación y tracción en la fibra inferior del revestimiento asfáltico, que provocara su fisuración por fatiga por la repetición de las cargas de tráfico. Al

mismo tiempo la repetición de las tensiones y deformaciones verticales de compresión que actúan en todas las capas del pavimento producirán la formación de hundimientos en la trilla de rueda, cuando el tráfico tiende a ser canalizado, y la ondulación longitudinal de la superficie cuando la heterogeneidad del pavimento fuera significativa. (<https://www.cuevadelcivil.com>).



Figura 1.2 Pavimento flexible. Fuente: <https://www.ingecivil.net>

✓ Pavimentos rígidos o hidráulicos:

Son aquellos en los que la losa de concreto de cemento Portland (C.C.P.) es el principal componente estructural, que alivia las tensiones en las capas subyacentes por medio de su elevada resistencia a la flexión, cuando se genera tensiones y deformaciones de tracción de bajo de la losa producen su fisuración por fatiga, después de un cierto número de repeticiones de carga. La capa inmediatamente inferior a las losas de C.C.P. denominada subbase, por esta razón, puede ser constituida por materiales cuya capacidad de soporte sea inferior a la requerida por los materiales de la capa base de los pavimentos flexibles. (<https://www.cuevadelcivil.com>).



Figura 1.3 Pavimento rígido. Fuente: <https://www.ingecivil.net>

✓ Pavimento semirrígido

En términos amplios, un pavimento semirrígido o compuesto: es aquel en el que se combinan tipos de pavimentos diferentes, es decir, pavimentos flexibles y pavimentos rígidos, normalmente la capa rígida está por debajo y la capa flexible por encima. Es usual que un pavimento compuesto comprenda una capa base de concreto o tratada con cemento Portland junto con una superficie de rodadura de concreto asfáltico (<https://www.cuevadelcivil.com>).



Figura 1.4 Pavimento semirrígido. Fuente: <https://www.ingecivil.net>

✓ Pavimento articulado

El pavimento de adocreto es una estructura compuesta por varias capas de diferentes materiales que se apoyan sobre la capa de coronación de la

subrasante de los terraplenes o de las explanadas. La misma está compuesta por la capa de superficie conformada a su vez por los adocretos que se asientan sobre una camada de arena gruesa; la capa de base y la de subbase, generalmente conformadas con suelos locales. En la mayoría de los casos se fabrican mecánicamente lo que permite obtener un producto de gran homogeneidad; tienen un diseño tal que se ajustan bien unos con otros formando una superficie continua y dejando una pequeña junta entre ellos (<http://www.uclv.edu.cu>).



Figura 1.5 Pavimento articulado. Fuente: <https://www.ingecivil.net>

Sobre este pavimento se abordará en el posterior epígrafe pues es en el que se centra esta investigación.

1.2 Pavimento articulado.

1.2.1 Antecedente del empleo del pavimento articulado en el mundo y en Cuba

Los emplazamientos viales surgen debido al desplazamiento de un origen hacia un destino de la población como parte de sus quehaceres cotidianos y por el comercio local y vecinal. Inicialmente sólo eran caminos o senderos, pues el traslado de un punto a otro se realizaba única y exclusivamente a pie, hasta que surge la rueda hace más de 5000 mil años, donde el primer vestigio fue hallado en la Tumba de la Reina, en las minas de la ciudad de Sur, Mesopotamia, donde se encontraron carretas de cuatro ruedas, que datan del año 3000 A.C. En esa

época, dos grandes pueblos – Asirio y el Egipcio- iniciaron el desarrollo de sus caminos. El historiador griego Heródoto (484 - 425 A.C) menciona que los caminos de piedras más antiguos, fueron construidos por el Rey Keops de Egipto, para proporcionar una superficie de rodamiento al transporte de las inmensas piedras destinadas a la erección de las pirámides (Cal, Reyes y Cárdenas, 2007, p. 2).

Los primeros caminos construidos científicamente aparecen con el advenimiento del Imperio Romano. Cabe citar la mundialmente famosa Vía Appia (figura 1.6), cuya construcción fue iniciada por Appius Claudius en el año 312 A.C.

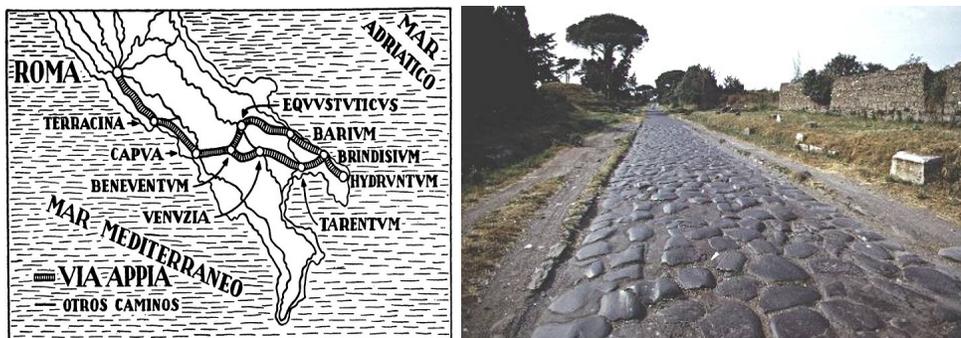


Figura 1.6 Vía Appia, de Roma a Hidruntum. Fuente: (Cal, Reyes y Cárdenas, 2007)

En el continente americano las antiguas culturas (mayas, incas y aztecas) dejaron huellas de una avanzada técnica de construcción de caminos. En Perú existen aún vestigios de una avanzada técnica de construcción de caminos, siendo notables los llamados Caminos Blancos de los mayas. Formados con terraplenes de uno y dos metros de elevación cubiertos con una superficie de piedras calizas (Cal, Reyes y Cárdenas, 2007, p. 3). (Figura 1.7)



Valorización del residuo de neumático en la construcción de pavimento articulado

Figura 1.7 Vestigios de caminos construidos por las antiguas civilizaciones
Con el paso de los años esas primeras técnicas de construcción de caminos fueron avanzando y ajustándose al incremento de los volúmenes y las cargas impuestas por el tránsito que, independientemente de la incorporación de nuevas técnicas de pavimentación, el uso del adoquinado no quedó en el olvido, sino que continua vigente en varios países del mundo.

Ejemplo de estos caminos se pueden apreciar en países como Francia, donde todavía quedan secciones de calles empedradas y son puntos destacados para los competidores de ciclismo en la carrera ciclista del Tour de Francia. También se pueden encontrar en Ámsterdam calles destinadas a peatones, en Italia existen calles con pavimentos articulados para la circulación del tránsito vehicular y también se puede apreciar vestigios de la Vía Appia que actualmente en ruta para turismo, estos ejemplos se pueden apreciar en la figura 1.8. No solo existen en este continente sino también en otras partes del mundo.



Figura 1.8 Vías adoquinadas en la actualidad en el continente Europeo, 2022

Cuba no queda exenta de este tipo de pavimentos, aunque no es una técnica que se emplee en cualquier vía, sino que se ha simplificado su uso fundamentalmente

en zonas turísticas para paseos peatonales y áreas de estacionamientos, principalmente en hoteles de playa. También se emplean en algunas regiones del archipiélago como parte de la conservación del patrimonio cultural. Entre las provincias que más presencia de este tipo de pavimento presentan se pueden citar: Granma, en la ciudad de Bayamo: la Plaza Del Himno Nacional. Camagüey antigua ciudad de Puerto Príncipe, fue la segunda ciudad del país en adoquinar sus calles con ladrillo y piedras (empedradas, al decir de la época) en una longitud de 18 km y aún se conservan en perfectas condiciones a partir de los trabajos de conservación llevados a cabo por la Oficina de Patrimonio. También Trinidad, conocida por su ciudad antigua colonial ubicada en la provincia de Sancti Spíritus posee calles con empedrado típico de adoquines.



a)



b)

c)

Figura 1.9 Calles adoquinadas de Bayamo (a), Camagüey (b) y Trinidad (c)

La Habana en su parte más antigua conocida como La Habana Vieja fue la primera en utilizar lo adoquine y según se expone en el portal <https://almejeiras.wordpress.com> en esta zona se encuentra una calle muy particular que va desde la Plaza de Armas hasta la calle Cuba, actualmente calle Tacón, que aunque es pequeña, se destaca por un detalle curioso: es la única de toda América Latina que tiene adoquines de madera y por eso es precisamente conocida como “la calle de madera”. Su historia se remonta a la época colonial de la Isla. Tacón es una de esas calles que ha sobrevivido al tiempo y se creó casi con La Habana misma. En aquella época las calles estaban muy mal pavimentadas. Inicialmente se colocaban piedras redondas conocidas como – chinas pelonas, pero éstas provocaban un gran ruido cuando pasaban los carruajes con sus llantas de hierro. Las chinas pelonas fueron sustituidas por lajas que se rellenaban con tierra, pero no constituían una solución definitiva pues los aguaceros arruinaban las calles, dejando huecos o montones de piedras que hacían imposible la circulación. Además, muchos escombros eran arrastrados hacia la bahía y afectaban considerablemente su calado. Así fue como, comenzaron a considerarse otras opciones de pavimentación más modernas y eficaces.

Para 1841, el ingeniero Evaristo Carrillo probó allí los famosos adoquines de madera, siendo uno de los primeros ensayos con el propósito de pavimentar las principales arterias de la ciudad de un modo efectivo, que ayudara a eliminar su insalubridad fangosa y acústica. Lamentablemente, el elevado costo del material y el poco tiempo de vida útil que se obtenía hicieron inviable el proyecto.

Redescubrimiento de la calle Tacón

Nadie sabe con precisión desde cuándo, pero la singular obra de Tacón quedó sepultada por mucho tiempo. En la década de 1980, cuando la Oficina del Historiador de la Ciudad inició las labores intensivas de restauración, se redescubrió la calle de madera bajo varias capas de pavimento. Entonces decidieron reconstruirla, mantener su apariencia y mostrarla como ejemplo singular y único en su tipo de manera que, hasta la actualidad, desde 1980 y de forma periódica, se realizaron acciones de rehabilitación a cargo de la dirección del Proyecto de Inversionistas de la Oficina del Historiador para rescatar de la humedad, y otros factores dañinos, a esta antigua joya. Hoy, la calle de madera acoge una rica dinámica cultural. En su envidiable posición entre el Palacio de los Capitanes Generales y la Plaza de los Capitanes Generales y la Plaza de Armas, es frecuente ver actuaciones del grupo de teatro callejero, las retretas de la Banda Nacional de Conciertos y las presentaciones que suceden durante los Sábados del Libro. La calle, sólo abierta a la circulación peatonal, es ahora una maravilla. (Figura 1.10)

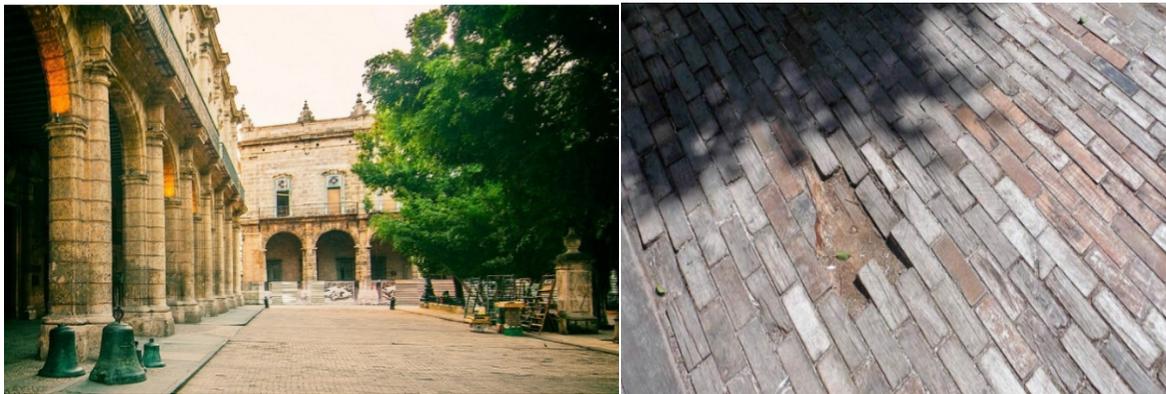


Figura 1.10 Plaza de Armas, calle Tacón o la calle de madera.

Fuente: <https://almejeiras.wordpress.com>

Luego en 1900 se colocan adoquines en la villa de San Cristóbal, fueron los ocupantes estadounidenses los que se propusieron, la mejora de las calles y

caminos e importaron los primeros adoquines para la capital cubana. En las tres décadas siguientes el país en general y La Habana en particular vivieron una verdadera fiebre de pavimentación que cambió para bien el aspecto de las ciudades y pueblos. La Secretaría de Obra Públicas colocó en La Habana adoquines noruegos azules de una gran calidad y belleza, que todavía asoman en las calles de la ciudad (figura 1.11)



Figura 1.11 Plaza de La Habana Vieja

La vida útil de los mismos fue muy corta. Pues el desarrollo automóvil y el abaratamiento de otros materiales de construcción, marcaron el ritmo de progreso y el fin de los adoquines los cuales quedaron sepultados bajo numerosas capas de asfalto. En años recientes, por el crecimiento turístico experimentado en La Habana ha vuelto a resurgir las calles adoquinada; en ocasiones rescatando los que permanecen enterrados bajo las vías y en ocasiones construyéndolas con adoquines nacionales, los llamados adocreos (www.ecured).

En el caso de la ciudad de Holguín, la presencia de pavimentos articulado es escasa. Se pueden apreciar en la calle posterior a la Plaza de la Revolución donde se encuentra ubicado el monumento a Lucía Íñiguez. Los adoquines lucen de un color gris, debido a que en su fabricación se utilizó arena volcánica, y en

algunos se puede apreciar orificios de proyectiles. En entrevista realizada al compañero Hiram, historiador de la ciudad, expresa que, en la ciudad de Los Parques, no existe tradición de pavimentar las calles con adoquines (Fernández, 2019).



Figura 1.12 plaza Lucía Íñiguez

Al tener en cuenta la perdurabilidad de este tipo de pavimentación no ha quedado obsoleto con respecto a los pavimentos flexibles y rígidos y su uso se está en aumento a partir de la creación de los adoquines de hormigón (adocretos).

1.2.2 Pavimentos con adoquines de hormigón

Existen diversas razones que justifican su empleo, abarca su ámbito de aplicaciones espacios tan diversos como áreas urbanas (plazas públicas, aparcamientos, calles), zonas de carga en cualquier industria, estaciones de servicio, zonas portuarias, u otros. El mismo posee ventajas y limitaciones entre las que se pueden citar según se plantea en la *Guía técnica, Pavimentos con adoquines de hormigón*, desarrollada por el Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA, 2014):

✓ Ventajas

Escasos gastos de conservación: se reduce a eliminar la vegetación, que eventualmente se produzca en las juntas entre bloques, y a suministrar, en su

caso, la arena de sello. Por otro lado, en el caso de ser necesaria una corrección de regularidad superficial (asientos localizados), este pavimento es el que presenta una mayor facilidad de levantamiento, con posible reutilización de los mismos adoquines en su reposición y, en consecuencia, un mayor valor residual. Esta última propiedad, lo hace especialmente indicado en zonas que aún no poseen todos los servicios públicos instalados (caso frecuente en ciudades), o en aquellas susceptibles de asiento (rellenos inestables).

Permeabilidad: los adoquines son elementos que permiten la filtración del agua dejando que la misma llegue al suelo, a diferencia de los pavimentos tradicionales de asfalto que bloquean el acceso del agua hacia el interior.

Resistencia a combustibles, aceites, grasas, efectos de las heladas y sal descongelante: el adoquín de hormigón, debido a su mayor compacidad, como consecuencia del proceso industrial de fabricación, no precisa de ningún aditivo para no verse afectado por la acción de los productos citados.

Amplias posibilidades expresivas: limitadas exclusivamente por la imaginación del propio proyectista, dada la variada gama de colores, la diversidad de formas y las múltiples combinaciones en planta que admiten las piezas. En conjunto, se consigue un importante efecto estético.

Seguridad: son especiales para incorporar señales de tránsito. Además, su rugosidad hace que se disminuya la distancia de frenada de los vehículos. Esto se traduce en mayor seguridad para los peatones como para los conductores.

Calidad y certificación: son elementos prefabricados que llegan listos a una obra, eso permite que la calidad del mismo sea controlada y certificada por la misma fábrica que los elabora.

Ventajas medioambientales: se pueden utilizar residuos para su fabricación, facilidad de encontrar plantas de prefabricados de hormigón próximas, disminuye

los impactos medioambientales ocasionados por su transporte. Como ventaja adicional se debe considerar que pueden ser reutilizables.

✓ Limitaciones

Rendimiento de ejecución del pavimento: aunque se han desarrollado algunas maquinarias su colocación mecanizada, ésta se realiza básicamente de forma manual. Hay que tener en cuenta que, según la combinación de colores que se disponga en planta, puede no ser posible el uso de estos equipos en la colocación de las piezas.

Velocidad de circulación limitada: por propia constitución, en concreto por regularidad superficial, este pavimento no permite velocidad de circulación elevada, siendo, sin embargo, perfectamente adecuado al nivel de velocidad usual en las ciudades (hasta 60 km/h).

✓ Ámbito de aplicación de este pavimento

Áreas urbanas con bajo nivel de tráfico: zonas peatonales, plazas públicas, donde el efecto estético de pavimento debe ser el argumento fundamental que determine su aplicación.

Zonas con tráfico muy pesado, desplazándose velocidad reducida: zonas portuarias o terminales de transporte, con presencia de menor deformidad y mayor durabilidad (resistencia a combustibles y grasas). Cuenta, además, con la ventaja de exigir menor gasto de conservación y reparación, tal como se ha indicado anteriormente. Otras alternativas de tráfico pesado menos intensos, como zonas de carga en industrias, estacionamientos de servicios, peajes, etc. (Figura 1.13)

Figura 1.13 Aplicaciones de pavimento articulados



✓ Posibilidades expresivas

Gama de colores: con la utilización de pigmentos, puede obtenerse, con garantía de durabilidad y regularidad en el color, una amplia gama de colores en los adoquines.

Forma del adoquín: el adoquín de hormigón, por su proceso de elaboración, puede tener formas muy variadas.

Trama de adoquines en planta: la forma del adoquín permite la combinación de piezas en planta, dando lugar a tramas muy diversas.

La combinación de los tres aspectos dota al proyectista de un medio de expresión forma muy versátil, que le permitirá integrar su obra, en este caso un pavimento, dentro de su entorno general, o bien, si éste no es especialmente significativo, darle una personalidad que lo realce. La representación de lo antes descrito, se puede apreciar en la (figura 1.14).



Figura 1.14 posibilidades expresivas del adoquín. Fuente: Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA). Guías técnicas, 2014.

Características de los adoquines de hormigón

El adoquín de hormigón se elabora industrialmente por vibro compresión de hormigones muy secos, con las ventajas inherentes a un proceso de ese tipo: regularidad de las características del producto, diversidad de formas y texturas. Estas propiedades diferencian notablemente los resultados que pueden obtenerse

con este producto.

Por razones práctica el tamaño y peso del adoquín deben permitir su manipulación con una sola mano, recomendándose una relación de Longitud/anchura de 1.5 a 2.5 con un ancho entre 8 y 12cm. Su espesor viene condicionado por las características del tráfico, siendo habitual entre 6 y 12 cm. Los bordes pueden ser biselados, consiguiéndose un aspecto más regular de las juntas. Con estas dimensiones, el peso sería entre 3 y 7 kg por pieza. Con tolerancia en las dimensiones respecto al valor nominal, se ven reflejados en la siguiente tabla 1.1.

Tabla 1.1 Tolerancia de las dimensiones

Espesor nominal de adoquín	Longitud y anchura	Espesor
< 100 mm	± 2 mm	± 3
≥ 100 mm	± 3 mm	± 4

Fuente: (IECA). Guías técnicas, 2014.

Características físicas y mecánicas que se analizan a los adocretos

Debido a las condiciones de resistencia y funcionalidad que debe cumplir el pavimento, los adoquines de hormigón han de poseer unas determinadas propiedades física y mecánica, en correspondencia del uso que se le va a dar, tales como resistencia a la compresión, resistencia al desgaste por abrasión, absorción. Parámetros establecidos en la NC: 998-2014 Adoquines de hormigón (Adocretos). Especificaciones. Estos ensayos se explicarán posteriormente.

1.2.3 Antecedentes de estudios sobre el uso de residuos industriales en la construcción de pavimento articulado.

A nivel mundial se ha incentivado en el uso de materiales alternativo como acción de prevenir o mitigar las afectaciones al medio ambiente, entre estas se encuentran el del empleo de residuos para las diferentes ramas de la economía. Principalmente en la que concierne a la construcción, que es una de las esferas incide negativamente al medio ambiente con la explotación de los recursos naturales como el suelo, se trabaja en la tendencia de utilizar los residuos

industriales que puedan sustituir parcial o totalmente materiales para la conformación de diferentes elementos constructivos. Entre los residuos más empleados hasta el momento se pueden citar: escombros de demolición de edificaciones, escorias de acerías, los polímeros, vidrios, neumáticos entre otros más que han demostrado tener resultados favorables. A continuación, se exponen algunos de estos resultados obtenidos tanto en el ámbito internacional como nacional específicamente para pavimentos articulados.

Ámbito internacional

Quito-Ecuador (Cuzco, 2015) analiza un adoquín elaborado netamente de caucho, su materia prima es un 90% proveniente de la trituración de neumáticos usados y el 10% son pigmentos y caucho sintético. Posteriormente se le hace los ensayos para ver su utilización en la construcción. Una vez determinada las propiedades mecánicas de los dos adoquines, se puede concluir que el adoquín que ofrece mejor resistencia a la compresión es el de caucho con un valor de 69,68MPa mayor al de hormigón con un 52,85Mpa. El adoquín de caucho posee una propiedad adicional al adoquín convencional, como es la elasticidad, por lo tanto, es capaz de absorber gran cantidad de energía y una vez que desaparece la carga que lo deforma recupera su forma original, garantizando que la vía tenga un mayor tiempo de vida útil.

Ambato-Ecuador (Martínez, 2016) muestra el efecto de la adición de fibras sobre la resistencia a la compresión características en los adoquines, con una resistencia de diseño de $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$. Los adoquines elaborados con diferentes tipos de fibras: sintética (polipropileno), orgánica (estopa de coco) e inorgánica (vidrio) con porcentajes de 0,1, 0,2 y 0,3 en todos los casos. Con los ensayos se determina que la resistencia a compresión característica aumenta con todos los tipos de fibras, al adicionar 0,1% de fibras de polipropileno aumenta la resistencia

22%, al adicionar estopa de coco en 0,2% su resistencia aumenta 13% y con la adición del 0,2% de fibra de vidrio la resistencia incrementa en 9% a los 28 días de edad.

En México (Montiel, 2017) hace uso de agregados reciclados para la fabricación de adoquines que se pueden utilizar en la pavimentación de calles, avenidas y pasos peatonales. Agregados producidos en planta, en la que se recibe una gran variedad de bloques de concreto que posteriormente se trituran para producir agregados de diversos tamaños. Se les realizó el ensayo a dos muestras, una fabricada con agregado reciclado y otra con agregado reciclado y caucho. De acuerdo con los resultados, se observa que los agregados utilizados resultan ser útiles para la fabricación de adoquines; sin embargo, los concretos elaborados con estos agregados cumplen con resistencia requerida hasta los 90 días después de haberse fabricado, por otra parte, se pudo determinar que el caucho adicionado en el concreto disminuye en gran medida su resistencia a compresión y a flexión, no obstante el caucho mejora en gran medida la resistencia a la abrasión y al impacto del concreto.

Girardot-Cundinamarca (Restrepo, 2018) centra la investigación en desarrollar técnicas y procesos novedosos de construcción, con biomateriales no convencionales como lo es la cascarilla de arroz. Este desecho contiene propiedades químicas y mecánicas muy particulares como lo es el SiO₂ (Sílice) el cual en un compuesto que pertenece también al cemento, por lo tanto, la cascarilla de arroz podría utilizar para sustituir en ciertos porcentajes la composición del cemento y así crear adoquines en mortero con dicha mezcla, con esto se obtiene un Eco-bloque el cual contribuye al medio ambiente. Se sustituyó en el cemento un 20% cascarilla de arroz cruda y 20% de ceniza de cascarilla de arroz. Respecto a los resultados se analiza que los adoquines de mortero con un 20% cascarilla de arroz cruda arrojan resultados menos favorables, ya que están

por debajo del 85% del resultado ideal. Pero el adoquín de mortero con el 20% de ceniza de cascarilla de arroz este cumple con las propiedades mecánicas que caracteriza a los adoquines comerciales.

Cajamarca-Perú (Rey, 2018) realiza comparación físico-mecánica de adoquines elaborados con reemplazo de su agregado grueso al 10% y 15% de polipropileno y caucho, como una posible solución para los desechos plásticos y llantas en desuso. Se elaboró tres tipos de adoquines: convencional, con reemplazo del 10% y 15% del volumen del agregado fino con polipropileno y con caucho, para luego hacer lo ensayo correspondientes, donde se evalúa la resistencia a compresión, resistencia a flexión y la absorción. Las propiedades físico – mecánicas de los adoquines con polipropileno al 10% son mejores que los adoquines convencionales y adoquines con caucho al 10% y 15%, mientras que los adoquines con polipropileno al 15% y los adoquines con caucho al 10%, las propiedades son un tanto similares a los adoquines convencional, así mismo se determinó que los adoquines de caucho al 10% no cumple con las propiedades establecidas en la norma. Se ha demostrado en la presente investigación que los adoquines con polipropileno al 10% y 15%, y los adoquines de caucho al 10%, podrían ser utilizados como una buena alternativa para la utilización en pavimentos articulados para tránsito liviano.

Ámbito nacional

En Cuba, Holguín (Fernández, 2019) evalúa las potencialidades de las escorias blancas de acería para la fabricación de adoquines. Para ello se diseña una mezcla de hormigón por el método de Viterbo O'Reilly, donde se sustituye el 5% y 10% del cemento por la escoria blanca de acería. Para evaluar los residuos en el adoquín, estos se someten a ensayos de desgaste por abrasión y absorción. Se comprueba que el empleo de las escorias en las dosificaciones propuestas no incrementa los valores de resistencia a la compresión, sin embargo, cumple con

los parámetros de abrasión y absorción. Además, se demuestra que la dosificación propuesta en la muestra patrón es capaz de soportar cargas de tráfico pesado. Con un 5% de escoria para vías de tráfico ligero y un 10% para ciclo carriles y aceras.

Santa Clara (Sarría ,2019) evalúa la tecnología para la producción local de adocretos para distintas adicciones de cemento LC-2, elaborado en la fábrica de cemento perteneciente al municipio de Siguaney. Para su uso en la pavimentación de caminos con tránsito desde peatonal hasta pesado. El diseño de las mezclas de hormigón con cemento Portland P-35 utilizada para fabricar una de las series. Para las otras series de elementos se sustituyó de LC3-50 (50% de P-35 + 50% de LC2) y para LC3-35 (65% de P35 + 35% de LC2). Como consecuencia se hizo un reajuste de las proporciones de los demás materiales debido a cambios de densidad y a la interacción con el agua de las nuevas mezclas de cemento. Como resultado de la investigación se obtuvo que para el 35% cumple con los requerimientos normandos en cuanto a resistencia y los de 50% como el más desfavorable en cuanto a la resistencia requerida.

A partir de las revisiones bibliográficas, se evidencia que el residuo de caucho mejora en gran medida la resistencia a la abrasión y al impacto del concreto. Sin embargo, disminuye la resistencia a compresión cuando su implementación supera al 10%. Por tanto, se decide analizar este residuo para valorizar su uso en la conformación de adoquines de hormigón a modo de dar solución a la problemática existentes en los viales de zonas periféricas residenciales de la ciudad de Holguín, con valores inferiores al 10% de sustitución por el árido fino.

1.3 Caracterización del estado actual de los viales en Cuba y Holguín.

El estado técnico de los viales y avenidas de Cuba se deterioran de manera alarmante, pues todo tipo de construcción debe tener siempre un período de mantenimiento y conservación para alargarle su vida útil. Aspecto que, por situación económica, deficiencia en algún material o suministros, ese

mantenimiento no se efectúa en un tiempo adecuado tanto así que existen calles y carreteras que llevan más de 10 años sin intervención lo que conlleva a que los mismos estén técnicamente en un estado desfavorables. En menor medida se encuentran las vías de interés nacional y local que sí se les ejecutan periódicamente trabajos de conservación y mantenimientos.

Entre las técnicas de pavimentación más empleada en el territorio nacional y específicamente en el territorio holguinero, es la de pavimento flexible, que como se conoce uno de sus materiales componentes es el ligante asfáltico que al ser un derivado del petróleo encarece su costo, pero es inferior al del pavimento rígido que depende del cemento, material por excelencia en las construcciones. Este último pavimento antes mencionado es el de mejor empleo en las zonas urbanas donde se efectúan repetidamente acciones de frenado. Sin embargo, por lo antes explicado se conforman pavimentos mixtos (una capa de mezcla asfáltica sobre capas de hormigón hidráulico) que no son adecuadas para estas acciones ejecutadas por los conductores para la detención parcial o total de los vehículos adicionando el incremento del tránsito, lo que generan deterioros a corto y mediano plazo. De esta manera se afecta la economía por las inversiones no acordes a la problemática real. Lo que conlleva a una insatisfacción y molestia de la población para desplazarse de un lugar a otro.

También se le suma a esta situación que los viales se atienden desde dos empresas diferentes, las vías nacionales y provinciales las atiende la empresa de viabilidad y las municipales y locales son atendidas por la Unidad Presupuestada de Servicios Comunes de cada provincia. En la cual, para llevar a cabo estas actividades de conservación se trabaja en base de un anteproyecto que está basado en la selección de las vías que son objeto de planteamientos de la población, a través de los delegados, así como proposiciones que se realizan en las reuniones de directivos de la empresa y las quejas que se dan a conocer a través de los medios de comunicación. Además, se tienen en cuenta las

principales vías de la ciudad y los viales que disponen de rutas de ómnibus urbanos, todo esto se trabaja por un presupuesto que les da el gobierno, ya sea por la mala administración del mismo o por una mala coordinación, en la mayoría de los casos los recursos económicos no alcanzan a cubrir trabajos de reparación y mantenimiento de los pavimentos y se le dan aquellas vías de interés nacional y vías principales, que dejan de última instancia a vías locales las cuales están en muy mal estado (Vega, 2016).

El municipio Holguín, presenta una extensión territorial de 689,8 km², con una red vial de 1148.74 km, de las cuales, el 34.46% (395.83 km) están asfaltadas y el 65.54 % (752.91 km) no presentan pavimentos. De los viales pavimentados en el municipio cabecera, en buen estado existen 314.1 km, lo que representa el 27.3%, de modo que demuestra que más del 70% del sistema vial urbano está sin una capa de rodadura en condiciones óptimas para ofrecer una cómoda circulación (Aragón, 2021).

La misma presenta serias dificultades con la red vial urbana. Repartos enteros adolecen de pavimentación en sus vías; otros alguna vez tuvieron una buena infraestructura, pero en la actualidad, debido a la falta de acciones de conservación, las mismas se encuentran en un nivel de deterioro avanzado. Sin embargo, en repartos como el centro de ciudad se concentran anualmente la inmensa mayoría de las inversiones para la conservación de sus vías, tratando reiteradamente los mismos desperfectos sin que la solución llegue a ser definitiva (Vega, 2016).

Si se plantea que utilizar mezclas asfálticas encarecen los trabajos por el precio del petróleo, y que además no es el tipo de pavimento más adecuado a implementar en la zona urbana cabe preguntarse: por qué no sustituir o recuperar la utilización de los pavimentos articulados que es actualmente empleado en diversos países del mundo para dar solución a las problemáticas del estado

actual de las vías del territorio holguinero en las zonas más críticas (repartos residenciales de las zonas periféricas de esta localidad)

Al tener en cuenta que, según la dirección del país, planteó en la Asamblea Nacional del Poder Popular en (abril, 2019), de que cada localidad o provincia resuelva sus problemas a partir del diagnóstico de las necesidades del territorio, con la implementación de alternativas innovadoras para la solución de los problemas.

Al tener en cuenta lo antes planteado se buscan confeccionar diferentes materiales de construcción, ya sea con productos naturales, locales o de residuos industriales de tal manera que se logre un adecuado comportamiento estructural y un cuidado al medio ambiente, para disminuir los presupuestos y darles solución a las necesidades de los viales, por lo cual se procede a la elaboración de adoquines con residuos de neumáticos. Los cuales han tenido buenos resultados cuando son utilizados para mezclas asfálticas y en la fabricación de adoquines según las revisiones bibliográficas consultadas.

1.4 Caracterización del residuo de neumático procedente de la planta recapadora de neumático de Holguín “Arsenio Escalona”.

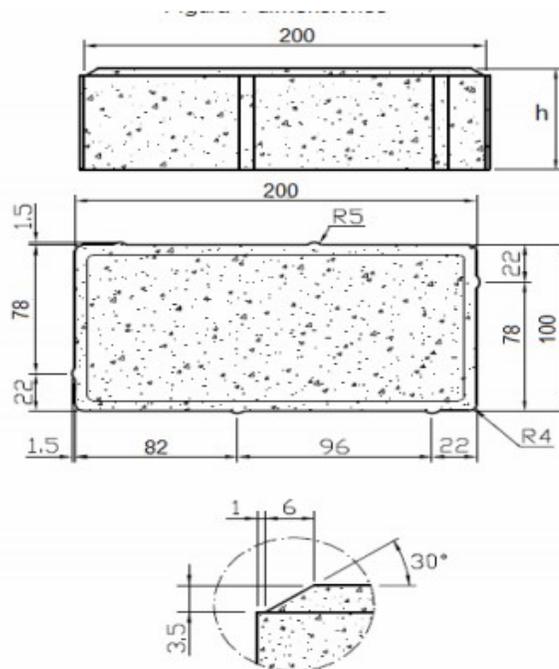
El caucho utilizado en esta investigación proviene de la planta recapadora de neumático de Holguín “Arsenio Escalona”, ubicada en la Carretera Central a Bayai Kilómetro 776. La actividad que se realiza en esta planta es la de reponer la banda de rodamiento gastado por una nueva, permitiendo ampliar la vida útil de la carcasa cuerpo de cuerdas. En la misma se reparan anualmente casi 30 000 neumáticos del sector estatal y particular. Resultan residuales de este proceso el polvo de bofeo y las lascas. Estos residuos no pueden ser enterrados, pues el CITMA lo prohíbe. Fuentes del centro plantean que como promedio cada tres meses se llena el tanque de almacenamiento, el que tiene una capacidad de 10 000 m³, por lo que mensualmente se genera un poco más de 3 000 m³ de este residuo. Una vez llenado el tanque no se sabe qué hacer con este material, ya

que no puede ser enterrado, y en la planta no tienen donde almacenarlo. Actualmente se utiliza como relleno de colchones, por el INDER, pero no se usa en grandes cantidades, por lo que la problemática sigue en pie. Una de las soluciones que se puede dar a esta situación es el empleo de este residuo en la construcción, específicamente en la sustitución por árido fino en la fabricación de adocretos. (Cuadrado, 2016)

1.4.1 Especificaciones que deben cumplir los adocretos según la NC 998:2014.

Según la NC: 998:2014 Adoquines de hormigón –Adocretos-. Especificaciones, establece varios requisitos que deben cumplir los adoquines destinados a pavimentar áreas exteriores. Las dimensiones de fabricación se establecen en dependencia del tipo de tráfico que va a transitar.

Figura 1.15 Dimensiones de fabricación, el espesor h puede ser variable.



DETALLE DE BISEL

Fuente: NC 998:2014

Los espesores mínimos según la categoría de tráfico que se establecen en esta normativa se pueden percibir en la siguiente tabla 1.2.

Tabla 1.2 Espesores mínimos según categoría de tráfico.

Categoría de tráfico	Descripción	Espesor (mm)
C4	Áreas peatonales, calles residenciales, vehículo ligero y v.p.d ≤ 4	50 y 60
C3	Calles comerciales de escasa actividad sin servicio rígido de ómnibus y v.p.d entre 5 y 14	> 60 y ≤ 80
C2	Calles principales con tráfico entre 15 y 24 v.p.d	> 80 y ≤ 100
C1	Calles principales con tráfico entre 25 y 49 v.p.d	> 100 $y \leq 150$
C0	Calzadas principales con tráfico entre 50 y 149 v.p.d	
AI-1	Arterias principales con tráfico entre 150 y 499 v.p.d	
AI-2	Áreas industriales con tráfico pesado entre 500 y 1000 v.p.d	

Fuente: NC 998:2014

Los parámetros que se evalúan en este tipo de elemento según se establece en la norma cubana a la que se hace referencia en este epígrafe son: resistencia a la compresión (depende del tipo de tráfico) y sus especificaciones se pueden visualizar en la tabla 1.3, resistencia al desgaste por abrasión que está en función de la categoría de tráfico (tabla 1.4) y por último el parámetro de absorción que es la capacidad del adoquín de absorber cierta cantidad de agua y que no puede exceder de un 8%.

Tabla 1.3 Resistencia a la compresión

Tráfico	Resistencia especificada (MPa)
Peatonal	≥ 20
Vehículo ligero	≥ 40
Vehículo pesado	≥ 50

Fuente: NC 998:2014

Tabla 1.4 Resistencia al desgaste por abrasión

Categoría de tráfico	Resistencia al desgaste por abrasión (mm)
C4	27
C3	23
C2,C1,C0,AI-,AI-2	20

Fuente: NC 998:2014

1.4.2 Ensayos que se realizan a los componentes del adocreto

El adocreto está compuesto por cemento, áridos (finos y gruesos) y agua, como materiales principales. La mezcla a utilizar puede variar según el uso que se le va a dar al adocreto. Generalmente se aprecia la siguiente proporción: 1 parte de cemento, 2 partes de arena y 3 de grava. No se debe de exceder en el agua pues la mezcla pierde en consistencia.

Al cemento se le realizan ensayos físicos y mecánicos. Cada ensayo se debe ejecutar de acuerdo al procedimiento decretado por las normas cubanas (NC). En la tabla 1.5, se aprecia a modo resumen, cada ensayo posible a efectuarse y la norma por a que se rigen.

Tabla 1.5 Ensayos al cemento

Ensayos	Método de ensayo	Observaciones
Consistencia normal (%)	NC 524-2015	Cantidad de agua correspondiente a la pasta
Tiempo de fraguado inicial (min)	NC 524-2015	Cuando puede moldearse con facilidad.
Tiempo de fraguado final (h)	NC 524-2015	Cuando tiene la consistencia de un material sólido
Estabilidad por volumen por Lechatelier	NC 504-2013	Expansión volumétrica de la pasta de consistencia normal
Peso específico (g/cm ³)	NC 523-2015	Índice del tipo de cemento que se trata.
Por ciento de residuo (%)	NC 980-2013	Probabilidad de hidratación
Resistencia a compresión a los 28 días (MPa)	NC 506-2013	Rango de utilización estructural.

A los áridos se les realizan verificaciones físicas y granulométricas debido a que constituyen un papel muy importante en las propiedades del hormigón que los contiene. Cada ensayo se efectúa según lo especificado en sus relativas normas. En la tabla 1.6 se muestran los ensayos.

Tabla 1.6 Ensayos a los áridos

Ensayos	Método de ensayo	Observaciones
Análisis granulométrico	NC 178-2002	Distribución de tamaños.
Material más fino que el tamiz No. 200 (%)	NC 182-2002	Su exceso perjudica la resistencia mecánica del hormigón.
Partículas de arcilla (%)	NC 179-2002	Porcentaje que representan del peso del árido.
Pesos específicos (g/cm ³) y absorción (%)	NC 186-2002	Peso de los áridos en estado seco y saturado en agua.
Pesos volumétricos (kg/m ³)	NC 181-2002	Peso del material contenido en recipientes calibrados de volumen conocido.
Módulo de finura	NC 251-2021	Tamaño medio de las partículas que componen una muestra de áridos

1.4.3 Ensayos que se realizan al adoquín de hormigón (adocreto)

Como se planteó en el epígrafe 1.4.1 los ensayos que se le realizan al adocreto están en función de los parámetros de resistencia a la compresión, resistencia al desgaste por abrasión y absorción. A continuación, se realiza una breve descripción de los ensayos que se realizan al adoquín de hormigón.

- ✓ Ensayo de resistencia a la compresión:

Para efectuar el ensayo cada adocreto se coloca suavemente sobre el plato inferior de la máquina sin deslizarlo y sobre un área previamente determinada con un centro geométrico conocido que coincide con el eje de carga de la máquina. Al poner en contacto la cara superior del adocreto con el plato superior de la máquina se hará suavemente sin que se produzcan impactos y que se garantice

un buen contacto entre ambas superficies. En el momento en que la superficie de la cara superior de la prensa y el adocreto tenga contacto se comienza a aplicar una carga a velocidad constante de 50 kN/s hasta determinar el esfuerzo máximo a la rotura.

✓ Ensayo de resistencia al desgaste por abrasión:

Es de suma importancia la realización de este ensayo porque simula el paso de los vehículos sobre el adoquín. Para medir la capacidad del adoquín a la hora de soportar dicha acción. El procedimiento es el siguiente, situar la probeta en contacto con el disco de abrasión, arrancar el motor de manera que el disco de abrasión consiga girar 75 revoluciones en (60 ± 3) segundos. Después de 75 vueltas del disco parar el motor y cerrar el flujo del abrasivo. Se deberán realizar 2 huellas sobre cada probeta. El resultado del ensayo es la medida de la anchura de la huella.

✓ Ensayo de absorción:

Demuestra la capacidad del adoquín de absorber una determinada cantidad de agua que influye en el drenaje de la vía. Se colocan los adoquines enteros en la estufa, separados entre sí para que se sequen. Luego se extraen y se dejan enfriar el tiempo necesario para que puedan manipularse sin uso de protección.

Posteriormente se le realizan dos o tres pesadas por intervalos de una hora; cuando las pesadas no difieren del 1%, es cuando los adoquines han perdido todo el contenido de agua y se toma el valor de la última medición. Una vez concluido este proceso se ubican dentro del estanque lleno de agua de forma que este los cubra totalmente.

Se dejan en reposo sumergidos 24 horas, consecutivamente se extraen y escurren sobre parrillas metálicas. El agua superficial se elimina con un paño húmedo y secarlos hasta que pierdan el brillo, se cuida de no exponerlos al sol durante este proceso. Después se cubren con paños húmedos y se conducen

así hasta la balanza, se pesan, y se determina así la masa húmeda.

Conclusiones del capítulo

A partir de la revisión de los antecedentes de los caminos y carreteras se pudo constatar que a pesar de ser el pavimento articulado el primero en ejecutarse por el hombre, no ha quedado en desuso, sino que aún se emplea como una alternativa de pavimentación con el fin de emplearlo tanto para tráfico vehicular como peatonal. Además, al estar conformado por piezas de adoquín hacen que se pueda crear formas variadas que permiten crear dibujos decorativos en la superficie de rodadura de tal manera que permiten incorporar la señalización horizontal del tránsito.

En Cuba a pesar de tener una diversidad de adoquines en cuanto al material y que han perdurado en el tiempo, no es considerado esta técnica de pavimentación como una forma de estructura vial para aplicar a las vías de tránsito medio ligero como alternativa a las zonas residenciales que poseen una superficie de rodadura deteriorada.

A partir de las revisiones bibliográficas realizadas se pudo constatar que se han realizados investigaciones referentes al pavimento articulado con la incorporación de residuos orgánicos e industriales cuyos resultados han sido satisfactorios

En el caso del empleo de residuos de neumáticos se evidencia que su utilización para la conformación de adoquines de hormigón no debe exceder un 10% como sustitución del árido fino pues su incidencia en la resistencia a compresión disminuye a medida que lo aumentas, pero es un material que proporciona resultados adecuados en cuanto a la resistencia a la abrasión y al impacto.

CAPÍTULO 2 VALORIZACIÓN DEL EMPLEO DE RESIDUOS DE NEUMÁTICOS DE LA RECAPADORA “ARSENIO ESCALONA” DE LA CIUDAD DE HOLGUÍN PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO ARTICULADO.

Introducción al capítulo

En este capítulo se presentan los resultados de los ensayos realizados a los materiales que se utilizan en la investigación: áridos, cemento y residuo de neumático de la planta recapadora - “Arsenio Escalona”- de Holguín. El diseño de la mezcla patrón mediante el método de O’Reilly, y las mezcla modificadas con diferentes porcentos de caucho, para posterior ensayo y análisis de los resultados obtenidos. Finalmente, se valoran las variables, para determinar si las propuestas permiten plasmar un análisis técnico económico, tanto en calidad, economía, mantenimiento y cuidado del medio ambiente

2.1 Ensayos de los materiales componentes

La evaluación de las condiciones técnicas y de calidad de los materiales con los que se despliega un proyecto constructivo, es de suma importancia -y concluyente- para la vida útil y apariencia. Los materiales empleados en esta investigación son: árido fino, árido grueso, cemento y residuo de neumático.

A continuación, se muestran las características técnicas de cada uno, los cuales son sometidos a ensayos, para conocer -y posteriormente valorar- sus propiedades para su uso en la fabricación de los adoquines.

Característica de los áridos

Se ocupan dos materiales:

- ✓ Grava 3/8”: fracción (10-5) mm y
- ✓ Arena artificial: fracción (5 a 0.15) mm, de la cantera “200Mil”.

A estos materiales, se les realizan los siguientes ensayos de caracterización, de acuerdo a la NC 251:2022 “Áridos para hormigones hidráulicos. Requisitos”.

Tabla 2.1 Ensayos realizados a los áridos.

Ensayo realizado	Grava 3/8"	Especificación NC 251:2022	Evaluación de la conformidad
Material más fino que el tamiz No.200 %	0,77	≤1	Conforme
Partículas de arcilla %	0.0	≤0.25	Conforme
% de absorción de agua	1,04	≤3	Conforme
% de huecos	60,35	-	-
Índice de tritabilidad %	7,22	< 15	Conforme
Abrasión Los Ángeles %	20,5	40	Conforme
Estabilidad de volumen para áridos gruesos %	6,76	Sulfato de sodio <12 Sulfato de magnésio <18	Conforme

Tabla 2.2 Ensayos realizados a los áridos.

Ensayo realizado	Arena artificial (5 - 0,15 mm)	Especificación NC 251:2022	Evaluación de la conformidad
Material más fino que el tamiz No.200 %	2,37	≤5	Conforme
Partículas de arcilla %	0,0	≤1	Conforme
% de absorción de agua	2,02	≤3	Conforme
% de huecos	31,91	-	-
Módulo de finura	3,85	2,20-3,50	No conforme

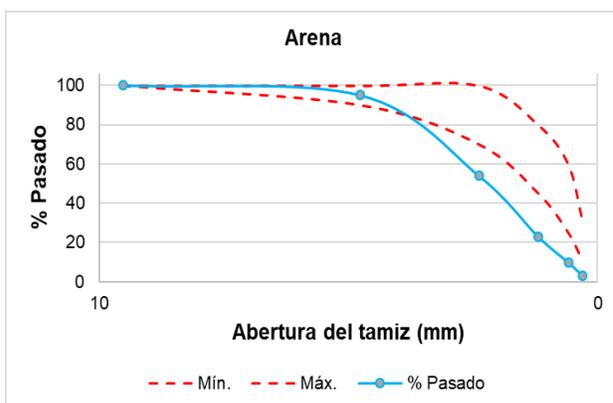
Como se puede apreciar en las tablas 2.1 y 2.2, la grava 3/8 cumplen con todas las especificaciones de la NC 251:2022, mientras que la arena artificial

no cumple con el módulo de finura.

Tabla 2.3 Peso específico y volumétrico de los áridos.

Pesos	Grava 3/8"	Arena artificial
Peso específico corriente (g/cm ³)	2,631	2,570
Peso específico saturado (g/cm ³)	2,658	2,620
Peso específico aparente (g/cm ³)	2,704	2,710
Peso volumétrico (suelto) (kg/m ³)	1536	1598
Peso volumétrico (compactado)(kg/m ³)	1735	1758

A continuación, se presentan los gráficos de la granulometría de los áridos. Este ensayo se realiza de acuerdo a lo descrito en la NC 179-2002 Áridos. Determinación del contenido de partículas de arcilla. Método de ensayo. Que arrojaron como resultado que la arena no cumple en la mayoría de los tamices con los requisitos especificados en la NC 251-2022. Sin embargo, el granito es excelente para su uso, por ello, compensa en gran medida las deficiencias de la arena.



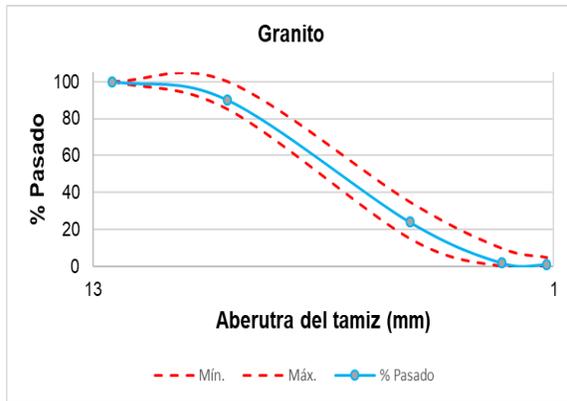


Gráfico 2.1 Granulometría de los áridos

Características de cemento

Al cemento se le realizan ensayos físicos y mecánicos. Cada ensayo se debe ejecutar de acuerdo al procedimiento decretado NC 1340-2021 Cemento. Especificaciones. En la tabla 2.4, se aprecia a modo de resumen, cada ensayo posible a efectuarse y la norma por la que se rigen.

Tabla 2.4 Ensayos realizados al cemento

Ensayos	Método de ensayo	Resultados	Evaluación de la conformidad
Ensayos Físicos			
Consistencia normal	NC 524-2015	24.8	-
Tiempo de fraguado inicial (min)	NC 524-2015	108	Conforme
Tiempo de fraguado final(h)	NC 524-2015	2.8	Conforme
Estabilidad por volumen por Lechatelier	NC 504-2013	1.0	Conforme
Densidad del cemento	NC 523-2015	3.15	-
Por ciento de residuo	NC 980-2013	13.3	-
Ensayos Mecánicos			
Resistencia a la	NC 506-2013	Mín. 25	Conforme

compresión a los 7 días.			
Resistencia a la compresión a los 28 días.	NC 506-2013	Mín. 35	Conforme

Como se aprecia en la tabla el cemento P-35 cumple con las especificaciones exigidas en la NC 1340-2021 antes mencionada. Además, los ensayos permiten afirmar que el cemento posee la calidad necesaria para ser empleado en la elaboración de los adocretos.

Características del caucho

Al no existir normas para el residuo de goma, por lo que no se le hace ningún ensayo, ni se pasa por un tamiz, lo que recomienda el laboratorio es investigar las características del mismo en la empresa de donde proceden. Según una investigación realizado por (Cuadrado, 2016), donde utiliza el residuo de neumático de la planta recapadora “Arsenio Escalona” para mezclas asfálticas plantea que: los principales componentes son:

- Copolímeros de butadieno y estireno;
- Azufre;
- Polianilinas: ZnO, MgCO₃, CaCO₃, BaSO₄, ácidos grasos, aceites;
- Impurezas: partículas de hierro y tierra.

2.2 Diseño experimental

Existen diversos métodos de dosificación. El más utilizado en Cuba es el definido por O’Reilly. El cual se basa en las propiedades físicas de los materiales componentes, e incluye dentro de sus aspectos fundamentales, la determinación de la combinación óptima de los agregados y la ejecución de mezclas de prueba, hasta establecer la combinación correcta, para determinar el contenido de cemento se realiza a partir de la relación agua cemento. (O’Reilly, V., método para

dosificar mezclas de hormigón. Cuba. Editorial del centro de información de la construcción. (1983).

Obteniéndose las siguientes dosificaciones

- ✓ Dosificación de hormigón para la elaboración de adocretos mezcla patrón.

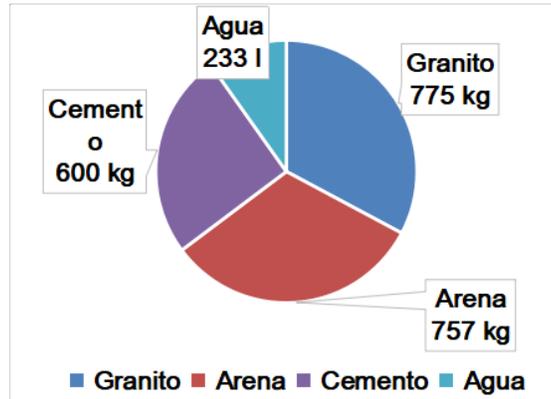
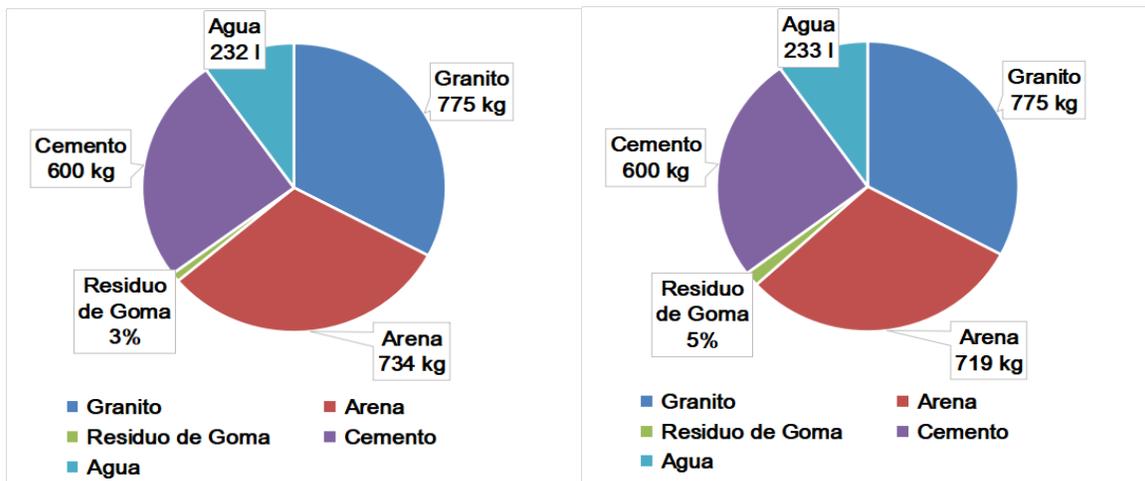


Gráfico 2.2 Dosificación de Hormigón para la elaboración de Adocretos. Muestra patrón.

- ✓ Dosificación de hormigón para la elaboración de adocretos con la adición



del residuo de goma al 3 % y 5%

Gráfico 2.3 Dosificación de Hormigón para la elaboración de Adocretos con la adición del residuo de goma al 3% y 5%

2.2.1 Diseño de la mezcla patrón y con residuo de neumático.

La dosificación y resistencia final de los adoquines se encuentra en estrecha relación con el uso al que se desean proyectar. Estos deben satisfacer los requisitos de resistencia establecidos en la NC 998:2014. Inicialmente se planean fabricar para tráfico ligero que, según la norma, debe alcanzar una resistencia media a la compresión mayor o igual a 40 MPa. Esta decisión se concibe ya que se quiere implementar su uso en los repartos de las zonas periféricas de la ciudad de Holguín en la construcción de pavimento articulado.

Mezcla patrón

Para realizar el diseño de la mezcla de patrón en el laboratorio se basan en los adocretos elaborados para el puerto de Santiago de Cuba y el procedimiento descrito en el epígrafe 2.2, el cual plantea elegir la combinación de arena y árido grueso que contenga el menor % de vacío. En este caso la combinación óptima resulta ser de 50% de arena con un 50% de granito, que es la que requiere una cantidad mínima de cemento. Se establece una relación agua - cemento de 0.35, ya que es una mezcla seca. Una vez obtenida la mezcla ajustada se elaboran las probetas de ensayo (probetas cilíndricas) y los adocretos (moldes de 22x11x8cm) para determinar la resistencia a la compresión del hormigón a la edad 28 días.



Figura 2.1 Probetas cilíndricas y adocretos

Mezclas con residuos de neumático

Luego se decide hacer combinaciones, donde se montan otras dos muestras con residuos de la fábrica recapadora de goma “Arsenio Escalona”, se escogen valores de 3% y 5%, a partir de las revisiones bibliográficas que plantea que no debe tener un excedente de un 10% de sustitución por árido fino.

Después de caracterizar las materias primas. Se procede a la fabricación de los adoquines y/o adocretos, por parte de la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA), ubicada en la provincia de Holguín. En el área destinada a la fabricación de los elementos de hormigón a experimentar. Para lo cual, se realizan tres series de elementos, una mezcla patrón, que solo contiene: cemento, arena, granito y agua, además, dos mezclas con sustitución de arena por residuo de neumático en un 3% y 5%.

Una vez que se obtiene la mezcla ajustada y se determinan la cantidad de materiales precisos para obtener seis adoquines de cada tipo, se procede a confeccionar la mezcla patrón, para lo cual, se depositan los materiales previamente pesados, por lo que se utiliza un saco con el que se pesa (se debe utilizar una parihuela de 60 x 60 x10 cm), luego, en el laboratorio se supervisa y comprueba la correcta distribución de las materias primas, logrando así, una

buena dosificación.

Para la elaboración del mortero se utiliza una mezcladora de eje basculante (trompo), siguiendo los siguientes pasos:

- Se agrega en árido grueso;
- Se agrega el árido fino;
- Se agrega el cemento;
- Por último, se hecha la cantidad de agua -medida en una probeta-, poco a poco hasta lograr un hormigón de consistencia seca, correspondiente a la relación agua- cemento del diseño.

La duración del amasado debe tener un tiempo necesario, para que los áridos sean cubiertos en su totalidad por la pasta de agua y cemento. Inmediatamente, después del mezclado, se procede al moldeado, para que la mezcla no se seque ni presente signos de fraguado. Los moldes utilizados son de madera ver figura (2.2) confeccionados por un obrero particular -exclusivamente para la realización de esta investigación-, con las siguientes dimensiones (22 x 11 x 8 cm), los que están en correspondencia con lo planteado en la NC:998-2014. Se asume un espesor de 80 mm, debido a que se proyecta inicialmente para un tránsito ligero o pesado.

Figura 2.2 Moldes para la confección de los adoquines.



Con los moldes que se confeccionan, se inicia la fabricación:

- Se humedecen y se apoyan en una base de cristal;
- Luego, se saca la mezcla del trompo;
- Se vierte en un vagón;
- Se toma con una pala y se van rellorando los 6 moldes, los que se llenan en 3 capas de 1/3 de su altura –aproximadamente-, cada una.

Para la compactación, no se cuenta con una máquina vibro-compactadora, por lo que cada capa se golpea con una varilla de acero 25 veces consecutivas en toda la superficie del hormigón. Se cuida que la segunda y tercera capa no penetre más de 25mm en la capa anterior. Además, se golpea a los lados del molde recurridamente para suponer la vibración. Esto último cumple una importante función, pues saca la mayor cantidad de aire y, por ende, aumenta las propiedades mecánicas finales, por último, se pasa una frota rasante, para dejar una forma de terminación homogénea en la superficie del molde.

Los elementos fabricados se ubican en un área protegida del sol y del viento, para así evitar que el agua contenida se evapore muy rápido, para que no surtan grietas y poros en su estructura que lo debiliten considerablemente. Estos permanecen estáticos y sin manipulación en la meseta del laboratorio, por un tiempo de 24 horas hasta que los mismos alcanzan una resistencia suficiente para el desmolde y transportación al cuarto de curado. Donde están sumergidos durante 28 días, para luego efectuar los ensayos establecidos por la NC 998.2014. Se realizan solo a los 28 días ya que, por las carencias de los materiales debido al contexto histórico en cual se encuentra el país no se puede hacer una mayor gama de ensayos y, al ser el día establecido por la norma pues se espera para obtener mayor representatividad.

Luego de obtenidos los adoquines de la mezcla patrón se procede a la elaboración de las mezclas modificadas, el caucho se sustituye en porcentajes de 3% y 5% con respecto al total de la arena. Se utiliza el mismo procedimiento antes expuesto. |

2.2.2 Ensayos de la mezcla patrón

Se evalúan los tres parámetros establecidos por la NC 998: 2014: resistencia a la compresión, al desgaste por abrasión y la absorción.

Ensayo de resistencia a la compresión

Se realizan el ensayo a 6 adocretos de cada serie cumpliendo así lo expuesto por la norma. Para realizar los cálculos de resistencia se trabaja a través del aparato 6.2.5 de la NC 998:2014. Los resultados se muestran a continuación.

Tabla 2.5 Resistencia a compresión a la edad de 28 días

Muestra	Patrón	
	R'i(MPa)	R'p(MPa)
1	55,8	52.0
2	49,6	
3	50,3	
4	50,1	
5	50,8	
6	55,8	

A la edad de 28 días se aprecia que los adoquines elaborado con la mezcla patrón alcanzan una resistencia de 52 MPa

Ensayo de resistencia al desgaste por abrasión

Se efectúa después el ensayo de resistencia al desgaste por abrasión, según el método decretado en la NC 998: 2014, se determina midiendo el desgaste producido en la cara vista de una probeta que se somete a rozamiento mediante un disco de acero y material abrasivo bajo condiciones normalizadas. En la tabla (..) se revelan los resultados obtenidos:

Tabla 2.6 Resistencia al desgaste por abrasión de los adoquines

Probetas	Resultados
Patrón	15.8(mm)

Como se declara en la tabla 2.6 el adoquín patrón al alcanzar una resistencia de 52MPa, se concibe para todo tipo de tráfico. Esto asigna una categoría de AI-2 que se refiere a áreas industriales con tráfico pesado entre 500 y 1000 v.p.d. La resistencia al desgaste por abrasión debe de ser menor que 20 mm. Para dicho caso, se cumple dicha exigencia.

Ensayo de absorción

Este ensayo se les realiza a tres muestras de cada serie, con el objetivo de saber qué cantidad de agua absorbe el elemento producido, se realiza por el método descrito en la NC 247: 2012 en el Laboratorio de la ENIA de Holguín. Este debe de cumplir las especificaciones de la NC 998: 2014 la cual plantea que será como máximo el 8% del peso del adocreto. En la siguiente tabla se pueden apreciar los resultados obtenidos.

Tabla 2.7 Absorción de los adoquines

Adoquines	Muestra	Masa húmeda(Mhi) (kg)	Masa seca(Msi) (kg)	% de absorción(Ai)	Am (%)
Patrón	1	4,470	4,400	1,6	1,4
	2	4,400	4,350	1,1	
	3	4,435	4,375	1,4	

Como se aprecia en la tabla el adoquín patrón (8% del peso de los elementos en estado seco) descritos en el apartado 4.4 de la NC 998:2014.

2.2.4 Ensayos de la mezcla con residuos de neumático

Mediante el mismo procedimiento de la realización de los ensayos de la mezcla patrón se hacen los de residuos de neumáticos para apreciarlas potencialidades

de su uso.

Ensayo de resistencia a la compresión

Tabla 2.8 Resistencia a compresión a la edad de 28 días

Muestra	3% de residuo de goma		5% de residuo de goma	
	R'i (MPa)	R'p(MPa)	R'i (MPa)	R'p(MPa)
1	32,0	31,8	29,1	29,2
2	32,4		29,9	
3	32,1		27,9	
4	31,4		30,6	
5	31,9		28,9	
6	31,4		28,6	

Ensayo de resistencia al desgaste por abrasión

Tabla 2.9 Resistencia al desgaste por abrasión de los adoquines.

Probetas	Resultados
3% de residuo de goma	17.2(mm)
5% de residuo de goma	18(mm)

Con una sustitución de un 3% y 5% se logra una resistencia de 31,8Mpa y 29.2 MPa, los cuales se pueden emplear en un tráfico peatonal. Ambas son de categoría C4: áreas peatonales, calles residenciales, vehículo ligero y vehículo pesados diarios menor o igual a cuatro. La resistencia al desgaste por abrasión debe de ser menor o igual que 27mm, esto se cumple tanto en uno como el otro.

Ensayo de absorción

Tabla 2.10 Absorción de los adoquines.

Adoquines	Muestra	Masa húmeda (Mhi) (kg)	Masa seca (Msi) (kg)	% de absorción (Ai)	Am (%)
3% de residuo de goma	1	3.900	3.800	2.6	2.4
	2	4.250	4.160	2.2	
	3	4.100	4.000	2.5	
5% de residuo de goma	1	3.900	3.800	2.9	2.9
	2	4.250	3.880	3.1	
	3	4.100	3.990	2.6	

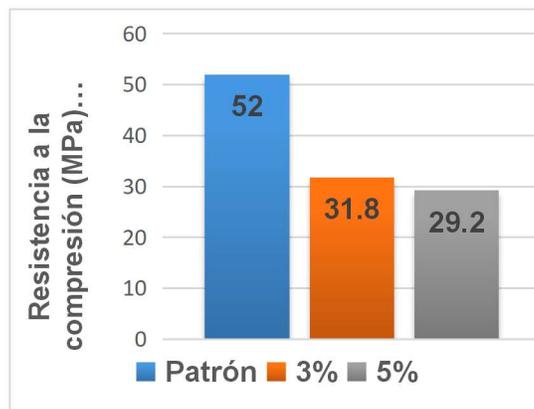
Como se aprecia en el gráfico los adoquines fabricados con residuos de neumáticos cumplen con los requisitos de absorción (8% del peso de los elementos en estado seco) descritos en el apartado 4.4 de la NC 998:2014.

2.2.4 Análisis de los resultados

Para ello se realiza una comparación entre la mezcla patrón y los adoquines con sustitución de un 3% y 5% de residuo de neumático.

Ensayo de resistencia a la compresión

Gráfico 2.4 Resistencia a compresión de los adoquines



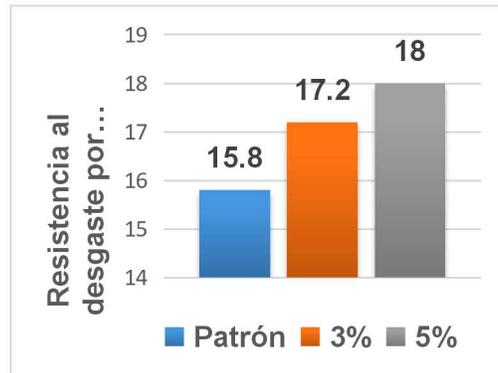
A la edad de 28 días se aprecia que a medida que aumenta el porcentaje de sustitución en la mezcla, disminuye la resistencia. Esto indica que las sustituciones propuestas no superan la mezcla patrón. Sin embargo, no es del todo un resultado insatisfactorio pues en la NC: 998-2014 se definen tres tipos de

adoquines según su fabricación.

Según la norma citada antes, el adoquín para tránsito ligero debe poseer una resistencia a los 28 días mayor o igual a 40MPa. Se aprecia en el gráfico que los adoquines fabricados con residuos de neumáticos en sustitución de un 3% y 5%, no alcanza la resistencia a la compresión deseada, pues como se describe anteriormente lo que se proyectaba era un uso en tránsito ligero. Pero, sin embargo; si se le puede dar uso en tránsito peatonal ya que cumple con los requisitos de la norma. Esta establece que para tránsito peatonal la resistencia a la compresión debe ser mayor o igual a 20MPa.

Ensayo de resistencia al desgaste por abrasión

Gráfico 2.5 Resistencia al desgaste por abrasión de los adoquines



En el gráfico se demuestra, que al adoquín fabricado con una sustitución del 5% de sustitución alcanza valores más altos

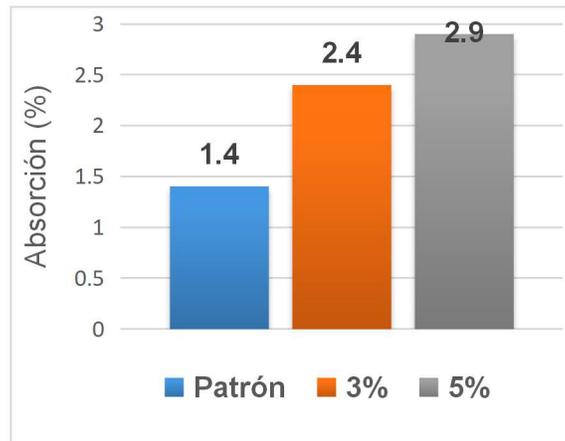
Como se declara anteriormente el adoquín patrón al alcanzar una resistencia de 52 MPa, se concibe para tráfico pesado. Esto asigna una categoría de AI-2 que se refiere a áreas industriales con tráfico pesado entre 500 y 1000 v.p.d. La resistencia al desgaste por abrasión debe de ser menor que 20 mm. Para dicho caso, se cumple dicha exigencia.

Con una sustitución de un 3% y 5% se logra una resistencia de 31,8Mpa y 29.2 MPa, los cuales se pueden emplear en un tráfico peatonal. Ambas son de categoría C4: áreas peatonales, calles residenciales, vehículo ligero y vehículo

pesados diarios menor o igual a cuatro. La resistencia al desgaste por abrasión debe de ser menor o igual que 27mm, esto se cumple tanto en uno como el otro.

Ensayo de absorción

Gráfico 2.6 Absorción de los adoquines



Como se aprecia en el gráfico los tres tipos de adoquines fabricados cumplen con los requisitos de absorción (8% del peso de los elementos en estado seco) descritos en el apartado 4.4 de la NC 998:2014.

Por otra parte, se puede percibir que los adoquines con sustituciones de neumáticos absorben mayor cantidad de agua. Esto se debe que al no contar con una máquina vibro-compactadora, no se le da una adecuada vibración y puede que no se elimine la mayor cantidad de aire lo cual influye en la absorción. Probablemente con los equipos que se deben de utilizar pueden alcanzar valores más favorables.

2.3 Valorización del empleo de adocretos con residuos de neumáticos para la construcción de calles en la ciudad de Holguín.

En los últimos años la generación de residuo ha crecido de forma considerable. Debido a esta importante problemática, crece la preocupación por el medioambiente, motivo por el cual la valorización de residuo cobra mayor importancia año tras año. Esta actividad se encuentra enmarcada dentro de la estrategia establecida por la economía. Como su propio nombre indica, es el

proceso por el cual un residuo se transforma para poder ser utilizado con una nueva finalidad o para sustituir materiales. Esta herramienta, es cada vez más importante a nivel social e industrial, permite que muchos residuos puedan ser aprovechados en lugar de acabar en un vertedero. La generación de residuo de caucho se ha convertido en una preocupación global por su impacto negativo en el medio ambiente y la salud humana, lo cual ha acelerado en la búsqueda de alternativas para su reaprovechamiento.

En esta investigación en particular se comprueba las características técnicas y mecánicas de adoquines elaborados con residuos de caucho, los resultados arrojan que no pueden ser utilizados para el tráfico ligero como se plantea en un inicio pues no cumplen con las especificaciones de la norma, pero si se le puede dar uso en el tráfico peatonal, ciclo vías y plazas. Lo que trae consigo como beneficio la reducción de la cantidad de residuo generado. Emplear este tipo de residuo representa además de importantes ventajas ambientales, mejoras técnicas en los productos, tales como incremento de la resistencia a la abrasión y al impacto del concreto, acarreado sin embargo algunas pérdidas en propiedades como resistencia a la compresión y muy importante la reducción de los costos de control ambiental ya que la necesidad de eliminarlos genera gastos de transformación, almacenaje y disposición final.

Conclusiones del capítulo

Los ensayos realizados a los materiales permitieron comprobar que estos cumplen con las especificaciones propuestas en la norma, y presentan una buena calidad para ser utilizados en las mezclas de hormigón.

Se realizó el diseño de la mezcla patrón, mediante el método de O'Reilly donde la dosificación propuesta de la mezcla patrón, cumple para todas las categorías de tráfico, ya que alcanza una resistencia de 52 MPa.

Los ensayos para evaluar lo adoquines arrojan que el adoquín patrón es capaz de soportar el tráfico pesado y que al aumentar el porcentaje del residuo de neumático

este disminuye en resistencia.

Los adoquines elaborados con un 3% y 5% de residuo de neumático no cumplen para el tráfico ligero. Pero, sin embargo; se le puede dar uso en tránsito peatonal ya que cumple con los requisitos de la norma. Esta establece que para tránsito peatonal la resistencia a la compresión debe ser mayor o igual a 20MPa y estos alcanzaron una resistencia de 31,8Mpa y 29.2 MPa.

CONCLUSIONES GENERALES

1. Se estudió el marco teórico referencial obteniendo los aspectos teóricos necesarios para la investigación con respecto a pavimentos articulado con el uso de residuos de neumáticos.
2. Se realizaron las propuestas de dosificaciones, sustituyendo el árido fino en un 3% y 5% las cuales alcanzan resistencias de 31,8Mpa y 29.2 MPa, las cuales se pueden utilizar para un tráfico peatonal, las mismas no superan la muestra patrón la cual alcanza una resistencia de 52 MPa conforme para todo tipo de tráfico.
3. Se hizo una valoración medio ambiental y social, donde se demuestra que el residuo de neumático se puede utilizar en los adoquines para la fabricación del ciclo carriles, caminos rurales, plazas y áreas peatonales, disminuyendo así el uso de algún otro material.

RECOMENDACIONES

Continuar la investigación mediante el uso de aditivos.

Realizar nuevos ensayos con el uso de adiciones y comprobar sus características mecánicas con el objetivo de alcanzar la resistencia proyectada.

BIBLIOGRAFÍA

- Ávila Sota, Mayra Isabel, (2019). Para optar el Título Profesional De: Ingeniera Civil, Diseño del pavimento con adoquines rectangulares de concreto para la renovación vial en la provincia de Huaral, Lima – Perú.
- Alcaldía Mayor de Bogotá d. c. Especificación técnica: instalación de adoquines de concreto para superficies de tránsito peatonal y vehicular. Bogotá: 2017.
- Aldai, Karmele Otegi. Estudio del impacto ambiental por lixiviación de la escoria de acería en capas granulares no ligadas 706-tfm-314. Cataluña: 2012.
- Aragón Suárez, Carlos Enrique. Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Civil, Potencialidades del empleo de residuos plásticos en la construcción de carreteras.
- Boza Regueira, Maile Hortencia. Evaluación del comportamiento tensional de cubiertas de fibrocemento con escorias de acería empleando tecnologías CAD/CAE. Holguín: s.n., 2017.
- Cabezas Fierro, María Inés. Elaboración de un manual de procesos constructivos del adoquinado. Quito: 2014.
- Campo, Julio Manuel Fernández-Rubio del. Conferencia -1: Generalidades sobre el diseño y construcción de pavimentos. Holguín: 2018.
- Cuadrado Aranda, Carlos Felix, Mezclas asfálticas a partir de residuos de neumáticos y escorias siderúrgicas. HOLGUÍN 2016.
- Deliz, Dalia Rosa Payne. Estabilización de la subrasante de carreteras empleando escorias de acería. Holguín: 2017.
- Díaz Rodríguez, Ernesto, Acevedo Catá, Jorge y Martínez Lobeck, Emilio. Prácticas de materiales de construcción. Cuba: pueblo y educación, 1980, 1987.

Diferencias entre pavimento de hormigón, pavimento de asfalto y pavimento de adoquines. corblock - calidad concreta . [En línea] 30 de septiembre de 2022. <http://www.corblock.com/>. www.manifesto.com.ar.

Diseño y elaboración de un sistema de adoquines de bajo costo y material reciclado para construcciones en núcleos rurales. Marco, r. o. di. I, 2015, esaica, Vol. I, págs. 30-38.

ECURRED. [En línea] 27 de marzo de 2018. https://www.ecured.cu/fen%c3%b3menos_atmosf%c3%a9ricos.

Martínez Mayancela, Joffre René, (2016). Trabajo Experimental Previo A La obtención del Título De Ingeniero Civil, Análisis comparativo de la resistencia a compresión entre un adoquín convencional y adoquines preparados con diferentes fibras: sintética (polipropileno), orgánica (estopa de coco), inorgánica (vidrio). Ambato – Ecuador.

NORMA CUBANA NC 724-2015, Ensayos del hormigón — resistencia del hormigón en estado endurecido (iso 1920-4: 2005, mod). Cuba: 2015.

NORMA CUBANA NC 2010, iso 1920-3. Ensayos al hormigón - parte 3: elaboración y curado de probetas para ensayos (iso 1920-3:2004, idt). Cuba: s.n., 2010. Gamboa, Jesús Alexander Ipanaque. Ventajas del adoquín. [En línea] 13 de septiembre de 2017. [Citado el: 6 de febrero de 2022.] <http://jesusipanaque.blogspot.com/2007/09/ventajas-del-adoquin.html>.

NORMA CUBANA NC 120: 2021.

NORMA CUBANA NC 1337: 2020 determinación del módulo de ruptura de los adoquines de hormigón (ADOCRETOS) — método de ensayo hormigón hidráulico — especificaciones.

NORMA CUBANA NC 1340: 2021 cemento—especificaciones.

NORMA CUBANA NC 177: 2002 Áridos. Determinación del porcentaje de huecos.
Método de ensayo.

NORMA CUBANA NC 178: 2002 Áridos. Análisis Granulométrico.

NORMA CUBANA NC 179: 2002 Áridos. Determinación del contenido de
partículas de arcilla. Método de Ensayo.

NORMA CUBANA NC 181: 2002 Áridos. Determinación del peso volumétrico.
Método de ensayo.

NORMA CUBANA NC 182: 2002 Áridos. Determinación del material más fino
que el tamiz de 0.074 Mm (No. 200). Método De Ensayo.

NORMA CUBANA NC 183: 2002 Áridos. Estabilidad a la acción del sulfato de
sodio o del sulfato de magnesio. Método de Ensayo.

NORMA CUBANA NC 186: 2002 Arena. Peso específico y absorción de agua.
Método de ensayo.

NORMA CUBANA NC 188: 2002 Áridos gruesos. Abrasión. Método de ensayo.

NORMA CUBANA NC 190: 2002 Áridos gruesos. Determinación del índice de
tritabilidad.

NORMA CUBANA NC 247: 2010 Bloques huecos de hormigón —
especificaciones.

NORMA CUBANA NC 251: 2021 Áridos para hormigones hidráulicos —
requisitos.

NORMA CUBANA NC 724: 2015 Ensayos del hormigón — resistencia del
hormigón en estado endurecido (ISO 1920-4: 2005, MOD).

NORMA CUBANA NC 998: 2014. Adoquines de hormigón (adcretos). Cuba: s.n.,
2014.

NORMA CUBANA NC 353-2004, Aguas para el amasado y curado del hormigón y los morteros—especificaciones. Cuba: 2004.

NORMA CUBANA NC 251:2013, Áridos para hormigones hidráulicos - requisitos. Cuba: 2013.

NORMA CUBANA NC 179:2002, Áridos. Áridos. Determinación del contenido de partículas de arcilla. Método de ensayo. Cuba: 2002. Avilés, Emilio García. Escorias blancas de acería como material de construcción. Moa: 2014.

NORMA CUBANA NC 504-2013. Cemento hidráulico — método de ensayo — determinación de la estabilidad de volumen. Cuba: 2013. Construcción de pavimentos de adoquines de hormigón. esdocument.com. [en línea] 18 de julio de 2017. [Citado el: 17 de febrero de 2022.] <https://esdocument.com/13-04-24-pav-con-construccion-de-pav-adoquines-de-hormigon-pdf>

García Loncomilla, Claudia Andrea. Evaluación técnico -económica de diversas alternativas de pavimentación del sector alto guacamayo. Valdivia: 2005.

Gargollo, Roberto Lascurain. Fabricación de bloques de adoquín de hormigón hidráulico. Estados Unidos: 1998.

Geyer, R. M. T., y otros. Uso de escorias de aciaria como sustitución a cemento Portland – urna analicé da melhoria das propriedades de concreto. IV Congreso Iberoamericano de Patología de Construcción, Porto Alegre, Brasil. : s.n., 1997.

Herrera, Plinio Estuardo. Evolución, fundamentos, diseño y construcción de pavimentos con adoquines de concreto. Guatemala: s.n., 2017.

Herrero Vázquez, Tamara. Estudio del efecto de la hidratación de la escoria blanca de acería de HEA: aplicación en pastas y morteros de cemento. Bilbao: 2015.

Houben Lambert, J.M. y Knol, J. Colocación mecanizada de adoquines de concreto. Buenos Aires: 2009.

Informe Técnico de Árido fino para especificaciones en el hormigón, (2022). Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas UIC Holguín, Laboratorio de Ensayos RG IA 23.2.

Informe Técnico del Cemento, (2022). Empresa Nacional De Investigaciones Aplicadas UIC HOLGUIN, LABORATORIO DE ENSAYOS.

Informe Técnico de Árido grueso para especificaciones en el hormigón RG IA 23.2. (2022). Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas UIC HOLGUIN, LABORATORIO DE ENSAYOS.

Informe De Ensayo Adocretos, Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas. INVESCONS Dirección General y Unidades de Investigaciones para la Construcción.

IHOBE. Libro Blanco de Minimización de Residuos y Emisiones de Escorias de Acería. Vasco: s.n.

Importancia del confinamiento lateral en el pavimento de adoquines. Corblock - calidad concreta. [En línea] 15 de junio de 2017. [Citado el: 12 de febrero de 2022.] <http://www.corblock.com/>. www.manifesto.com.ar. Laboratorio ENIA. Informe de ensayos. Holguín: s.n., 2018.

Juan Manuel Morales Jiménez, Daniel Suaste Gutiérrez, Ángel Omar Ávila Ruiz. Diseño de una mezcla con materiales reciclados para producción de adoquines. México: 2017. Laboratorio EPPH. Modelo taller. Holguín: 2019.

López Larrea, Marvin Jairo y Pinedo Bustamante, Marco Antonio. Mejoramiento de las características físico mecánicas de adoquines de cemento para pavimentación, adicionando escoria de horno eléctrico en su proceso de fabricación. Nuevo Chimbote: 2015.

- López, Vanesa Ortega. Aprovechamiento de escorias blancas (lfs) y negras (eafs) de acería eléctrica en la estabilización de suelos y en capas de firmes de caminos rurales. Burgos: 2011.
- Manso, J.M., Gonzáles, J.J. y Polanco, J.A. Electric arc furnace slag in concrete. 2004.
- Nicolade, S.V. Utilización de escorias y polvos de acería en la producción de bloques y adoquines. Quito: 2008.
- O'Reilly, Vitervo a. método para dosificar mezclas de hormigón. Cuba: editorial del centro de información de la construcción., 1983.
- Ortega Lopéz, Vanesa. Aprovechamiento de escorias blancas (lfs) y negras (eafs) de acería eléctrica en la estabilización de suelos y en capas de firmes de caminos rurales. Burgos: 2011.
- Ortega, Martha Alejandra González. Comportamiento y diseño de hormigones estructurales con áridos siderúrgicos EAF. Barcelona: s.n., 2015.
- Pavimentos con adoquines de hormigón, (2014).
- Piña, Ana Méndez. Proyecto sobre residuos: utilización de escorias como sustitutos de áridos. España: 2012.
- Proceso de instalación de los adoquines de concreto. Ramírez ingenieros. [En línea] 4 de septiembre de 2017. [Citado el: 19 de abril de 2022.] <http://www.ramirez-ingenieros.com/proceso-de-instalacion-de-los-adoquines-de-concreto/>. www.optimizacion-online.com.Raymond Rollings, p.e. pavimentos intertrabados de adoquines de hormigón. Estados Unidos: s.n., 1997.
- Rey Angulo Erick Daniel (2018). Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil. Propiedades físico – mecánicas de adoquines con

polipropileno y caucho al 10% y 15% de reemplazo del agregado grueso, para su utilización en tránsito liviano en pavimentos articulados.

Restrepo Ramos, Yennifer Tatiana y Aya Rodríguez, José Rubén, (2018). Trabajo de grado presentado para optar al título de Ingeniero Civil, Propuesta para la fabricación de adoquines en mortero mezclados con cascarilla de arroz para uso en la construcción de la Ciudad de Girardot en el Departamento De Cundinamarca.

Santafé. Manual técnico para instalación de pisos en adoquín de arcilla. Colombia: s.n.

Sarfati, Salomón Susi. Diccionario de pensamientos de Fidel Castro. La Habana: Editora política, 2008.

Sarría Veitía Lázaro Alejandro, (2019). Tesis de Diploma, Desarrollo de tecnologías para el adoquinado en condiciones locales. Universidad Central de las Villas “Martha Abreo”

Sibid. Universidad de Alicante. [En línea] 8 de enero de 2004. [Citado el: 4 de octubre de 2022.] http://www.euroadoquin.org/index_manual.htm.

Wales, Jimmy y Sanger, Larry. Wikipedia. [En línea] 15 de enero de 2022. <https://www.wikipedia.org>

Zaragoza Valdés, R., y otros. Utilización de las escorias de los hornos de arco eléctrico y de cuchara como materiales de construcción. La Habana: s.n., 2001.

ANEXOS

Anexo 1: Informe técnico del cemento

Informe Técnico del Cemento												
	EMPRESA NACIONAL DE INVESTIGACIONES APLICADAS											
	UIC HOLGUIN											
	LABORATORIO DE ENSAYOS						RG IA 23.3					
	TIPO DE CEMENTO: P-35			FECHA DE ENTRADA: 20/06/2021			MUESTRA DE LABORATORIO:					
OBRA MUESTREADA:			CENTRO DE PRODUCCIÓN: CEMENTO A GRANUL PROCEDENTE DE BIENLEIDOS			MUESTRA CUENTE N.º:			LOTE N.º:			
REQUISITOS DEL CEMENTO PORTLAND P-35, P-45 Y P-55 SEGÚN LA NC 1340-2021												
ENSAYOS	CONDICIONES AMBIENTALES		MÉTODO DE ENSAYO	UNIDAD	FECHA DE ENSAYO	RESULTADOS	ESPECIFICACIONES			INCERTIDUMBRE (U) CON 95%	EVALUACIÓN DE LA CONFORMIDAD	
	TEMP. °C	HUM. (%)					P-35	P-45	P-55			
ENSAYOS FÍSICOS												
Superficie específica	-	-	NC 180-0013	cm ² /g	-	-	Mín. 2800	Mín. 2800	Mín. 3200	-	-	
Consistencia normal y tiempo de fraguado	24,8	89,1	NC 104-0015	min	21/06/2021	108	Tiempo de fraguado inicial (min)	Mín. 45	Mín. 45	Mín. 45	± 0,15	CONFORME PARA CEMENTO P-35, P-45, P-55
				s	21/06/2021	3,8	Tiempo de fraguado final (s)	Mín. 10	Mín. 10	Mín. 10	± 0,10	CONFORME PARA EL CEMENTO P-35, P-45, P-55
				%	21/06/2021	24,8	Consistencia normal (%)	-	-	-	± 0,10	-
Estabilidad por volumen por LeChâtelier	24,8	89,1	NC 104-0013	mm	21/06/2021	1,0	-	Mín. 10	Mín. 10	Mín. 10	-	CONFORME
Densidad del cemento	24,8	89,1	NC 103-0015	g/cm ³	21/06/2021	3,10	-	-	-	-	± 0,05	-
Por ciento de residuo	24,8	89,1	NC 180-0013	%	21/06/2021	11,2	-	-	-	-	± 0,10	-
ENSAYOS MECÁNICOS												
Resistencia a la compresión	24,8	89,1	NC 106-0013	MPa	24/06/2021	31,5	3 días	Mín. 17	Mín. 25	Mín. 25	± 0,15	CONFORME PARA EL CEMENTO P-35
					28/06/2021	35,1	7 días	Mín. 25	Mín. 25	Mín. 25	± 0,10	CONFORME PARA EL CEMENTO P-35
					19/07/2021	29,9	28 días	Mín. 20	Mín. 25	Mín. 25	± 0,10	CONFORME PARA EL CEMENTO P-35
Resistencia a la flexión	24,8	89,1	NC 106-0013	MPa	24/06/2021	5,8	3 días	-	-	-	± 0,05	-
					28/06/2021	6,6	7 días	-	-	-	± 0,05	-
					19/07/2021	7,3	28 días	-	-	-	± 0,05	-
ENSAYOS QUÍMICOS												
Pérdida por ignición	-	-	NC 101-0013	%	-	-	-	Mín. 4	Mín. 4	Mín. 4	-	-
								Mín. 4	Mín. 4	Mín. 4	-	-
Residuo insoluble	-	-	NC 101-0013	%	-	-	-	Mín. 4	Mín. 4	Mín. 4	-	-
Cuanto de magnesio	-	-	2013	%	-	-	-	Mín. 5	Mín. 5	Mín. 5	-	-
Tiempo de ascenso	-	-		%	-	-	-	Mín. 3,5	Mín. 3,5	Mín. 3,5	-	-
<p>Observaciones: Se usó la NC 1340-2021 CEMENTO ESPECIFICACIONES para la evaluación de la conformidad.</p> <p>Los Incertidumbres declaradas para los resultados de ensayos están expresadas con un factor de cobertura k=2.</p> <p>El laboratorio está dispuesto para asegurar con el cliente en cualquier momento, en la interpretación de los resultados que se continúan en este informe o en cualquier otra solicitud técnica en la que estén involucradas las mismas.</p> <p>*Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la aprobación escrita del Laboratorio que lo emitió, y sólo tiene validez el escrito con las firmas autorizadas.*</p>												
Elaborado por: Téc. Carlos Mariel Cruz R			Firmas:			Aprobado por: Ing. Jorge Cano Morera			Firma:			

Anexo 2: Informe técnico de árido fino para especificaciones en el hormigón

RG IA 23.2 Informe Técnico de Árido fino para especificaciones en el hormigón												
		EMPRESA NACIONAL DE INVESTIGACIONES APLICADAS UIC HOLGUÍN										
		LABORATORIO DE ENSAYOS						FECHA DE ENTRADA: 28/06/2022				
		TIPO DE ÁRIDO: ARENA ARTIFICIAL		MUESTRA DE LABORATORIO: CANTERA 208 ML				CANTERA 208 ML				
OBRA MUESTREADA:		MUESTRA CLIENTE No.:				TÍTULO DE ESTUDANTE:					LOTE No.:	
REQUISITOS DE ÁRIDOS FINOS PARA HORMIGONES HIDRÁULICOS SEGÚN LA NC 251-2021												
ENSAYOS	CONDICIONES AMBIENTALES		MÉTODO DE ENSAYO	UNIDAD	FECHA DE ENSAYO	RESULTADOS	ESPECIFICACIONES	INCERTIDUMBRE (U) CON k=2	EVALUACIÓN DE LA CONFORMIDAD			
	TEMP. °C	HUM. (%)										
Material más fino que el tamiz No. 200	27,3	85,2	NC 182-2002	%	21/06/2022	2,37	Hormigones sometidos a la Abrasión y a la exposición del ambiente marino $\leq 3\%$ Todos los restantes hormigones $\leq 5\%$	$\pm 0,16$	CONFORME			
Partículas de arcilla	27,3	85,2	NC 179-2002	%	21/06/2022	0,0	$\leq 1\%$	$\pm 0,15$	CONFORME			
Impurezas orgánicas	-	-	NC 185-2002	No. de Placa	-	-	Impurezas Orgánicas (Método 1) (Comparando solamente con la placa No. 3). Impurezas Orgánicas (Método 2) (Comparando con las 3 soluciones).	-	-			
Peso específico aparente	24,7	88,3	NC 186-2002	g/cm ³	21/06/2022	2,570	$> 2,5 \text{ g/cm}^3$	$\pm 0,10$	CONFORME			
Peso específico saturado			NC 186-2002	g/cm ³	21/06/2022	2,620	-	$\pm 0,10$	-			
Peso específico aparente			NC 186-2002	g/cm ³	21/06/2022	2,710	-	$\pm 0,15$	-			
Absorción			NC 186-2002	%	21/06/2022	2,82	$\leq 3\%$	$\pm 0,10$	CONFORME			
Peso volumétrico (suelto)	27,3	85,2	NC 181-2002	kg/m ³	21/06/2022	1598	-	$\pm 0,20$	-			
Peso volumétrico (compactado)			NC 181-2002	kg/m ³	21/06/2022	1758	-	$\pm 0,15$	-			
Por ciento de huecos	-	-	NC 177-2002	%	21/06/2022	31,91	-	-	-			
Equivalente de arena (SE)	-	-	NC 886-2012	%	-	-	Hormigones sometidos a la abrasión y a exposición del ambiente marino $\geq 75\%$ Restantes hormigones $\geq 70\%$	-	-			
MÓDULO DE FINURA	27,3	85,2	NC 251-2021	Adim.	21/06/2022	3,85	2,20-3,50	-	NO CONFORME			
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (NO CONFORME) DE AGREGADO FINO No. 4 (4,75 mm)- No. 100 (0,15 mm)								FECHA DE ENSAYO		21/06/2022		
TAMICES (mm)	PULDADA	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100
mm	mm	37,5	25	19	12,5	9,5	4,75	2,36	1,18	0,6	0,3	0,15
POR CIENTO PASADO	%	100	100	100	100	100	94	64	35	16	5	1
INCERTIDUMBRE (U) para k=2	%	-	-	-	-	-	$\pm 0,01$	$\pm 0,01$	$\pm 0,01$	$\pm 0,01$	$\pm 0,01$	$\pm 0,01$
ESPECIFICACIONES	MÁXIMO (%)	100	100	100	100	100	100	100	80	60	30	10
	MÍNIMO (%)	100	100	100	100	100	90	70	45	25	10	2
<p>Observaciones: Se usa la NC 251-2022 Áridos para hormigones hidráulicos, Requisitos, para la evaluación de la conformidad. Las incertidumbres declaradas para los resultados de ensayos están expandidas con un factor de cobertura k=2. El laboratorio está disponible para cooperar con el cliente en cualquier momento, en la interpretación de los resultados que se emiten en este informe o en cualquier otro momento. *Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la aprobación escrita del Laboratorio que lo emite, y sólo tiene validez si cuenta con las firmas autorizadas*.</p>												
Elaborado por: Téc. Carlos Mariel Cruz		Firma:				Aprobado por: Ing. Jorge Cano M		Firma:				

Anexo 3: Informe técnico de árido grueso para especificaciones en el hormigón

RG IA 23.2 Informe Técnico de Árido grueso para especificaciones en el hormigón										
		EMPRESA NACIONAL DE INVESTIGACIONES APLICADAS				RG IA 23.2				
		UIC: UIC HOLGUÍN								
TIPO DE ÁRIDO: GRANULADO PROCEDENTE DE CANCHAL		FECHA DE ENTRADA: 20/07/2021		CANTERA O TACAMENCO: CANTERA 200 ML		LABORATORIO DE ENSAYOS				
MUESTRA CLIENTE No.:		MUESTRA DE LABORATORIO:		TESTE DE SATURACIÓN:		LETRA No.:				
REQUISITOS DE ÁRIDOS GRUESOS PARA HORMIGONES HIDRÁULICOS SEGÚN LA NC 251:2021										
ENSAYOS	CONDICIONES AMBIENTALES		MÉTODO DE ENSAYO	UNIDAD	FECHA DE ENSAYO	RESULTADOS	ESPECIFICACIONES	INCIDENTO (U) (CON X)	EVALUACIÓN DE LA CONFORMIDAD	
	TEMP. °C	HUM. (%)								
Material más fino que el tamiz No. 200	20,1	88,4	NC 182-2000	%	21/06/2021	0,77	< 1 %	0,78	CONFORME	
Partículas de arena	20,1	88,4	NC 178-2000	%	21/06/2021	0,8	< 0,25 %	0,78	CONFORME	
Partículas planas y alargadas	20,1	88,4	NC 188-2000	%	21/06/2021	1,7	+ PARA ÁRIDOS PROCEDENTES DE ROCAS CALIZAS < 10 % + PARA ÁRIDOS PROCEDENTES DE ROCAS GNEIAS < 20 %	0,78	CONFORME PARA ÁRIDOS PROCEDENTES DE ROCAS CALIZAS CONFORME PARA ÁRIDOS PROCEDENTES DE ROCAS GNEIAS	
Peso específico aparente	20,1	88,4	NC 188-2000	g/cm ³	21/06/2021	2,821	> 2,5 (g/cm ³)	0,820	CONFORME	
Peso específico real			NC 188-2000	g/cm ³		2,888	-	0,820	-	
Peso específico aparente saturado			NC 188-2000	g/cm ³		2,784	-	0,827	-	
Absorción			NC 188-2000	%		1,24	< 3 %	0,827	CONFORME	
Peso volumétrico (suavizado)	20,1	88,4	NC 187-2000	kg/m ³	21/06/2021	1336	-	0,70	-	
Peso volumétrico (compactado)			NC 187-2000	kg/m ³		1735	-	0,70	-	
Por ciento de humedad	20,1	88,4	NC 177-2000	%	21/06/2021	0,23	-	0,15	-	
Índice de friabilidad	20,1	88,4	NC 182-2000	%	21/06/2021	7,23	Tipo de agregado:		0,70	
							+ Agregados de hormigón para tráfico pesado. Resistencia fck > 25 MPa	< 15		< 25
							+ Agregados y otros destinados a concreto, hormigón, arquitectónicos, especiales y diferentes tipos de mezclas.	25-15		25-25
							+ Otros tipos de hormigones. Resistencia fck > 15 MPa	25-20		25-25
Abrasión (Los Angeles)	20,1	88,4	NC 188-2000	%	21/06/2021	20,5	+ Hormigones sometidos a la acción elevada y hormigones arquitectónicos y de otros especiales. (MÁXIMO 20 %)		0,50	
							+ Hormigones sometidos a desgaste en pavimentos para tráfico vehicular y pedestal (Resistencia fck > 25 MPa) (MÁXIMO 40 %)			
							+ Otros tipos de hormigones. Resistencia fck > 25 MPa (MÁXIMO 50 %)			
Estabilidad de volumen para áridos gruesos	20,1	88,4	NC 182-2000	%	21/06/2021	0,78	+ SULFATO DE SODIO < 10 %		0,80	
							+ SULFATO DE MAGNESIO < 10 %			
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO GRUESO 3/8" (9,5 mm)- No. 4 (4,75 mm)										
TAMICES (mm)	FILTRADOS	1"	3/8"	3/16"	No. 4	No. 10	No. 20	FECHA DE ENSAYO	CONFORME	
mm	mm	25	7,5	4,75	4,75	2,5	1,18	21/06/2021		
POR CIENTO PASADO	%	100	100	99	20	4	0			
RETENCIÓN EN EL TAMIZ	%	-	-	0,01	0,78	0,78	0,01			
ESPECIFICACIONES	MÁXIMO (%)	100	100	100	20	0	0			
<p>OBSERVACIONES: Se usó la NC 207-2021 Áridos para Hormigones Hidráulicos. Requisitos, para la evaluación de la conformidad.</p> <p>Los resultados declarados para los resultados de ensayo están respaldados con un factor de confianza 90%.</p> <p>El laboratorio está disponible para cooperar con el cliente en cualquier momento, en la interpretación de los resultados que se emiten en este informe a los cuales una vez más se invita en la que están involucrados los mismos.</p> <p>*Validación de reproducción total o parcial de este informe sin la aprobación escrita del Laboratorio que lo emite, y sólo tiene validez si cuenta con las firmas.</p>										
Elaborado por	Firmado		Aprobado por		Firma:					
Ts. Carlos Manuel Cruz R.			Ing. Jorge Cano Rivera							

Anexo 4: Dosificación para la elaboración de la mezcla patrón

Dosificación de Hormigón para la elaboración de Adocretos

Materiales utilizados.

- Cemento P – 35 procedente de Cienfuegos.
- Árido fino fracción (5 a 0.15) mm. Cantera 200 Mil
- Árido grueso fracción (10 a 5) mm, Cantera 200 Mil.
- Agua Potable. Acueducto Holguín.

Fecha de realización	Dosificación (kg/m ³)					Resistencia a la Compresión de las probetas cilíndricas. (MPa)			
	Cemento (kg)	Árido fino (kg)	Árido grueso (kg)	Agua (L)	Asentamiento (cm)	28 días			
						1	2	3	x
04/07/2022	600	757	775	233	5.0	46.6	46.9	47.0	47.0

Anexo 5: Dosificación para la elaboración de adocreto con sustitución de un 3% de residuo de neumático

Dosificación de Hormigón para la elaboración de Adocretos con la adición del residuo de goma al 3 % de la Empresa Recapadora de Gomas.

Materiales utilizados.

- Cemento P – 35 procedente de Cienfuegos.
- Residuo de Goma
- Árido fino fracción (5 a 0.15) mm. Cantera 200 Mil
- Árido grueso fracción (10 a 5) mm, Cantera 200 Mil.
- Agua Potable. Acueducto Holguín.

Fecha de realización	Dosificación (kg/m ³)						Resistencia a la Compresión. (MPa)			
	Cemento (kg)	Residuo de goma al 3% (kg)	Árido fino (kg)	Árido grueso (kg)	Agua (L)	Asentamiento (cm)	28 días			
							1	2	3	x
16/09/2022	600	23	734	775	232	4.0				

Anexo 6: Dosificación para la elaboración de adocreto con sustitución de un 5% de residuo de neumático

Dosificación de Hormigón para la elaboración de Adocretos con la adición del residuo de goma al 5 % de la Empresa Recapadora de Gomas. |

Materiales utilizados.

- Cemento P – 35 procedente de Cienfuegos.
- Residuo de Goma
- Árido fino fracción (5 a 0.15) mm. Cantera 200 Mil
- Árido grueso fracción (10 a 5) mm, Cantera 200 Mil.
- Agua Potable. Acueducto Holguín.

Fecha de realización	Dosificación (kg/m ³)						Resistencia a la Compresión de las probetas cilíndricas. (MPa)			
	Cemento (kg)	Residuo de goma al 5% (kg)	Árido fino (kg)	Árido grueso (kg)	Agua (L)	Asentamiento (cm)	28 días			
							1	2	3	x
29/08/2022	600	38.0	719	775	233	6.0				

Anexo 7: Proceso de fabricación de los adcretos

