

FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES
CARRERA INGENIERÍA CIVIL

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

**PAVIMENTO ARTICULADO CON ÁRIDOS RECICLADOS DE
LA EMPRESA PREFABRICADOS GRAN PANEL HOLGUÍN**

Autor: Luis Antonio Uranga Pantoja

HOLGUÍN, 2022

FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES
CARRERA INGENIERÍA CIVIL

TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

PAVIMENTO ARTICULADO CON ÁRIDOS RECICLADOS DE
LA EMPRESA PREFABRICADOS GRAN PANEL HOLGUÍN

Autor: Luis Antonio Uranga Pantoja

Tutora: MSc. Ing. Eunices Soler Sánchez

Tutor: DrC. Arq. Ing. Frank Navarro Tamayo

HOLGUÍN, 2022

PENSAMIENTO

“Si no te gusta la carretera por la que caminas, comienza por construir una nueva”.

Dolly Parton.

DEDICATORIA

A mi abuelo Ángel Luis Duany Ginarte por inculcarme que siempre la mejor inversión del tiempo es el estudio.

A mi hermana Leticia de la Caridad Almenares Pantoja por cuidarme siempre desde el cielo.

A mi madre por apoyarme y formarme como un hombre honesto y trabajador.

A mi esposa e hijo por ser mi sostén y la razón por la que me supero en la vida.

AGRADECIMIENTOS

A toda mi familia por el apoyo que siempre me brindan.

*A los profesores que a lo largo de toda la carrera han contribuido a mi
formación profesional.*

Al ingeniero Carlos Aragón Suárez por su apoyo en todo momento.

*Al personal del Laboratorio de ENIA Holguín en especial a la MSc. Ing.
Solange Martínez R, quien sin su apoyo no hubiera logrado el resultado de mi
tesis.*

*En especial a mis dos tutores MSc. Ing. Eunices Soler Sánchez y DrC. Arq.
Ing. Frank Navarro Tamayo por todas las horas dedicadas y su colaboración.*

RESUMEN

La siguiente investigación se enfoca en darle protagonismo al pavimento articulado, método que, aunque antiguo, se emplea con muy poca frecuencia en Cuba a pesar de su probada eficiencia en cuanto a durabilidad y ahorro de recursos.

La situación actual de los pavimentos en Cuba, específicamente en la capa de rodadura, se encuentran en un estado de regular a malo, principalmente en las calles de los repartos de las zonas periféricas de la ciudad de Holguín. A partir de los beneficios que brinda el pavimento articulado y la problemática existente, esta investigación centra su objetivo en buscar una dosificación para adoquines con residuos de prefabricados que puedan soportar el tránsito que circulan por las vías de estos repartos. Para ello, se realizan probetas para sus respectivos análisis, tanto patrón como la sustitución de residuos de prefabricado por árido fino (50% y 100%). Se obtuvo que la resistencia a compresión de la mezcla patrón permite la circulación de un tráfico pesado 52 MPa. Para las mezclas con la sustitución del residuo se obtienen resistencias de 43 MPa (50% de residuos) y 41 MPa (100% de residuos) de manera que ambas permiten la circulación de tránsito vehicular ligero y medio, lo que demuestra que para las dosificaciones establecidas en este trabajo podría emplearse este tipo de adocreto para la construcción de la superficie de pavimentos articulado en la zona periférica de la ciudad de Holguín.

ABSTRAC

The following research focuses on giving prominence to the articulated pavement, a method that, although old, is used very infrequently in Cuba despite its proven efficiency in terms of durability and resource savings.

The current situation of the pavements in Cuba, specifically in the wearing course, is in a fair to bad state, mainly in the streets of the outlying areas of the city of Holguin. Based on the benefits offered by the articulated pavement and the existing problems, this research focused its objective on finding a dosage for pavers whit prefabricated waste that can withstand the traffic that circulates along the roads in these distributions. To do this, test tubes are made for their respective analyses, both standard and the substitution of prefabricated waste for fine aggregates (50% and 100%). It was found that the compressive strength of standard mixture allows the circulation of heavy traffic up to 52 MPa. For mixtures with waste substitution, resistances of 43 MPa (50% waste) and 41 MPa (100% waste) are obtained, so that both allow for the circulation of light and medium vehicular traffic, which shows that for the established dosages In this work, this type of adocreto could be used for the construction of the pavement surface in the peripheral areas of the city of Holguin.

INDICE:

| | |
|--|----|
| INTRODUCCIÓN..... | 10 |
| CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS TEORICOS RELATIVOS AL USO DEL PAVIMENTO. | |
| 1.1. Introducción al capítulo..... | 17 |
| 1.2. Antecedentes de la construcción de caminos y carreteras..... | 17 |
| 1.2.1 Definiciones, tipos y características de los pavimentos..... | 22 |
| 1.3. Descripción del adoquinado. Que se hace en el mundo y en Cuba..... | 28 |
| 1.4 Clasificación y caracterización del estado técnico de los viales en Cuba y Holguín..... | 31 |
| 1.5 Posibilidades de utilización del adoquinado en sustitución de otros tipos de pavimentos en la provincia Holguín..... | 34 |
| 1.6 Síntesis histórica del uso de los residuos reciclados en la construcción. Valoración de la posibilidad del empleo de los residuos prefabricado en la confección de adoquines para pavimento articulado en la provincia. | 36 |
| CAPÍTULO 2 DISEÑO DE DOSIFICACION PARA LA PRODUCCIÓN DE ADOQUINES CON ÁRIDO OBTENIDO A PARTIR DE RESIDUOS SÓLIDOS DE PREFABRICADO DE LA PLANTA HOLGUÍN. | |
| 2.1 Introducción al capítulo..... | 40 |
| 2.2 Parámetros técnicos que debe cumplir los pavimentos adoquinados segun la NC 998/2014 Adoquines de Hormigón (Adocretos). Especificaciones..... | 40 |
| 2.3 Normativas para los ensayos a los materiales componentes del adocreto.. | 42 |
| 2.3.1 Resultados de los ensayos a los materiales componentes..... | 44 |
| 2.4 Dosificaciones de los materiales a utilizar..... | 53 |
| 2.4.1 Especificaciones de los ensayos a realizar a los adoquines..... | 56 |

| | |
|---|-----------|
| 2.5 Valoración de la implementación del pavimento articulado con recursos locales como alternativa de solución al estado de las vías residenciales de los repartos de la ciudad de Holguín..... | 62 |
| Conclusiones del capítulo..... | 63 |
| CONCLUSIONES GENERALES..... | 64 |
| RECOMENDACIONES..... | 65 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 66 |
| ANEXOS. | |

INTRODUCCION

A lo largo de toda la historia, la ingeniería y los avances tecnológicos contribuyen significativamente al desarrollo de la humanidad, lo que permite, con el paso de los años, una notable mejora de la calidad de vida de las personas. En este sentido, la ingeniería civil, tiene un papel fundamental en la capacidad del ser humano para adaptarse en su entorno, gracias a la construcción de infraestructuras que facilitan el transporte y la comunicación, como elemento fundamental de la evolución histórica del hombre.

La explosión demográfica mundial no se detiene, la población sigue creciendo a ritmos desbordantes, multiplicándose con celeridad y acarreando consigo grandes problemáticas como la transportación, las comunicaciones y la contaminación ambiental. Muchas de estas barreras tienen que ver con la propia infraestructura disponible. Por ello es necesario la transformación de las ciudades tal y como se conoce en estos momentos.

Cuba, un país tercermundista, en vías de desarrollo, no se aleja de estas problemáticas. Con serios problemas económicos y un desarrollo desproporcional entre los medios de transporte y las carreteras, existe un desgaste de los pavimentos que a falta de un exigente programa de mantenimiento se degradan en demasía. Otro aspecto lo constituye el uso incorrecto de los diferentes tipos de pavimentos, pues el pavimento rígido es el adecuado para las vías urbanas donde la superficie de rodadura sufre un mayor desgaste por el frenado de los vehículos. Sin embargo por lo costoso que resulta ser esta técnica de pavimentación, es muy común ver en la isla el uso del pavimento flexible en todas las vías, colocándolo como recape encima de un pavimento rígido convirtiéndolo en un pavimento mixto, que donde existe zonas de paradas de buses se pueden percibir los deterioros producto a la fuerza de frenado. Por tales motivos cabe preguntarse: ¿por qué no emplear el pavimento articulado ante la situación de los viales en las zonas donde el estado técnico de las calles están de regular a malo teniendo en cuenta las

ventajas de esta técnica de pavimentación y que incluso países con un nivel de desarrollo elevado lo emplean en sus viales?

Con este trabajo investigativo, se busca trazar una alternativa de solución a estos inconvenientes, fundamentalmente se enfoca el estudio en barriadas y repartos, donde las vías no cuenten con un volumen de tránsito pesado y donde si es posible implementar el pavimento articulado, como forma eficiente y económica de solución. Para el caso particular del tema, con el aprovechamiento de los residuos de prefabricado generados por el ramo, que no son pocos y que necesariamente deben ser reutilizados, no solo por los beneficios económicos que revisten al país, sino también, por el impacto medioambiental que su eliminación significaría.

El avance de las carreteras en el país es muy reducido. En este aspecto, se debe señalar, que hoy en día, constituye un gran desafío para la dirección del país el encontrar un equilibrio entre la inversión para el desarrollo de nuevas infraestructuras con materiales tradicionales y alternativos, a costa del uso de los residuos generados por la industria de la construcción y el gasto para mantener en condiciones óptimas, las ya construidas, en concordancia con la Agenda 2030 directriz para el trabajo en cuanto a construcción en el país.

Con la llegada de la revolución, la red de caminos y carreteras del país tiene un aumento de la capacidad vial. En este periodo, se construyen cerca de 8 582 km de vías pavimentadas y 25 792 km de vías no pavimentadas, con un promedio anual de ejecución de 286 km y 859 km, respectivamente (Colectivo de autores, *La Arquitectura de la Revolución Cubana 1959-2018*, p- 348).

Después de más de medio siglo con pocas actividades de conservación, es evidente el deterioro significativo de las carreteras en Cuba, principalmente aquellas que no juegan un papel fundamental en la economía, por no constituir prioridad en cuanto a importancia y el volumen de medios de transporte que por ellas circula.

En el territorio nacional los trabajos de construcción y reparación de las obras viales, se hace cada vez más complejo, debido a que las mezclas asfálticas necesitan de betunes derivados del petróleo, un recurso de gran valor económico y casi inexistente en nuestro país, lo que hace que este trabajo de conservación

posea un elevado valor presupuestario. A esto se suma que las vías alternativas con un menor volumen de tránsito, son las más afectadas, reflejado en su estado de desgaste y mantenimiento, lo que impone la necesidad de buscar soluciones alternativas con variantes más acordes a nuestra realidad económica actual.

En el país, la reparación y el mantenimiento de las vías, están a cargo por dos entidades independientes y con responsabilidades varias, en primer lugar, se tiene el Centro Nacional de Vialidad (CNV), responsable de las vías de interés nacional y Servicios Comunales (SC) responsable de las vías de interés urbanas. El Centro Nacional de Vialidad centra todos sus esfuerzos en el control y supervisión de las vías a su cargo, esto explica los resultados técnicos-económicos que han logrado en los últimos años. Con respecto a SC, esta entidad, como inversionista, no posee total autonomía de decisión para definir a que vías será asignado el presupuesto definido para realizar estos trabajos pues está supeditada a las orientaciones que emiten el Poder Popular. De esta manera, en la mayoría de las ocasiones, las calles que se reparan tienden a ser las mismas, lo que genera un consumo irracional de recursos.

Ante esta problemática se sitúa el empleo del pavimento articulado como una opción conveniente para el mejoramiento vial del territorio y de forma general en el país. Las ventajas en cuanto a su durabilidad y necesidad de mantenimiento lo confirman como un pavimento opcional para su empleo en carreteras con un menor flujo vehicular fundamentalmente, además de sus amplias posibilidades de uso estético en aéreas peatonales.

La provincia d Holguín cuenta con una amplia gama de residuos de diferentes industrias que pueden ser destinados para la confección de adoquines y adocretos. Lo convierte su producción en una línea de desarrollo sostenible y con buenos resultados económicos, sin contar el beneficio medioambiental que constituiría el empleo de estos residuos.

Los adoquines, máximo exponente del pavimento articulado, llevan usándose desde hace varios siglos. Los primeros que se emplearse fueron: de piedra, guijarros de río, que, junto con una capa de arena y cal, quedan sellados, formando así, las primeras carreteras pavimentadas de la historia de la

humanidad. Más tarde, comienzan a utilizarse los de madera, con el objetivo de disminuir el ruido que provocaban las carretas y las herraduras de los animales al pisar el adoquinado. El tercer tipo de adoquín es el de ladrillo cerámico, que lleva en uso desde hace 5.000 años. En la antigua Mesopotamia ya se usaban para pavimentar las calles y caminos. Eran colocados sobre una capa de arena que sellaba las juntas, aunque el rápido desgaste de su superficie hizo que quedasen obsoletos. Por último, llegaron los adoquines de hormigón. Estos comienzan a fabricarse a principios del siglo XIX y revolucionaron la industria. Hoy los adocretos son parte permanente de los pavimentos en ciudades de toda Europa del Este y su demanda aumenta en los países de América Latina, ejemplos como Ecuador, Colombia, Brasil y México así lo evidencian.

Los pavimentos articulados en Cuba, son de uso muy escaso, tal vez, porque con la llegada de la Revolución eran menos empleados en detrimento del pavimento flexible o no se veía la necesidad de hacer una caracterización de sus beneficios a largo plazo. Sin embargo, este tipo de pavimento es utilizado en las vías principales de las grandes ciudades, así como, en las zonas urbanas y rurales del mundo, lo que hace evidente la necesidad de investigar en este tema para su aplicación.

En la actualidad los adoquines y adocretos, tienen un uso muy escaso en el país, limitándose su empleo mayormente a las áreas turísticas, de parqueo y en los cascos históricos de urbanizaciones antiguas, donde por su valor patrimonial han perdurado. Cítense los casos de ciudades como La Habana, Camagüey y Trinidad, lugares en donde queda demostrada la efectividad y perdurabilidad de los mismos.

Dentro de sus ventajas, los adoquines son elementos que tienen una fácil colocación, se puede reemplazar en caso de deterioro y es notable su fácil aparejo y confinamiento. Lo que conlleva a considerar la pavimentación articulada como una alternativa económica, para solucionar todas las deficiencias en cuanto a viales en una ciudad, que se debate como centro poblacional en aumento y ante una creciente emigración desde zonas rurales y suburbanas.

Con el objetivo de darle una solución viable, próxima a la realidad económica del país y atender el deficiente estado de las vías urbanas de la ciudad, cabe preguntarse: ¿Cómo mejorar el estado de las vías, con la implementación del pavimento articulado utilizando el árido reciclado de la planta Gran Panel Holguín?; lo que convierte a esta interrogante en el **problema de investigación** en el que se enmarca el presente trabajo. Para darle solución al mismo se plantea el siguiente **objeto de investigación**: el pavimento articulado. Se puede inferir como **campo de la investigación**: pavimento articulado con áridos reciclados de la empresa de prefabricados Gran Panel Holguín.

Para lo cual, se define como **objetivo general**: analizar dosificaciones para la confección de adocretos con áridos reciclados de la planta de prefabricados Gran Panel Holguín, como alternativa al mejoramiento del estado actual de las vías urbanas de los repartos residenciales de la zona periférica de la ciudad.

Derivado de este, se proponen los siguientes **objetivos específicos**:

- 1- Elaborar el marco teórico referencial concerniente a las características del pavimento articulado con el uso de residuos de prefabricados.
- 2- Caracterizar el árido obtenido mediante la trituración de residuos prefabricados en la planta Gran Panel Holguín para sustituir el árido fino natural durante la confección de los adoquines.
- 3- Proponer una dosificación para la producción de pavimentos articulados, con el empleo de áridos reciclados de la planta Gran Panel Holguín.
- 4- Ensayar las propuestas de dosificación mediante estudios de laboratorio y determinar su eficacia.

Por todo lo anterior, se declara la siguiente **hipótesis de la investigación**: si se realizan estudios de caracterización del árido reciclado de prefabricado de la planta Gran Panel Holguín, se podrá proponer una dosificación para la confección de adocretos que permita la pavimentación articulada, como solución al alto grado de deterioro en que se encuentran las vías de los repartos residenciales de las zonas periféricas de la ciudad de Holguín.

Para el desarrollo de este trabajo se utilizan los siguientes métodos de investigación:

Métodos teóricos:

- Análisis – síntesis: para caracterizar la implementación del pavimento articulado en la ciudad de Holguín aprovechando el empleo de recursos de desechos prefabricados, como opción económica y de impacto medioambiental enfocado en la conservación vial.
- Histórico – lógico: para la determinar de los antecedentes históricos que han caracterizado el empleo del pavimento articulado en el mundo, nuestro país y específicamente en Holguín.
- Sistémico estructural funcional: para concebir la estructura de un algoritmo que permita implementar el uso generalizado del pavimento articulado como medida de mejoramiento al estado de las vías urbanas y el uso de residuos prefabricados para su confección.

Métodos empíricos:

- Observación científica: para la ejecución de los procesos de caracterización empírica de la conservación vial.
- Revisión de documentos: para la caracterización histórica-teórico-metodológica y empírica del objeto y el campo de la investigación.
- Consulta a especialistas: para la valoración de la pertinencia de los resultados obtenidos.

Métodos estadísticos:

- Métodos estadísticos matemáticos: posibilitar la comparación económica del uso del pavimento articulado con otros tipos de pavimentos en aras de lograr una conservación vial más eficaz.
- Estadísticos descriptivos: posibilitar la gestión y recepción de los datos para una mejor interpretación y representación de las informaciones.

Los **aportes** de esta investigación radican fundamentalmente en diseñar una propuesta de dosificación, para la confección de adoquines, confeccionados con elementos locales. En específicos residuos producidos por la planta de prefabricado Gran Panel Holguín, en función de mejorar el estado actual de las vías urbanas y minimizar el impacto medioambiental de la acumulación de estos desechos.

El presente trabajo tiene gran **actualidad**, ya que da solución a una situación apremiante e inmediata, en cuanto a mejoramiento de la red de carreteras en la ciudad, apoyando el uso del pavimento articulado como solución ante la imposibilidad de mantenimiento a las obras de pavimento flexible por su elevado costo. Además, responde a una de las líneas de investigación que desarrolla el Departamento de Construcciones de la Universidad de Holguín: Innovación para el desarrollo sostenible. También 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.

El trabajo de diploma se estructura en: introducción y dos capítulos:

En el primer capítulo se hace una caracterización histórica y teórico - metodológica de la utilización del pavimento articulado, específicamente en la fabricación de adoquines y adocretos. En el segundo se lleva a cabo la caracterización del árido obtenido del residuo prefabricado, se elaboran las muestras de acuerdo con las dosificaciones y se ensayan las especificaciones para comprobar las resistencias de los adocreto. Finalmente se arriban a conclusiones generales, recomendaciones, bibliografías y los anexos que se utilizan para enriquecer la investigación.

Para poder desarrollar los aspectos mencionados anteriormente, se realiza un estudio detallado de la información que aparece y está al alcance de las entidades del territorio, lo que enriquece la componente investigativa del mismo y la cual queda refrendada en los siguientes acápite de cada capítulo que se desarrolla.

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS TEORICOS RELATIVOS AL PAVIMENTO.

1.1 Introducción

Aborda las temáticas, referente a los antecedentes históricos del uso del adoquinado como uno de los métodos más antiguos y eficaces a lo largo de la historia en la ingeniería de vías. Presenta todo lo concerniente a la conceptualización en cuanto a características y diferentes tipos de pavimentos, así como las ventajas que brindan cada uno de estos. Analiza el desarrollo alcanzado en el mundo en el empleo del pavimento articulado y su posible implementación en Cuba partiendo del análisis del estado actual de la infraestructura vial. Se exponen los parámetros técnicos que deben de cumplir cada tipo de pavimentación en dependencia del tipo de vía y de las cargas a soportar e introduce una comparación de cual método se adapta a nuestras necesidades como mejor opción. Por último, se realiza una caracterización de la planta de prefabricado de la localidad, específicamente de los residuos que se generan en la misma y que pueden ser empleado para la conformación de adocretos.

1.2 Antecedentes de la construcción de caminos y carreteras

Desde el propio nacimiento de la humanidad la comunicación constituye una necesidad insoslayable para los seres humanos, por lo cual, en el devenir histórico los mismos fueron desarrollando diversos métodos para la construcción de caminos en pos del desarrollo. En la evolución del hombre y con el nacimiento de las grandes civilizaciones de la historia antigua, las calzadas o caminos fueron los primeros signos de progreso.

Con el crecimiento de las poblaciones y el desarrollo del transporte se hace necesaria la mejora del trazado y la superficie de los caminos que posibilitan la comunicación y el comercio, de esta manera aparece el concepto de carreteras. Durante este período, los caminos están compuestos de veredas peatonales, en

donde las tribus nómadas se desplazan a pie, en busca de alimentos de forma general. Un ejemplo de estos primeros caminos que aún existen es el camino de Ickenield en la actual Inglaterra (figura 1.1), donde tanto humanos como animales usaban el mismo para desplazarse (Tixce.2019).



Fig. 1.1 Vista actual del Camino de Ickenield. (Tixce.2019).

Un avance significativo, lo constituye la invención de la rueda, ya que, con esta, vino aparejado el carruaje de tracción animal. Ante este desarrollo las vías tuvieron que ser acondicionadas para el uso de este nuevo tipo de transporte. Los primeros constructores de carretera fueron la civilización Mesopotámica entre los años 4000 y 3500 a.c, los arqueólogos han conseguido encontrar restos de calles pavimentadas en la antigua ciudad de Ur. En el año 3000 a.c se comenzaron a utilizar los ladrillos para construir las calles en la India. Ya hacia el 500 a.c, el rey Darío de Persia ordenó la construcción del Camino Real de Persia convirtiéndose este en una importante vía de de comunicación de unos 2957 km. Otra carretera importante de la época fue la llamada Ruta de la Seda construida por los chinos en el siglo XI a.c la cual abarcaba los 3200 km aproximadamente. (Tixce.2019).

Con el nacimiento del vasto Imperio Romano el desarrollo de las vías se elevan a un máximo nivel, ya que a partir del 312 a.c estos comienzan la construcción de la más importante red de calzadas con el fin en un principio de abastecer oportunamente las unidades de su gran ejército, pero que también contribuyó a la unión entre el continente europeo con el norte de África. Este sistema de carreteras partía desde Roma y abarcaba unos 80 000 km compuestos por 29 calzadas que conectaban todas las regiones conquistadas incluyendo la Gran Bretaña. Las mismas tenían un espesor entre 90 a 120 cm y se componían de

tres capas de piedras argamasadas cubierta por una capa de bloques de piedra en su nivel superior. (Tixce.2019).

En esta etapa del desarrollo de las carreteras y caminos jugó un papel fundamental el uso del adoquín de piedra o empedrado como principal forma de construcción de las vías.



Fig. 1.2 Construcción de carreteras en la antigüedad. (Pinters.)

La Vía Apia fue una de las más importantes calzadas de la antigua Roma, que unía Roma con Brindisi, el más importante puerto comercial con el Mediterráneo Oriental y Oriente Medio. Su longitud es de 540 km de longitud y aproximadamente 8m de anchura estaba calculada para el paso simultáneo de dos carros viajando en sentido contrario. La calzada estaba realizada a base de piedra basáltica de forma poligonal y estaba flanqueada a ambos lados por una acera de aproximadamente un metro de ancho.



Fig. 1.3 Vía Apia actualmente. (Tixce.2019):

Con el desarrollo de los carros de tracción animal, también se buscó una superficie de rodamiento continua que permitiera un tránsito más cómodo; para lograr esto se abandonó la práctica de colocar las piedras en estado natural y se

les comenzó a tallar en forma de bloques para obtener un mejor ajuste entre los elementos. Esta simple acción dio lugar al surgimiento del primer pavimento de adoquines, pues la palabra española adoquín proviene del árabe «ad-dukkân», que quiere decir «piedra escuadrada o a escuadra». (Wikipedia.)

Con la urbanización en el siglo XIX y la aparición del automóvil de combustión interna a finales del mismo siglo, no resultaba económico ni práctico tallar una gran cantidad de piedras que requería el ritmo de pavimentación. Por esto, los adoquines de piedra comenzaron a sustituirse con los de arcilla recocida y por bloques de madera, ya en 1836 se desarrolla la construcción de pavimentos asfálticos y en 1847 los pavimentos de concreto. Estos últimos de uso corriente y predominante en la actualidad. (Montiel.2017).

Posterior a la II Guerra Mundial, en Alemania y los Países Bajos se reemplazó el adoquín de arcilla por adoquines de concreto fabricados en moldes individuales, mostrando grandes ventajas sobre los fabricados con arcilla, sobre todo en la resistencia a la abrasión y por ende a la durabilidad de los pavimentos.

La industrialización de los adoquines de concreto nace con la aparición de las Normas de Producto Alemanas en 1964 y en los Países Bajos en 1966. Estas se basaron en la producción uniforme y controlada con diversos grados de automatización y controles de calidad, impulsados también por el desarrollo de equipos de fabricación en Alemania. Dichas tecnologías rápidamente fueron introducidas a otros países como Reino Unido, Sudáfrica, Australia, Nueva Zelanda y Japón a finales de los años 60 e inicio de los 70, mismos que han sido pioneros en el desarrollo y la investigación de los pavimentos de adoquín. (Montiel.2017).

En este período también se introdujo este tipo de pavimentos en el Continente Americano. Costa Rica introdujo el producto por la experiencia del uso de este material en Nicaragua.

Con la llegada del siglo XXI el desarrollo del empleo del pavimento articulado ha ido en ascenso en todo el mundo principalmente en zonas turísticas, parques,

paseos, aéreas recreativas y vías secundarias, en contraposición en nuestro país está casi extinto este económico método que tantos beneficios nos podría brindar.

En Cuba el adoquín o pavimento articulado ha estado vinculado a la historia del desarrollo urbanístico principalmente en las ciudades con un legado patrimonial. En las villas fundadas por el colonialismo español se empleó la pavimentación con el empleo de piedras de gran dureza conocidas como chinas pelonas. Así quedaron pavimentadas la mayoría de las vías de La Habana, Trinidad y Puerto Príncipe. (Ecured 2018).

En la Habana destaca la Calle de Madera ubicada en la Plaza de Armas construida por el Capitán General de isla allá por el siglo XIX y que constituyó un experimento en cuanto a pavimentación, que al ser muy costoso y poco duradero no se implementó, quedando solo esta como testimonio de la historia, trabajo que estuvo a cargo del ingeniero Evaristo Carrillo.



Fig. 1.4 Calle Tacón o de madera. (Ecured, 2018).

A partir de la década del 80 del siglo pasado con el comienzo de la obra restauradora de la Oficina del Historiador, esta calle de adoquines de madera fue redescubierta bajo varias capas de pavimento, tomándose la decisión de restaurarla como ejemplo singular y único de su tipo (Ecured .2018).

Hacia la primera mitad del siglo XIX en la ciudad de Camagüey otrora villa del Puerto de Príncipe las calles y zonas céntricas fueron pavimentadas con ladrillo y piedras. Convirtiéndose en la segunda ciudad de la isla después de la capital con 18 km de adoquines. Al correr de los años las obras de acueducto, el

alcantarillado y el trazado de las vías del tranvía terminaron por deteriorar aquel pavimento original que en algunos lugares no difieren de los que aun se observan en Trinidad.

En la ciudad de Camagüey según la prensa de la época, los primeros adoquines se plantaron a las 9 a.m del día 3 de julio de 1921 en lo que sería ya un trabajo de pavimentación mucho más ambicioso y que contaba con la experiencia de este procedimiento en La Habana donde ya en el 1900 se había realizado. Los adoquines utilizados procedían de los volcanes de Noruega con un valor promedio de 18 centavos cada uno y que entraron a Cuba por el Puerto de Nuevitas (Ecured, 2018).



Fig.1.5 Adoquines de la Ciudad de Camagüey. (Ecured 2018).

1.2.1 Definiciones, características generales, clasificación y sus características.

Las estructuras de las carreteras se subdividen en:

- Sub-estructura: es hasta la parte de la subrasante, que puede ser de terreno natural en zona de corte o de terreno de préstamo en la parte de terraplén;
- Superestructura: es un segmento de capa estratificadas apoyadas sobre la subrasante, que es lo que se conoce como pavimento. Su costo de construcción puede alcanzar entre el 40 y el 60 % del costo total de la vía.

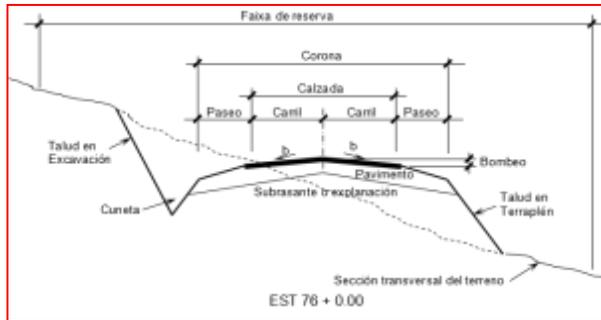


Fig.1.6 Elementos de una carretera, (Montejo, 2002).

Definición de pavimento

Según diferentes autores, el pavimento (superestructura) lo definen de la siguiente manera:

Según (Montejo, 2002 pág.1).un pavimento está constituido por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la subrasante de una vía obtenida por el movimiento de tierras en el proceso de exploración y que han de resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmiten durante el período para el cual fue diseñada la estructura del pavimento.

Oros conceptos pueden ser:

(Enciclopedia Wikipedia): forma parte del firme y es la capa constituida por uno o más materiales que se colocan sobre el terreno natural o nivelado, para aumentar su resistencia y servir para la circulación de personas o vehículos. Entre los materiales utilizados en la pavimentación urbana, industrial o vial están los suelos con mayor capacidad de soporte, los materiales rocosos, el hormigón y las mezclas asfálticas.

(Diccionario Español. Oxford Lenguajes.): capa lisa, dura y resistente de asfalto, cemento, madera, adoquines u otros materiales con que se recubre el suelo para que este firme y llano.

Los pavimentos deben reunir las siguientes características generales:

- Ser resistente a la acción de las cargas impuestas por el tránsito.
- Ser resistente ante los agentes de intemperismo.

- Presentar una textura superficial adaptada a las velocidades previstas de circulación de los vehículos, por cuanto ella tiene una decisiva influencia en la seguridad vial. Además, debe ser resistente al desgaste producido por el efecto abrasivo de las llantas de los vehículos.
- Debe presentar una regularidad superficial, tanto transversal como longitudinal, que permitan una adecuada comodidad a los usuarios en función de las longitudes de onda de las deformaciones y de la velocidad de circulación.
- Debe ser durable.
- Presentar condiciones adecuadas respecto al drenaje.

- El ruido de rodadura, en el interior de los vehículos que afectan al usuario, así como en el exterior, que influye en el entorno, debe ser adecuadamente moderado.
- Deben ser económico.
- Deben poseer el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramientos, y ofrecer una adecuada seguridad al tránsito.

Tipos de pavimentos y características

Los pavimentos se clasifican en: flexibles, rígidos, semi-rígidos y articulados.

Pavimento flexible

Este tipo de pavimento está formado por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la sub-base. No obstante, puede prescindirse de cualquiera de estas capas dependiendo de las necesidades particulares de cada obra.



Fig.1.7 Pavimento flexible (Google).

Los pavimentos 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. Se emplean como método fundamental de construcción de carreteras, generalmente en vías rápidas donde la circulación vial y los factores climáticos lo permitan.

Capas que lo componen:

- Rodadura: un pavimento flexible puede construirse con un hormigón bituminoso, mezclas de arena y betún, o mediante tratamientos superficiales con riegos bituminosos. Está sometida a los esfuerzos máximos y condiciones más severas impuestas por el clima y el tráfico.
- Base: se compone generalmente de áridos, que han sido tratados o no con cemento portland, cal, asfalto u otros agentes estabilizantes. Esta capa tiene como principal función, la de soportar las cargas aplicadas y distribuir estas cargas a la sub-base o al terreno.
- sub-base: se compone de materiales menor calidad y costo que los empleados en la capa de base. Se componen de materiales estabilizados o no, o de terreno estabilizado. Las sub-bases transmiten cargas al terreno y en algunos casos pueden actuar de colaborador del drenaje de las aguas del subsuelo y para prevenir la acción destructiva de las heladas.

Pavimento semi-rígido



Fig.1.8 Pavimento semi-rígido (Google).

Aunque este tipo de pavimentos guarda básicamente la misma estructura de un pavimento flexible, una de sus capas se encuentra rigidizada artificialmente con un aditivo que puede ser: asfalto, emulsión, cemento, cal y químicos. El empleo de estos aditivos tiene la finalidad básica de corregir o modificar las propiedades mecánicas de los materiales locales que no son aptos para la construcción de las capas del pavimento, teniendo en cuenta que los adecuados se encuentran a distancias tales que encarecerían notablemente los costos de construcción.

Pavimento rígido:



Fig.1.9 Pavimento rígido. (Google).

Están constituidos por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la subrasante o sobre una capa, de material seleccionado, la cual se denomina subbase del pavimento rígido. Debido a la alta rigidez del concreto hidráulico, así como de su elevado coeficiente de elasticidad, la distribución de los esfuerzos se produce en una zona muy amplia. Además, como el concreto es capaz de resistir, en cierto grado, esfuerzos a la tensión, el comportamiento de un pavimento rígido

es suficientemente satisfactorio aun cuando existan zonas débiles en la subrasante.

Se emplea fundamentalmente en aéreas urbanas, donde la superficie pavimentada sufre un constante desgaste, por el habitual frenado de los neumáticos

Pavimento articulado



Fig.1.10 Pavimento articulado. (Google).

Los pavimentos articulados están compuestos por una capa de rodadura que está elaborada con bloques de hormigón prefabricado, llamados adoquines, de espesor uniforme e iguales entre sí. Esta puede ir sobre una capa delgada de arena la cual, a su vez, se apoya sobre una capa de base granular o directamente sobre la subrasante, dependiendo de la calidad de ésta y de la magnitud y frecuencia de las cargas que circularan por dicho pavimento (Montejo 2002).

Durante la compactación, parte de la arena asciende entre las juntas, con lo cual colabora con la trabazón mecánica entre los adoquines. Las capas de base y sub-base disipan las tensiones producidas por las cargas de tránsito transmitidas desde la carpeta de rodadura, de tal forma que en la subrasante no se superen las tensiones admisibles. Otro aspecto particular de los pavimentos de adoquines, es que la trabazón mecánica aumenta con la aplicación de cargas verticales hasta llegar a un nivel de equilibrio. Este se alcanza aproximadamente después de 10.000 repeticiones de carga de un eje estándar (ejes equivalentes acumulados).

Capas que componen el pavimento articulado:

La base: es la capa colocada entre la subrasante y la capa de rodadura. Esta capa le da mayor espesor y capacidad estructural al pavimento. Puede estar compuesta por dos o más capas de materiales seleccionados.

Capa de arena: es una capa de poco espesor, de arena gruesa y limpia que se coloca directamente sobre la base; sirve de asiento a los adoquines y como filtro para el agua que eventualmente pueda penetrar por las juntas entre estos.

Adoquines: deben tener una resistencia adecuada para soportar las cargas del tránsito, y en especial, el desgaste producido por éste.

Sello de arena: está constituido por arena fina que se coloca como llenante de las juntas entre los adoquines; sirve como sello de las mismas y contribuye al funcionamiento, como un todo, de los elementos de la capa de rodadura.

Se utiliza en vías de tránsito ligero o medio teniendo en cuenta el diseño del adoquín y su resistencia a la compresión. Además se emplea en aéreas peatonales, de parque o y turísticas.

1.3 Descripción del adoquinado. ¿Qué se hace en el mundo y en Cuba?

Los adoquines están presentes en la ingeniería de pavimentos desde la época del Imperio Romano, como ejemplos resalta las calzadas romanas y la ya mencionada vía Apia. Pero no es sino, hasta la década de 1970, en donde comienza a masificarse el uso de adoquines de hormigón en estacionamientos, calzadas vehiculares, peatonales y espacios públicos, principalmente en toda Europa del Este y algunos países sudamericanos como Argentina, Colombia y Chile. Esto llevó a que diversos países iniciaran investigaciones en busca de sus propios métodos de diseño de pavimentos de adoquines. Entre ellos: Holanda, Australia y el Reino Unido. En la actualidad existen alrededor de 12 métodos de diseño, algunos de estos son:

En Australia, Morrish, (1980) crea un método donde emplea curvas de diseño calibrado para condiciones locales. Considera cinco niveles de tránsito para calzada vehicular (A, B, C, D, E) y dos niveles para tránsito industrial (X e Y). Cada nivel tiene asociado una curva de diseño a partir de un sistema de graficas.

Miura, 1984: adaptó el método de diseño de pavimentos flexibles de Japón, para diseñar pavimentos de adoquines a través del coeficiente de resistencia relativa de la capa de adoquines. Por tanto, asume que el comportamiento de los pavimentos de adoquines es similar al de los pavimentos flexibles.

Houben (1986) plantea que las deformaciones elásticas mantienen un nivel constante mientras se desarrolla la trabazón mecánica, hasta que alcanzan su nivel de equilibrio, lo cual ocurre cuando los ejes equivalentes acumulados alcanzan un valor crítico. Luego las deformaciones elásticas disminuyen de manera progresiva. Asimismo, las deformaciones permanentes aumentan a una tasa de acumulación decreciente.

Rada (1990) al igual que el método japonés, este método asume que un pavimento de adoquines tiene un comportamiento similar al de un pavimento flexible. Por tanto, asume que la pérdida de serviciabilidad del pavimento de adoquín se puede asimilar a la de un pavimento flexible.

Silfwerbrand & Wäppling (2000) propone una progresión del módulo de elasticidad de la capa desde 1.500 MPa hasta 6.000 MPa, valor que se alcanza con 10.000 EEA.

Ryntathiang (2006) este método considera el pavimento de adoquines como un sistema multicapa elástico. Cada capa de espesor (h_i) se caracteriza a través del módulo de elasticidad (E_i) y del módulo de Poisson. Mediante ensayos de placa de carga, estimaron el módulo de elasticidad de la capa de adoquines en 1.500 MPa. El módulo de elasticidad de las capas de base y sub-base granulares la estiman aplicando las Ec. 3, en las cuales primero se relaciona el módulo de elasticidad de la capa superior e inferior E_{i+1} y E_i (en MPa) con el espesor de la capa inferior (h , en mm).

Los países europeos, se toman muy en serio el tema de la pavimentación con adoquines, tal es la importancia que le dan a este sistema, que han optado por utilizar y desarrollar máquinas especializadas para la colocación e instalación, reduciendo con ello los tiempos de ejecución de los trabajos e incrementando el área a pavimentar. Alemania impulsó en la década del 70's, del pasado siglo, el

desarrollo de las máquinas vibro-compresoras para elaborar en serie piezas de concreto, con lo cual se industrializó la producción de los adoquines, popularizándolos por todo el mundo. Actualmente los adoquines se fabrican por medio de este mecanismo y en grandes lotes, además, cuentan con una amplia diversidad de usos que tienen para pavimentos, incluyendo desde una simple entrada de vehículos, calles, caminos secundarios, paseos peatonales y plazas, hasta pisos de puertos en donde el tránsito peatonal es demandante. Por ello, conviene resaltar las bondades de este sistema a los arquitectos, proyectistas y diseñadores en cuanto a las ventajas de tipo estructural y estético, que permiten ampliar sus posibilidades de uso.

En todo el mundo se fabrican adoquines con disímiles materiales a partir de recursos locales o nacionales, a partir de los residuos de diferentes ramas de la industria y la construcción este tipo de pavimentación minimiza el impacto ambiental mediante el empleo de estos para su confección. Cabe mencionar ejemplos de adoquines a partir de los residuos de plástico, polietileno de alta densidad, neumáticos, fibras de vidrio, cerámica y residuos de prefabricado como los más generalizados. En América específicamente en Perú, país que cuenta con uso sostenido de este pavimento, se ha experimentado con el garbancillo, un árido procedente de la trituración de áridos calizos sin arcilla, obteniéndose excelentes resultados. En prácticamente todo el continente americano son incontables los ejemplos de cómo la producción local satisface la demanda en cuanto a pavimentos de las zonas alejadas con la implementación del pavimento articulado. Colombia, Perú, Ecuador, Argentina, Nicaragua son países donde este tipo de pavimento es protagonista como solución a las necesidades urbanísticas.

En nuestro país el adoquín no ha tomado tanta relevancia como lo son otros sistemas de pavimentación, quizás condicionado porque antes del derrumbe de la URSS se ejecutaban la mayoría de las obras viales con empleo de pavimento flexible. Esto trajo como consecuencia que el pavimento articulado quedara relegado solo a trabajos en ciudades patrimoniales que contaban con este tipo de vías, además de no contar con bases para el desarrollo a gran escala, ni maquinarias para su confección y posterior instalación. Para entonces la

colocación de los adoquines aún se hacía de forma manual, lo que lo convierte en un sistema con tiempos de ejecución más prolongados en comparación con otros, además de que la calidad de las piezas en muchas ocasiones era deficiente y mano de obra muy deficiente. Actualmente en Cuba se trabaja con el empleo de la Norma NC 998:2014 Adocretos, que recoge todo lo concerniente al diseño, fabricación e instalación de los adoquines.

1.4 Clasificación y caracterización del estado técnico de los viales en Cuba y Holguín

En el año 1989 el MICONS producía cerca de 2 200 000 toneladas de mezclas asfálticas, con lo cual se podía dar mantenimiento a más de 4400 km de carreteras anualmente, en acción de bacheo, recape, y resane. Luego del derrumbe del campo socialista jamás se han podido alcanzar tales niveles de producción de asfalto (Galiano Ramírez 2012). Aunque esta resalta como la causa principal de la falta de mantenimiento de las carreteras cubanas, hay otros motivos no despreciables.

Según la última legislación emitida en el año 2018 las administraciones de las vías deberán ser atendidas en el siguiente orden, al Ministerio de Transporte las vías nacionales, al Consejo de la Administración Provincial del Poder Popular, las provinciales, al Consejo de la Administración Municipal, las municipales y a las entidades determinadas las vías de interés específico. Con relación a esto, si bien al finalizar el año 2018 habían recibido mantenimiento más de 9800 km de vías de interés nacional, tales cifras no satisfacen las necesidades de la isla. A partir del año 2019 este programa se afecta por la incidencia de la pandemia de Covid-19 en el país. (Cuba debate 12.2019)

El código de seguridad vial (Ley 109 de agosto del 2010, que entro en vigor en 16 de marzo del 2011) plantea en su sección segunda, artículo 11 que el autorizado a realizar obras en la vía pública está obligado a restablecerla a su estado original y que los consejos provinciales y municipales del Poder Popular supervisan la ejecución de las obras y garantizan la necesaria coordinación entre ejecutores de los trabajos de viabilidad y labores en las redes soterradas. Sin embargo, son incontables los ejemplos de malas prácticas y descoordinación.

En Cuba según los datos ofrecidos por el Ministerio de Transporte (MITRANS) para inicio del 2020, la red vial de la Isla abarcaba unos 72 541 km aproximadamente. De ese total, el 24% se evalúa en buen estado, el 37% se encontraba en condiciones regulares y el 39 % en mal estado. O sea 7,6 de cada 10 calles están en regular o mal estado. En el año 2011 a manera de comparación el 58 % de las vías de interés nacional estaban en buen estado, lo que evidencia la degradación de estas en tan solo menos de una década. (Periódico Granma 5.12.2019).

En un análisis que se realiza por el Ministerio de Transporte (MITRANS) y el Ministerio de la Construcción, se confirma que, en septiembre del pasado año 2021 de un total de 29 inversiones de gran envergadura a ejecutarse, 15 reportaban atrasos por carencia tales como áridos, cemento, acero, líquidos asfálticos y combustibles y por problemas de capacidad constructiva y afectaciones climatológicas.

Con respecto al territorio holguinero, el cual posee una extensa red de carreteras, muchas de las cuales son de interés nacional. Para su beneficio en el año 2020 fueron empleados 30.2 millones de pesos aprobados por el presupuesto de inversiones del Estado, a los que sumaron 18.7 millones de pesos para acciones de mantenimiento corriente (Veloz Plasencia. GRANMA.10.3. 21).

En este contexto se ejecutaron trabajos de ampliación de la Carretera Central – aun en ejecución- en el tramo que atraviesa la ciudad, también fue intervenida la carretera Banes-Nipe, en la cual se reconstruyó la base y fueron pavimentadas 17 km de los 35.6 con que cuenta la vía. Se ejecutaron trabajos en la carretera Moa-Baracoa en los tramos críticos. Se construye la vía desde Antilla hasta la península del Ramón de Antilla y la carretera Banes-Cortadera por solo citar ejemplos.

A pesar de todos lo expuesto se puede decir que la ampliación de la infraestructura vial es insuficiente. Carencias en cuanto a maquinarias para ejecutar el movimiento de tierra, medios de transporte, de colocación de mezclas asfálticas y fuerza de trabajo especializada, son aspectos que atentan contra la buena ejecución de los trabajos. Para completar, la provincia está reconocida

entre las seis con un mayor índice de accidentalidad en el país aspecto condicionado también por el deterioro de su infraestructura vial.

En el año 2014, las principales calles urbanas de la ciudad de Holguín, que en su estado inicial eran de pavimento rígido, recibieron trabajos de conservación general, pero al ser este tipo de pavimento muy costoso, se decide realizarlo de forma mixta, con una capa de mezclas asfálticas, solución que es reiterativa y poco eficiente en el entorno urbano de la ciudad. La misma no es adecuada por la frecuencia de la acción de frenado, producida fundamentalmente por los ómnibus, dando paso a la aparición de deterioros en la capa de rodadura visiblemente reconocibles.

De igual manera las vías secundarias de gran demanda vehicular y las calles urbanas citas en barriadas y repartos son excluidas de la planificación de los trabajos de rehabilitación anual. En el caso particular de estas vías se encuentran en un deplorable estado, las mismas han sido dañadas por trabajos arbitrarios de acueducto y alcantarillados, y las entidades encargadas no ocupan de reparan los daños acometidos en el pavimento. Las aguas albañales y el arrastre del agua pluviales aumentan el daño ocasionado lo que convierte la situación en insostenible.



Fig.1.11 Deterioro de las vías en la ciudad de Holguín.

En la ciudad de Holguín, las vías urbanas son administradas por la empresa de Servicios Comunes subordinada a los órganos del Poder Popular a los diferentes niveles. Los trabajos de reparación son efectuados en aquellas vías de mayor importancia, realizando reiterados mantenimientos en cortos plazos, debido a que

la empresa posee diversos objetos sociales o en ocasiones no dispone de los recursos necesarios. Esto conlleva a que los esfuerzos requeridos para mantener en buen estado los emplazamientos viales se vean afectados. Además, la empresa como inversionista no posee total autonomía de decisión para definir a que vías será asignado el presupuesto ideado para estos trabajos. Es el Consejo de la Administración Municipal y Provincial del Poder Popular de la provincia, quien tiene la potestad para decidir cuáles serán las vías a intervenir dentro de las 1.6 propuestas que plantean la empresa. De esta manera, en la mayoría de las ocasiones las calles que se han reparado tienden a ser las mismas, lo que genera un consumo irracional de recursos. Además, deja sin intervenir otras calles, que en un futuro no muy lejano demandarán mayor inversión, provocado en gran medida por decisiones mal fundamentadas y no tener en consideración el criterio de especialistas.

1.5 Posibilidades de utilización del adoquinado en sustitución de otros tipos de pavimentos en la provincia Holguín

Ante el deplorable estado que sufren la gran mayoría de las vías o arterias secundarias de la provincia, se hace necesario implementar métodos alternativos como el empleo del adoquinado. Ya en los países del área el uso del pavimento articulado ha mostrado eficacia, por lo tanto, urge la posibilidad de su uso buscando las alternativas más económicas.

Este tipo de pavimento realmente brinda una gama de ventajas muy convenientes ante la escasez y la imposibilidad de un mantenimiento sostenido a las vías confeccionadas con otros pavimentos. Escasos gastos en conservación, resistencia a combustibles, grasas etcétera y una amplia posibilidad expresiva son algunas de estas ventajas. Además podemos mencionar:

- Diseños adaptables según el tipo de pavimento a utilizar
- Bajo costo al momento de adquisición
- Si se hace la correcta instalación no necesita mantenimiento o muy poco.
- Más de cincuenta años de esperanza de vida
- Debido a sus materiales no se agrieta

- Es tres veces más fuerte que el hormigón concreto vertido.
- Se adapta a las ciclos de hielo, deshielo y soporta grandes temperaturas,
- Los adoquines se adaptan a las condiciones del suelo.
- Debido a su geometría es de fácil instalación.
- Fácil sustitución debido a que son bloques
- Se pueden reutilizar en un alto porcentaje.

A todas estas ventajas es necesario citar algunas limitantes que se contraponen y que pudieran atentar contra el desarrollo de su implementación como son:

- No contar en la provincia con una fuente de fabricación y suministro sostenido de adoquines.
- Falta de personal especializado en su fabricación e instalación una vez confeccionado.
- Al no contar con maquinaria para su instalación el trabajo deberá ser de forma manual lo que retrasaría los tiempos de ejecución.
- Empleo del pavimento articulado solo en vías donde no confluya un tráfico pesado.

En cuanto a la materia prima a emplear sobresale la posibilidad de empleo de los residuos generados por tres plantas prefabricadas ubicadas en el municipio de Holguín, además existen otros residuos que también pueden emplearse para combinaciones como los de polietileno generados por la fábrica de tuberías plásticas, residuos de neumáticos de la planta re-capadora y los desechos sólidos generados por la fábrica de cerámica blanca. Todas estas nos brindas posibilidades de desarrollar en la provincia, variantes para confeccionar un adoquín solido capaz de solventar las necesidades de mejoramiento de los viales. Resaltar que en la mayoría de las empresas y entidades antes señaladas estos desechos y residuos están en desuso por lo que su empleo contribuiría de forma significativa en el aspecto medioambiental. El desarrollo de esta investigación significa una doble solución, en un primer caso reducir el problema del estado de los viales, principalmente esas arterias secundarias en las barriadas periféricas

logrando un cambio estético y segundo lograr cierto confort en la ciudad y progresivamente en la provincia.

1.6 Síntesis histórica del uso de los residuos reciclados en la construcción de carreteras. Valoración de la posibilidad del empleo de los residuos prefabricado en la confección de adoquines para pavimento articulado en la provincia.

El empleo del concreto reciclado data de los tiempos posteriores a la segunda guerra mundial, donde los europeos enfrentaban la problemática de la gran acumulación de escombros en sus ciudades destruidas, motivo por el cual se abocaron a reciclar dichos desperdicios y utilizarlos como material de construcción, obteniendo muy buenos resultados esto incluyó la construcción de carreteras y caminos.

Desde entonces esta práctica se lleva a cabo en los países del viejo continente, siendo estos los pioneros en la industria del reciclaje. En la actualidad los conceptos de ecología y medio ambiente están adquiriendo mayor importancia a nivel mundial, esto ocupa directamente a la industria de la construcción ya que el tipo de actividades que involucran a la industria pueden tener consecuencias perjudiciales e incluso irreversibles sobre el medio ambiente, a parte que cada día son más escasos los recursos naturales primarios a extraer (Montiel, 2018).

En el tema de confección de pavimentos se han desarrollado diversos trabajos relacionados con el empleo de residuos en el mejoramiento y diseño de los viales.

En la investigación elaborada por Rey (2018) en Perú aborda la construcción de adoquines con sustitución de árido grueso empleando residuos de polipropileno y caucho. Los resultados obtenidos demuestran que las propiedades físico – mecánicas de los adoquines solo con polipropileno al 10% son mejores que los adoquines convencionales. Mientras que al combinar en una muestra polipropileno al 15% con caucho al 10%, se obtiene una igualdad de resistencia en comparación al adoquín tradicional.

En Perú, Martínez (2016) realiza una comparación entre la resistencia a compresión de un adoquín tradicional y otros confeccionado a partir de la adición de fibras. Para la investigación se utiliza un residuo sintético, en este caso polipropileno, uno orgánico como la estopa de coco y uno inorgánico como el vidrio. Con porcentajes de 0,1, 0,2 y 0,3 adicionado a las muestras, los ensayos realizados determinan que la resistencia a compresión característica aumenta con todos los tipos de fibras, al adicionar 0,1% de fibra 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.

Otro estudio con gran importancia se desarrolla en México por Montiel (2017) en donde aborda la importancia del empleo de los residuos en la confección de adoquines para pavimento articulado. En su investigación trata la importancia de los residuos de hormigón empleados en todo el mundo para este fin y la efectividad en los resultados de su empleo.

En el proyecto de Tejada (2017) en Perú, se analiza la elaboración de adoquines eco amigables al utilizar residuos de relaves de la minería en el cual se demostró que la elaboración de estos adoquines cumple holgadamente con todos los requisitos de la Norma Técnica Peruana NTP 399.6 en términos de resistencia a la compresión, teniendo picos de resistencia mecánica a la compresión de 60 MPa.

En Cuba, en la provincia de Holguín, se desarrollan investigaciones centradas en el empleo de residuos para construcción. Específicamente en la rama de los viales se han enfocado en las mezclas asfálticas, como es el caso de Cuadrado (2016) que aborda sobre las características físico mecánicas de residuos de neumáticos y escoria siderúrgicas en mezclas asfálticas. El análisis en muestras dónde se sustituyen estos residuos por un porcentaje del árido a razón de árido fino por el caucho (0.5%, 1.0% y 1.5%) y por la escoria (4%, 6% y 8%) mostro mejores resultados para el 1% y el 8% respectivamente.

En el tema de pavimentos articulados con residuos, Fernández (2019) aborda el tema de la fabricación de adoquines con escoria blanca de acería. En la misma se

obtiene que la dosificación propuesta en la muestra patrón sea capaz de soportar cargas de tráfico pesado y con dosificaciones de un 5% de escoria para vías de tráfico ligero y con un 10 % para ciclo carriles y aceras.

Cuba no está ajena a la situación de generación residuos, principalmente desechos sólidos de hormigón, por lo que la solución está en la creación de programas para la reutilización de los mismos. En la ciudad de Holguín específicamente existen tres plantas de prefabricado que generan diariamente medio metro cúbico ($1/2 \text{ m}^3$) de residuos prefabricados cada una, lo cual representa 1.5 m^3 de residuos diarios y unos 36 m^3 mensuales a razón de 24 días avilés. Esto se traduce que, en un año se genera cerca de 432 m^3 de residuos prefabricado que no tiene un uso adecuado y constituye un elemento contaminante para el medio ambiente. En el caso de estos recursos según propios directivos de la entidad ni siquiera se cuenta con un plan para su empleo, no existe tampoco convenio alguno con otras entidades estatales o particular para su venta o intercambio. En conclusiones un residuo que según los propios especialistas posee una excelente condición para su reutilización, por los elementos y dosificaciones que lo componen y que hoy está en desuso.



Fig.1.12 Acumulación de residuos de prefabricado

Este residuo acumulado puede ser la base de la construcción de una sostenida producción de adoquines y adocretos destinados a dar solución a la problemática vial en nuestra ciudad y además causaría un favorable impacto medioambiental con la reutilización y por consiguiente eliminación de estos desechos del ramo.

En lo constructivo el adoquín hecho con residuos será incluido en fases finales del proyecto utilizándolo en pavimentos de tráfico ligero, medio, pasos peatonales, franjas divisorias en zonas comunes, convirtiéndose así en una pieza con una modulación conectiva para aumentar sus capacidades físicas ofreciendo resistencia a los diferentes esfuerzos presentes dentro del sistema constructivo al que va dirigido.

El aspecto económico se verá beneficiado con la disminución de la inversión que genera la compra de materiales específicamente el árido fino, se reduce la explotación de cantera para este fin. Además se da solución al problema medioambiental que representa la acumulación de estos desechos.

Ante las posibilidades de empleo del residuo de prefabricado como materia prima en la conformación de un adoquín que pueda dar solución al estado de las vías en las arterias secundarias de zonas periféricas y la latente solución al problema medioambiental que genera la acumulación de estos desechos se arriba a las conclusiones siguientes.

Conclusiones del capítulo

Se describió todo lo referente a los antecedentes a la construcción de caminos y carreteras, hasta las definiciones y características de los pavimentos actuales.

Se abordó el método de pavimentación articulado que se realiza en el mundo y cuanto se ha empleado y desarrollado en Cuba hasta nuestros días.

Se analizó las posibilidades de empleo del adoquinado en nuestra ciudad como alternativa ante el deterioro de las arterias periféricas en repartos y asentamientos.

Se valoró la posibilidad de utilización de los residuos prefabricados que se generan en las plantas del municipio como materia prima en la confección de adocretos para el mejoramiento vial.

CAPÍTULO 2. DISEÑO DE DOSIFICACIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE ADOQUINES CON ÁRIDO OBTENIDO A PARTIR DE RESIDUOS SÓLIDOS DE PREFABRICADO DE LA PLANTA HOLGUÍN.

2.1 Introducción al capítulo

Aborda la caracterización del árido obtenido mediante la trituración del residuo prefabricado para la confección de los adoquines. Plantea un análisis de evaluación de los materiales de confección del adoquín a fabricar, con uso de residuos prefabricados que se desechan en las plantas locales y la implementación mediante su aprobación en ensayos de laboratorios. Busca lograr una dosificación idónea para la confección de este método de pavimentación. Estudia los parámetros técnicos para este tipo de pavimento y las especificaciones a sus ensayos, tanto de los materiales como de la calidad del propio adoquín en sí mismo llegando a la obtención de las conclusiones sobre la fiabilidad del método.

2.2 Parámetros técnicos que debe cumplir los pavimentos adoquinados según la NC 998/2014 Adoquines de hormigón (adocretos)- Especificaciones.

La norma cubana NC 998:2014 ADOQUINES DE HORMIGON (ADOCRETOS)-ESPECIFICACIONES constituye el documento rector de consulta para el diseño y construcción de pavimentos articulados en nuestro país. La misma fue confeccionada tomando como referencia los conceptos establecidos en la Norma Europea EN 1342/2001 Adoquines de Piedra Natural para uso como pavimento exterior. Requisitos y Métodos de Ensayo y la Norma Española UNE 22202-2/2011 Productos de Piedra Natural. Parte 2 Adoquines para pavimentación. Todo adaptado a las leyes de fallo y la clasificación para los suelos de subrasante, en las condiciones de Cuba.

Parte de una introducción al tema y el consiguiente método empleado en nuestro país para el diseño y construcción de estructuras de este tipo. La misma establecerlos requisitos de los adoquines de hormigón (adocretos), destinados a pavimentar áreas exteriores.

El epígrafe número tres se muestra todo lo relacionado con los términos y definiciones relacionados con el tema:

Términos y definiciones más comunes:

Adoquines de hormigón (adocretos): producto pre-moldeado de hormigón macizo mono-capa o bicapa, en forma de paralelepípedo y con bordes superiores biselados, utilizado para el revestimiento de pisos generalmente en exteriores; según su uso puede ser sometido a cargas ligeras, medias y pesadas.

En el número cuatro se exponen los parámetros partiendo de los requisitos de construcción y las dimensiones para el diseño según el tipo de tráfico del lugar donde se va emplear.

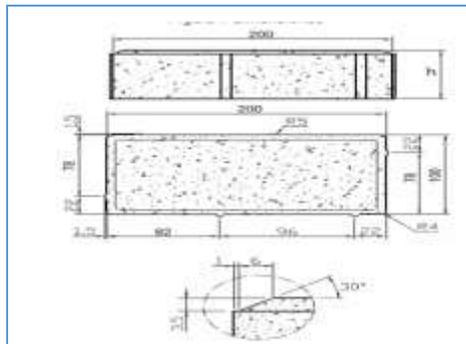


Fig.2.1 Requisitos de dimensiones de un adoquín (variante) (NC998/2014)

En la tabla 1 de la (NC 998:2014, p-5) se establecen los espesores mínimos de los adoquines, según categoría de tráfico. (Ver tabla 2.1).

. Tabla 2.1. Espesor mínimo 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 ≤ 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 1 000 v.p.d. | |

Fuente: NC 998:2014

Además en este epígrafe se exponen los parámetros que deben cumplir estos elementos relacionados con: resistencia a la compresión, resistencia a la abrasión y la absorción. (Ver tabla 2.2).

Tabla 2.2.

Valores recomendados de resistencia media a compresión.

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

Fuente: NC 998:2014

Tabla 2.3.

Resistencia al desgaste por abrasión.

| Categoría de tráfico | Resistencia al desgaste por abrasión (mm) |
|-----------------------------|--|
| C4 | 27 |
| C3 | 23 |
| C2,C1,C0,AI-1,AI-2 | 20 |

Fuente: NC 998:2014

Tabla 2.4

Resistencia especificada por tipo de tráfico.

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

Fuente: NC 998:2014

2.3 Normativas para los ensayos a los materiales componentes del adocreto.

La caracterización de los materiales es una herramienta fundamental para asegurar una máxima calidad en cualquier proceso de diseño y fabricación de nuevos productos. Es un procedimiento mediante el cual se estudian las propiedades morfológicas y funcionales de los materiales o sustancias, facilitando sus propiedades física, químicas y mecánicas. En resumen su objetivo persigue la información sobre los compuestos, su grado de resistencia y fiabilidad para su posible aplicación.

Para la confección del adoquín como elemento principal del proyecto se realizó la evaluación de cada componente de su elaboración.

Se utilizó el árido y el granito provenientes de la cantera Doscientos mil (200mil), cantera fundamental de la cual se nutre nuestra provincia para el uso de este tipo de materiales. La misma se encuentra enclavada en el municipio de Gibara a unos 26 Km por carretera de nuestra ciudad, lo que ayuda a aminorar gastos por razón de transportación. Se utiliza el cemento clasificación P35 de Cienfuegos idóneo para el tipo de proyecto a desarrollar.

Para la valoración del árido se tiene en cuenta todos los requisitos establecidos en la norma NC 251/ 2021: Áridos para hormigones hidráulicos-Requisitos.

Específicamente para los áridos se realizan los siguientes ensayos:

- Peso específico y absorción de agua NC 186/2002. Arena. Peso específico y absorción de agua.
- Granulometría NC 178/2002 Áridos. Análisis granulométrico.
- Determinación de partículas de arcillas NC 179/2002 Áridos Determinación del contenido de partículas de arcillas.
- Determinación del material más fino que pasa por el tamiz N.200 NC 182/2002 Áridos. Determinación del material más fino que pasa por el tamiz de 0.074mm.
- Peso volumétrico NC 181/2002 Determinación del peso volumétrico.
- Determinación del porcentaje de huecos NC 177/2002 Áridos. Determinación del porcentaje de huecos.
- Triturabilidad (específico para áridos gruesos) NC 190/2002 Áridos gruesos Determinación del índice de triturabilidad.
- Modulo de finura (específico para áridos finos).

En el caso del residuo de elementos de prefabricados específicamente para este trabajo en el cual se desea sustituir por árido fino, los ensayos a evaluar son los mismos expuestos.

En el caso del cemento se realizan ensayos químicos, físicos y mecánicos. En los ensayos químicos se analiza la composición química y mineralógica del cemento. Con los ensayos físicos se evalúan la cantidad de agua necesaria para hacer

amasado, la estabilidad volumétrica, los tiempos de fraguado así como la densidad. Y los ensayos mecánicos se analiza la resistencia a la compresión y opcionalmente a la flexión. Para la obtención de estos ensayos se emplean las siguientes normativas:

- NC196:2012 Métodos de ensayos químicos al cemento P35,
- NC 504: 2013 Cemento hidráulico- Estabilidad de volumen por Le Chatelier.
- NC-506:2013 Métodos de ensayos. Determinación de las propiedades mecánicas,
- NC-980:2013 Métodos de ensayos- Determinación de la finura y la superficie del cemento
- NC-523:2015 Métodos de ensayos -Determinación de la densidad del cemento hidráulico
- NC- 524:2015 Métodos de ensayos -Determinación de la cantidad de agua requerida para preparar la pasta de cemento hidráulico.

2.3.1 Resultados de los ensayos a los materiales componentes

Áridos naturales

Los áridos provienen de la cantera 200 mil Estos son producidos mediante la trituración de rocas calizas, las cuales son de colores claros, casi blanco.

Ensayos al granito (árido grueso). Grava 3/8 fracción (10-5 mm)



Fig.2.2 Granito (árido grueso).

- Pesos específicos y absorción de agua:

Este ensayo se realiza para determinar los pesos específicos y la absorción por medio de pesadas, se realiza por lo especificado en la NC-186:2002.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Peso Específico Corriente= 2.631 g/cm³ (conforme)

Peso Específico Saturado= 2.658 g/cm³

Peso Específico Aparente= 2.704 g/cm³ (conforme)

Absorción de agua = 1.04%

Ver anexo 1 donde se exponen todos los resultados.

- Análisis granulométrico

El análisis granulométrico se realiza bajo la norma NC-178:2002 fracción 19-10mm los resultados obtenidos se muestran en la tabla 2.4

Tabla 2.5

Análisis granulométrico del granito (árido grueso).

| TAMICES Pulgadas.(mm) | 1 (25) | ½ (12.5) | 3/8 (9.5) | No.4 (4.75) | No.8 (2.36) | No.16 (1.18) | Fecha |
|---------------------------------|------------|-------------|--------------|----------------|----------------|-----------------|---------|
| % pasado | 100 | 100 | 94 | 20 | 4 | 4 | 21-6-22 |
| Incertidumbre (U) para K=2 | - | - | ±0.05 | ±0.10 | ±0.10 | ±0.02 | |
| Especificaciones Máx. y Mín. | 100 100 | 100 100 | 100 85 | 35 15 | 10 0 | 5 0 | |

Como se puede apreciar en la tabla el granito proveniente de la cantera 200mil cumple con lo especificado en la NC-251:2021(CONFORME). Ver anexo 1

- Determinación de partículas de arcilla

El ensayo para la determinación de partículas de arcilla se efectúa según se especifica en la NC-179:2002. En el caso de la grava de la 200mil no se detectaron partículas de arcilla. (CONFORME). Ver anexo 1

- Determinación del material más fino que el tamiz de 0,074 mm (Nº 200).

El procedimiento de determinar el porcentaje de material más fino que pasa por el tamiz 0,074 mm (Nº 200) para este tipo de árido se realiza según la NC-182:2002. Con una muestra de 2.5 Kg el resultado del ensayo es de 0.77% y cumple con la NC-251:2021 por lo que el material es conforme. (CONFORME). Ver anexo 1.

- Determinación del peso volumétrico

Se determina el peso volumétrico del material según la NC-181:2002 para el árido grueso y los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- Peso volumétrico suelto =1536 Kg/m³
- Peso volumétrico compactado =1735 Kg/m³

Ver anexo 1.

- Determinación del porcentaje de huecos:

Para el árido grueso se calculó el porcentaje de huecos según la NC-177: 2002 y el resultado que se obtuvo fue de 60.35 %.

Ver anexo 1.

- Índice de triturabilidad

Según la NC- 190:2002 este ensayo se basa en la determinación del índice de triturabilidad de la porción de árido grueso sometida a esfuerzo de compresión constante, para poder definir su resistencia mecánica. El resultado que se obtiene es de 7.22 % (CONFORME) según la NC- 251:2021 para pavimentos de hormigón con tráfico pesado.

Ver anexo 1.

Ensayos arena artificial (árido fino)

Para la realización de los ensayos a la arena artificial proveniente de la cantera del molino 200 mil se siguieron las especificaciones de las normas correspondientes antes mencionadas.



Fig.2.3 Muestra de Arena artificial (árido fino)

- Pesos específicos y absorción de agua

Procedimiento similar al descrito para el árido grueso, se realiza por lo especificado en la NC-186:2002.

Los resultados son los siguientes:

- Peso Específico Corriente= 2.570 g/cm³ (conforme)
- Peso Específico Saturado= 2.620 g/cm³
- Peso Específico Aparente= 2.710 g/cm³ (conforme)
- Absorción de agua = 2.02%

Ver anexo 2 donde se exponen todos los resultados.

- Análisis granulométrico.

El análisis granulométrico se realizó bajo la norma NC-178:2002 agregado fino N.4 (4.75mm)- N.100 (0.15mm) los resultados obtenidos se muestran en la tabla 2.5.

Tabla 2.6

Análisis granulométrico del granito agregado fino de la cantera 200mil.

| TAMICES Pulgadas | 1-1/2 | 1 | ¾ | ½ | 3/8 | No.4 | No.8 | No.16 | N.30 | N.50 | N.100 |
|----------------------------|-------|-----|-----|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| % pasado | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 94 | 64 | 35 | 16 | 5 | 1 |
| Incertidumbre (U) para K=2 | - | - | - | - | - | ±0.01 | ±0.01 | ±0.01 | ±0.01 | ±0.01 | ±0.01 |
| Especificaciones | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 80 | 60 | 30 | 10 |
| Max y Min. | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 90 | 70 | 45 | 25 | 10 | 2 |

- Determinación de partículas de arcilla.

El ensayo para la determinación de partículas de arcilla se efectuó según lo especificado en la NC-179:2002 para áridos. En el caso de la arena de la 200mil tampoco se detectó partículas de arcilla. (CONFORME). Ver anexo 2

- Determinación del material más fino que el tamiz de 0,074 mm (Nº 200).

El procedimiento para determinar el porcentaje de material más fino que pasa por el tamiz de 0,074 mm (Nº 200) es el mismo que el del árido grueso, pero la muestra utilizada según la NC-182:2002 es de 0,5 Kg. El resultado del ensayo es de 2.37% y cumple con la NC-251:2021 por lo que el material es conforme. (CONFORME). Ver anexo 2

- Determinación del peso volumétrico:

Se determinó el peso volumétrico del material según la NC-181:2002 para este árido y los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Peso volumétrico suelto =1598 Kg/m³

Peso volumétrico compactado =1758 Kg/m³

Ver anexo 2

- Determinación del porcentaje de huecos.

Para la arena se calculó el porcentaje de huecos según la NC-177: 2002 y el resultado que se obtuvo fue de 31.91 %. Ver anexo 2

- Módulo de finura.

Se utilizó la NC- 251:2021 este ensayo se basa en la determinación del módulo de finura de la porción de árido fino. El resultado que se obtuvo fue de 3.85no conforme al no estar en el rango de 2.20-3.50 que se establece en la norma. Esta situación desfavorable se presenta al ser demasiado gruesos algunos de los granos del material. Ver anexo 2

Ensayo al árido obtenido de los residuos de la planta de prefabricado Gran Panel

VI

Para la caracterización física del residuo generado en la Planta de Prefabricado Gran Panel VI, se tuvo en cuenta análisis investigativos anteriores como la investigación de Maceo Chacón (2017). Se realiza la caracterización del residuo empleado en sustitución de árido fino con ayuda de las normas NC 54-264/1984 Especificaciones para polvo de piedra y la NC 251/2021 Áridos para hormigones hidráulicos-Requisitos.



Fig.2.4 Árido obtenido mediante la trituración del residuo prefabricado

- Análisis granulométrico:

Las muestras de residuos de construcción ensayadas mantienen una granulometría continua y cumplen con lo especificado en la NC 54-264/1984 Especificaciones para polvo de piedra.

Tabla.2.7

Análisis granulométrico del residuo prefabricado.

| TAMICES Pulgadas.(mm) | 3/8 (9.5) | No.4 (4.75) | No.8 (2.36) | No.16 (1.18) | n.30 (0.6) | n.50 (0.3) | N.100 (0.15) | No.200 (2.36) |
|-------------------------------|--------------|----------------|----------------|-----------------|---------------|---------------|-----------------|------------------|
| % PASADO | 100 | 100 | 80 | 52 | 45 | 31 | 20 | 10 |
| Incertidumbre (U) para K=2 | ±0.00 | ±0.10 | ±0.01 | ±0.05 | ±0.05 | ±0.02 | ±0.02 | ±0.01 |
| Especificaciones | 100 | 100 | 100 | 80 | 60 | 43 | 25 | 15 |
| Max y Min. | 100 | 80 | 70 | 50 | 35 | 20 | 8 | 4 |

Se observa en el análisis granulométrico del residuo que cumple en todos los tamices, según lo establecido por la NC-251:2021, para áridos finos en hormigones hidráulicos, por lo que el material es conforme.

- Determinación de partículas de arcilla:

En el caso de los residuos de la planta de prefabricado presentan un 1.2 % partículas de arcilla. Según la NC 179/ 2002 el resultado debe ser menor de 1%. Lo que lo hace no conforme. Ver anexo 3

- Cálculo del módulo de finura:

El módulo de finura resulta de 3.35mm y cae dentro del rango que establece la NC-251:2021 para áridos de (2.2-3.58). Por lo tanto también es conforme la muestra. Ver anexo 3

- Determinación del material más fino que el tamiz de 0,074 mm (Nº 200):

El resultado del ensayo del tamiz Nº 200 para los residuos de la planta de prefabricado es de 8.14 % por lo que el material es conforme, según lo establecido en la NC- 182:2002. Ver anexo 3

- Determinación del peso volumétrico:

Los pesos volumétricos se determinan por medio de pesadas del material contenido en recipientes calibrados de volumen conocido (NC-186:2002). Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Peso volumétrico suelto: 1580 kg/m³

Peso volumétrico compactado: 1766 kg/m³

Ver anexo 3.

- Pesos específicos y absorción de agua:

Se obtiene los pesos específicos y la absorción de agua por medio del pesaje de la arena en estado seco y saturado en agua. Los resultados obtenidos son los siguientes:

- Peso Específico Corriente = 2.51 g/cm³
- Peso Específico Saturado= 2.59 g/cm³
- Peso Específico Aparente = 2.72 g/cm³
- Absorción de Agua=3.0 %

Conforme. Ver anexo 3

- Determinación del porcentaje de huecos:

El método para determinar el porcentaje de huecos en los áridos, es utilizando el peso específico corriente y el peso volumétrico compactado calculados.

Para los residuos de la planta de prefabricado el porcentaje de huecos fue de 31.50% lo que hace el material conforme. Ver anexo 3

Ensayos realizados al cemento

Se determino las características del cemento con el conocimiento tanto su composición física como química. El ensayo es regido por lo especificado en las NC-504:2013, NC-506:2013 y NC-980:2013 así como las NC-523:2015 y NC-524:2015.

- Ensayos químicos

Cemento a granel proveniente de la fábrica Carlos Marx de la provincia Cienfuegos los resultados obtenidos son los siguientes.

Tabla 2.8

Composición mineralógica del cemento P-35.

| No. | COMPOSICIÓN | FASE | % |
|-----|--------------|-------------------------------------|-------|
| 1 | Mineralógica | Silicato tricálcico(C3S) | 54.44 |
| 2 | | Silicato dicálcico(C2S) | 18.56 |
| 3 | | Aluminato tricálcico (C3A) | 6.29 |
| 4 | | Ferrito aluminato tricálcico (C4AF) | 11.03 |

(Fuente: Lahenz Pantoja, 2018)

Se parte de la NC196:2012 para la ejecución de los ensayos químicos al cemento P35. Se realizó la pérdida por ignición, el residuo insoluble, óxido de magnesio y trióxido de azufre, en todos los ensayos se alcanza la conformidad.

Tabla 2.5.
Composición química del cemento P-35.

| No. | COMPOSICIÓN | FASE | % |
|-----|-------------|--|-------|
| 1 | QUÍMICA | Dióxido de Silicio (SiO ₂) | 21.32 |
| 2 | | Oxido Férrico (Fe ₂ O ₃) | 3.35 |
| 3 | | Oxido de Aluminio (Al ₂ O ₃) | 4.71 |
| 4 | | Oxido de Calcio (CaO) | 62.98 |
| 5 | | Oxido De Magnesio (MgO) | 2.01 |
| 6 | | Trióxido de Azufre(SO ₃) | 2.58 |
| 7 | | Perdida por Ignición (PPI) | 2.18 |
| 8 | | Residuo Insoluble (RI) | 1.93 |
| 9 | | Cal Libre | 2.86 |

(Fuente: Lahenz Pantoja, 2018)

- Ensayos físicos.

Las propiedades físicas más relevantes que se obtienen están relacionadas con las cantidades de agua necesarias para ser amasado, la estabilidad volumétrica, los tiempos de fraguado y la densidad.

Consistencia normal:

Según la NC 524: 2015 se establece el método que se emplea para la determinación de la cantidad de agua requerida para preparar la pasta de cemento hidráulico a ensayar.

Como resultado se obtuvo una consistencia normal del cemento analizado de 24.8 %.

- Tiempo de fraguado inicial y final.

La NC 524: 2015 establece que con la muestra utilizada para la realización del ensayo de consistencia normal puede ser usada para la determinación del tiempo de fraguado por la aguja Vicat.

Los tiempos de fraguado para el cemento P-35 analizado son:

Tiempo de fraguado inicial = 108 min

Tiempo de fraguado final = 2.8 h

Los tiempos de fraguado inicial y final cumplen con las especificaciones de la norma por lo que el material es conforme.

- Estabilidad de volumen por Le Chatelier.

Según lo establecido por la NC 504:2013 la estabilidad de volumen se determina observando la expansión volumétrica de la pasta de cemento de consistencia normal, indicada por el desplazamiento relativo de dos agujas. Los equipos y utensilios son los mismos que los empleados para los ensayos de consistencia normal, fraguado inicial y final; estos ensayos se realizan paralelamente.

El resultado de este ensayo para el cemento P-350 analizado es de 1.0 mm de estabilidad volumétrica por lo que el material es conforme según lo establecido la norma.

- Densidad.

Según la NC 523:2015 la densidad del cemento hidráulico, es definida como la masa de la unidad de volumen del sólido. Los equipos y utensilios son: frasco de Le Chatelier, Baño de María y kerosén libre de agua.

La densidad de cemento P-35 analizado es de 3.15 g/cm³.

- Por ciento de residuo:

El porcentaje de residuo alcanza el 13.3% en el cemento P35 analizado.

Ensayos mecánicos:

- Ensayo a compresión:

Según la NC-506: 2013, el método comprende la determinación de las resistencias a compresión y opcionalmente a flexión de probetas prismáticas, de dimensiones normalizadas (40 mm x 40 mm x 160 mm). El mortero elaborado es de tipo seco, con una parte de cemento y tres de arena natural silíceas de granos redondeados, y una relación agua/cemento equivalente a 0.5. Se conserva en una atmósfera húmeda durante 24 horas, y las probetas desmoldadas se sumergen inmediatamente en agua hasta que se realizan los ensayos de resistencia. A la edad de 7 y 28 días, las probetas se rompen en dos mitades y cada mitad se somete al ensayo de resistencia a compresión.

Los resultados de resistencia a compresión del cemento se expresan en la tabla.6 a la edad de 3, 7 y 28 días cumpliendo con lo establecido por la norma.

Tabla 2.6
Resistencia del cemento a la compresión.

| PERIODO DE ENSAYO | RESULTADO (MPa) | PROMEDIO (Mpa) |
|-------------------|-----------------|----------------|
| 3 días | 21.5 | 27.77 |
| 7 días | 25.3 | |
| 28 días | 36.5 | |

. (Fuente: Lahenz Pantoja, 2018)

En todos los casos de tiempo se alcanza la conformidad según los valores de las especificaciones para cemento P-35.

2.4 Dosificaciones de los materiales a utilizar

Se diseñó las propuestas de dosificación de las muestras partiendo de una muestra patrón y dos ensayos con sustitución del árido fino por residuo triturado de la planta de prefabricado Gran Panel Holguín. Se partió de la imposibilidad del uso de aditivos, con los cuales sin duda se hubieran obtenido mejores resultados

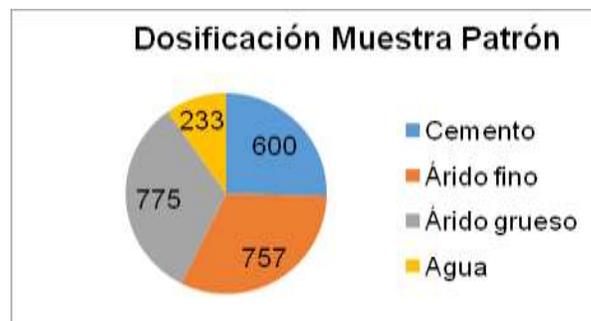
en cuanto a la calidad pero eleva el costo del proyecto, lo que atenta contra el objetivo económico del mismo.

El diseño de las dosificaciones se basa en la aplicación del método O'Reilly el cual estudia las propiedades físicas de los materiales componentes. De ahí la exhaustiva caracterización de los materiales empleados y la dosificación de los agregados para las posteriores muestras de pruebas. Buscar mediante los ensayos de laboratorio el porcentaje de vacío mínimo de la mezcla de materiales y lograr la composición óptima al sustituir el árido fino por el residuo.

Dosificación de Hormigón para la elaboración de adcretos (muestra patrón de arena artificial y granito)

Materiales utilizados:

- Cemento P – 35 proveniente 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.



Gráfica.2.1 Dosificación Muestra Patrón.

Dosificación de Hormigón para la elaboración de adcretos (100% de residuo prefabricado en sustitución del árido fino)

Materiales utilizados:

- Cemento P – 35 proveniente de Cienfuegos.
- Polvo de Piedra (5 a 0) mm. Material reciclado de la Planta de Prefabricados Gran Panel 6.
- Árido grueso fracción (10 a 5) mm, Cantera 200 Mil.

-Agua Potable. Acueducto Holguín.



Gráfica .2.2 Dosificación con un 100% de árido reciclado.

Dosificación de hormigón para la elaboración de Adocretos (50% de residuo prefabricado en sustitución del árido fino)

Materiales utilizados:

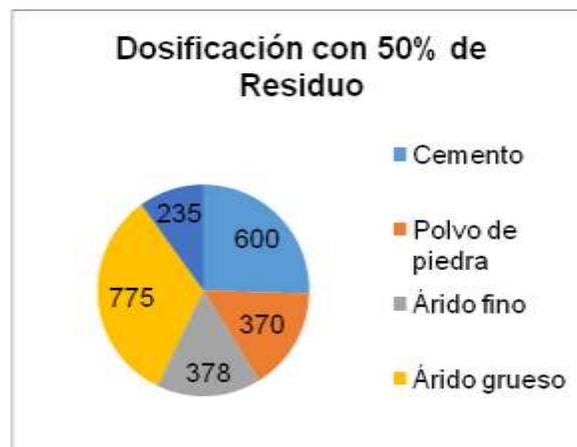
-Cemento P – 35 procedente de Cienfuegos.

-Polvo de Piedra (5 a 0) mm. Material reciclado de la Planta de Prefabricados Gran Panel 6 (50%).

-Árido fino fracción (5 a 0.15) mm. Cantera 200 Mil (50 %)

-Árido grueso fracción (10 a 5) mm, Cantera 200 Mil.

-Agua Potable. Acueducto Holguín.



Gráfica .2.3. Dosificación con un 50% de árido reciclado.

2.4.1 Especificaciones de los ensayos a realizar a los adoquines

Se confeccionan los adoquines a partir de la experiencia del laboratorio en la fabricación de elementos de este tipo, específicamente los que se utilizaron en la pavimentación del puerto de Santiago de Cuba. Las dimensiones de cada adoquín constan de 22 cm de largo, 11 cm de ancho y 8 cm de altura, sin bisel en todos los casos.

Se conformaron los moldes a razón de las dimensiones antes señaladas, para un total de seis muestras para cada dosificación conveniente. Aquí cabe señalar que dichos ensayos se cumplieron en la condición más desfavorable para este tipo de pruebas al no contar con aditivos para la confección de los mismos, así como maquinas vibro compresoras y de prensado de las muestras, además los moldes utilizados son de madera ante la imposibilidad de contar con moldes metálicos según lo establecido. Esto deja abierta la posibilidad de obtención de mejores resultados en caso de cumplirse con los parámetros anteriores.

En los ensayos se comenzó con la elaboración de una muestra patrón con árido fino y granito de la cantera del molino 200 mil que sirvió de forma comparativa a las restantes dosificaciones posteriores. Se confecciono una muestra a razón de la sustitución del 100% del árido fino por el árido obtenido del residuo prefabricado triturado y una segunda muestra remplazando solo el 50 % de la arena artificial.

Para cada dosificación se toma una muestra de seis elementos, se le realiza el pesaje, se toman las dimensiones y se determina el promedio de cada dimensión. Este proceder se realiza con empleo de la tabla n.7 Mediciones de la NC998:2014 Adocretos de Hormigón (Adoquines). Especificaciones.

Se colocan las muestras sobre la meseta de trabajo vertiendo el material en los moldes. Al no contar con máquina vibro compresora se asentó la mezcla con fija y pequeños golpes con la empuñadura de la cuchara de albañil.



Fig.2.5 Llenado de los moldes.

A partir del proceso anterior se le realiza el recape donde se eliminan las irregularidades o exceso de materiales en las caras de los bloques. Luego se coloca una capa de pasta sobre la superficie de carga y apoyo de los adoquines con el fin de nivelarlos y dar un acabado estético; en esta actividad se utiliza la meseta nivelada.

Para la aplicación de la capa de nivelación, se verterá el mortero preparado sobre los moldes y se esparcirá con la cuchara de albañil formando una capa uniforme y se retira el material sobrante.

Además con cada dosificación se llenan tres probetas, las mismas en el momento del llenado estaban limpias y secas, después del vertido, su cara vista se dejó lisa retirando todo el material sobrante.



Fig.2.6 Llenado de las probetas.

Las muestras permanecen en la meseta por un día y después pasan al cuarto de curado donde reciben el tratamiento hasta un día antes de la fecha del ensayo, en este caso 28 días.

Resultados Muestra Patrón

Tabla 2.9

Resultados Muestra Patrón. Ensayo a compresión y absorción

| ENSAYO A COMPRESIÓN | | | | | |
|---------------------|-------------------|-------------|-----|---|-----|
| No | Resistencia (MPa) | % absorción | |  | |
| 1 | 55.8 | 52.0 | 1.6 | | 1.4 |
| 2 | 49.6 | | 1.1 | | |
| 3 | 50.3 | | 1.4 | | |
| 4 | 50.1 | | | | |
| 5 | 50.8 | | | | |
| 6 | 55.8 | | | | |

Tabla 2.10

Ensayo a flexión. Resultados Muestra Patrón

| ENSAYO FLEXIÓN (28 días) | | | |
|--------------------------|------------|----------|-----|
| N. | Fuerza Kgf | Fuerza N | Mpa |
| 1 | 1300 | 12748.65 | 5.9 |
| 2 | 1250 | 12258.32 | 5.7 |
| 3 | 1400 | 13729.31 | 6.4 |
| X av. | 6.0 | | |

Tabla 2.11.

Resistencia a la compresión. Muestra patrón.

| RESISTENCIA AL COMPRESIÓN (PROVETAS CILÍNDRICAS) | |
|--|------|
| (MPa) | |
| 1 | 46.6 |
| 2 | 46.9 |
| 3 | 47.0 |
| X | 47.0 |

Tabla 2.12.
Resistencia al desgaste. Muestra patrón

| ENSAYO AL DESGASTE (mm) | |
|----------------------------|------|
| 1 | 15.2 |
| 2 | 15.8 |
| 3 | 16.3 |
| X av. | 15.8 |

Con los ensayos a la muestra patrón se obtuvieron los siguientes resultados en los aspectos de conformidad:

Según especificaciones técnicas de resistencia a la compresión el adoquín cumple con la conformidad para tráfico pesado al poseer una resistencia de 52 MPa de los 50 MPa requeridos.

Resultados de la muestra sustituyendo el 100% de la arena artificial por el árido obtenido del residuo prefabricado

Tabla 2.13
Resultados con sustitución del 100% de árido fino. Ensayo a compresión y absorción

| ENSAYO A COMPRESIÓN | | | | |
|---------------------|-------------------|------|-------------|-----|
| NO. | Resistencia (MPa) | | % ABSORCIÓN | |
| 1 | 42.3 | 41.6 | 1.4 | 1.5 |
| 2 | 43.1 | | 1.6 | |
| 3 | 41.3 | | 1.4 | |
| 4 | 42.1 | | | |
| 5 | 40.8 | | | |
| 6 | 40.1 | | | |

Tabla 2.14.

Ensayo a la flexión con 100% residuo prefabricado.

| ENSAYO FLEXIÓN (28 días) | | | |
|-----------------------------|------------|----------|-----|
| N. | Fuerza Kgf | Fuerza N | Mpa |
| 1 | 1350 | 13238.98 | 5.1 |
| 2 | 1410 | 13827.38 | 5.4 |
| 3 | 1385 | 13582.21 | 5.3 |
| X av. | 5.3 | | |

Tabla 2.15.

Resistencia a la compresión. Resultados con 100% residuo prefabricado.

| RESISTENCIA AL COMPRESIÓN (PROVETAS CILÍNDRICAS) (MPa) | |
|---|---------|
| n. | 28 DÍAS |
| 1 | 26.6 |
| 2 | 26.3 |
| 3 | 26.9 |
| X | 26.5 |

Tabla 2.16.

Resistencia al desgaste. Resultados con 100% residuo Prefabricado.

| ENSAYO AL DEGASTE (mm) | |
|---------------------------|------|
| 1 | 16.2 |
| 2 | 17.8 |
| 3 | 17.1 |
| X av. | 17.0 |

Con la sustitución del 100 % del árido fino por el obtenido con el residuo prefabricado se obtuvo los siguientes resultados en cuanto a su conformidad:

Según especificaciones técnicas de resistencia a la compresión el adoquín cumple con la conformidad para tráfico peatonal y ligero al poseer una resistencia de 41.6 MPa de los 40 MPa requeridos.

Resultados Muestra sustituyendo el 50% de la arena artificial por el árido obtenido del residuo prefabricado:

Tabla 2.17

Resultados con sustitución del 50% de árido fino. Ensayo a compresión y absorción.

| ENSAYO A COMPRESIÓN | | | | |
|---------------------|-------------------|------|-------------|-----|
| NO. | Resistencia (MPa) | | % ABSORCIÓN | |
| 1 | 44.1 | 43.8 | 1.7 | 1.8 |
| 2 | 43.6 | | 1.9 | |
| 3 | 44.0 | | 1.8 | |
| 4 | 43.8 | | | |
| 5 | 43.6 | | | |
| 6 | 43.8 | | | |

Tabla 2.18.

Ensayo a la flexión con 50% residuo prefabricado.

| ENSAYO FLEXIÓN (28 días) | | | |
|--------------------------|------------|----------|-----|
| N. | Fuerza Kgf | Fuerza N | Mpa |
| 1 | 1150 | 1150000 | 5.8 |
| 2 | 1230 | 1175000 | 5.9 |
| 3 | 1175 | 1185000 | 6.0 |
| X av. | 5.9 | | |

Tabla 2.19

Ensayo al desgaste con 50% residuo prefabricado.

| ENSAYO AL DESGASTE (mm) | |
|-------------------------|------|
| 1 | 15.3 |
| 2 | 14.8 |
| 3 | 15.1 |
| X av. | 15.1 |

Con el análisis a los ensayos se determino los siguientes resultados de conformidad:

Resistencia a la compresión (MPa): conforme para tráfico peatonal y ligero 43 Mpa.

2.5 Valoración de la implementación del pavimento articulado con recursos locales como alternativa de solución al estado de las vías residenciales de los repartos de la ciudad de Holguín.

Con los resultados obtenidos en los ensayos se hace evidente la factibilidad del método de pavimentación con adoquines en las arterias secundarias de la ciudad. Más si con ello se contribuye no sólo al mejoramiento de las vías de forma general, sino también a dar solución a un problema medioambiental que se crea con la acumulación de los recursos prefabricados.

Con la generación por parte de las plantas prefabricadas de la provincia de cerca de 2 m³ diarios de residuos de este tipo, el ramo se encuentra en una condición favorable para fomentar la confección de adoquines con esta dosificación para su posterior empleo.

Será necesario el análisis para crear un sistema de fabricación a nivel industrial que agilice y garantice una mayor calidad de los elementos articulados. Si se logra se le podrá dar solución al grave deterioro que sufren las vías secundarias en la ciudad y se lograría un plazo prudencial en cuanto a mantenimiento se refiere para este tipo de pavimento. Todos los elementos apuntan a que este método de pavimentación destaca como alternativa para de forma eficiente dar solución al problema de las vías en la provincia.

Conclusiones del capítulo

-Los ensayos demuestran que el comportamiento del residuo obtenido de la planta de prefabricado Gran Panel VI y tratado como polvo de piedra, sustituye positivamente el uso de árido fino.

-Los resultados de los ensayos a las muestras que se elaboran con residuo sugieren, que para la obtención de mejores resultados, en caso de buscar resistencias para tráficados pesados existe la necesidad del uso de aditivos o el aumento de la proporción de cemento en la dosificación.

-El uso del residuo de prefabricado en la confección de este tipo de elemento asegura la eliminación de los mismo y resuelve un serio problema medioambiental.

-El análisis reafirma el empleo de los residuos prefabricados en sustitución del árido fino como una opción económica al percibir características muy similares. Lo que contribuye al ahorro en la fabricación y adquisición de arena artificial. En casos de emplearse en nuestra ciudad, supone además ahorro de combustible por transportación.

CONCLUSIONES GENERALES

Como resultado de la investigación se pudieron arribar a las conclusiones generales siguientes:

1. El marco teórico referencial demuestra que aún en la actualidad el pavimento articulado es una técnica con adecuados resultados, no solo para un pavimento destinado al tráfico peatonal sino también para un tráfico pesado.
2. El análisis y la caracterización al árido obtenido por la trituración del residuo prefabricado, demostraron que el mismo posee características que permiten su empleo en sustitución del árido fino natural, en la confección de adocretos.
3. .Las dosificaciones con empleo del árido de residuo prefabricado en un 100% y un 50% cumplieron en ambos casos con los ensayos de resistencia. El primero alcanzó los 41 MPa y los 43 MPa, por lo que los adoquines confeccionados con las mismas son aplicables para vías con tráfico peatonal y ligero.

RECOMENDACIONES

1. Recomendamos al Departamento de Construcciones de la Universidad de Holguín continuar la investigación del tema con la inclusión de nuevas combinaciones en las dosificaciones de los adoquines con residuos de prefabricado.
2. Presentar a las empresas constructoras encargadas de la conservación vial en la provincia (ECOI 17 y otras) los resultados obtenidos en la investigación, así como al Empresa de Comunales para su aprobación y posterior aplicación en repartos residenciales.
3. Recomendamos al Departamento de Construcciones de la Universidad de Holguín orientar, de ser posible, una investigación del tema dirigida a profundizar en el aspecto económico, para evidenciar la factibilidad del método articulado en una comparación económica con los métodos tradicionalmente empleados en el país, dígase pavimento flexible y rígido.

BIBLIOGRAFÍA

Adell (2007). Manual técnico NORMA BLOC. Madrid, España.

Álvarez, M. (2016). Gestión integral de áridos reciclados (1er Taller nacional. Reutilización de escombros de la construcción como materia prima para la producción de áridos reciclados. Buenas prácticas y desafíos). Villa Clara: Universidad "Marta Abreu" de las Villas.

Aragón Suarez (2021). Potencialidades del empleo de residuos plásticos en la construcción de carreteras. Tesis de discusión en opción de título de ingeniero. Universidad de Holguín. Cuba

Bedoya, C. (2003) El concreto reciclado con escombros como generador de Hábitats urbanos sostenibles. Trabajo presentado como requisito para optar al título de Magíster en Hábitat. Universidad nacional de Colombia sede Medellín. Colombia.

Bernal (2018) Valorización de los residuos de la construcción y demolición como áridos reciclados en el municipio Holguín. Tesis en opción al título de Ingeniero Civil. Universidad de Holguín. Cuba.

Cámara Mexicana de la industria de la construcción (2013) Plan de manejo de residuos de la construcción y la demolición. Disponible en [http:// www.fic.org.mx](http://www.fic.org.mx) [Consultado: 15 de febrero del 2018,]

Carlos Orozco, E.A. (2014). Guía para la elaboración del plan de gestión integral de residuos de construcción y demolición (RCD) en obra. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. Colombia.

Colectivo de autores (2018). La Arquitectura de la Revolución Cubana (1959-2018)

Christian Tixce (17.3.2019). Evolución de las Carreteras y otras vías de comunicación. Publicación de Internet. Portal Motor Racing.

Hernández, Katileydis (2017) Producción de bloques huecos de hormigón con residuos plásticos de la fábrica de tubos de Holguín. Tesis en opción al título de Ingeniero Civil. Universidad de Holguín. Cuba.

Fernández Sánchez (2019). Fabricación de adoquines con escoria blanca de acería. Tesis de discusión en opción de título de ingeniero. Universidad de Holguín. Cuba.

Galiano Ramírez. Programa Mesa Redonda Resumen. (enero.2012).

Cuadrado Aranda (2016). Mezclas asfálticas a partir de neumáticos y escoria siderúrgicas .Tesis de discusión en opción de título de ingeniero. Universidad de Holguín. Cuba.

Joa Rodríguez, J. M. (2009). El reciclaje. Principio, fin y resurrección de los materiales.

Montes (2009). Régimen jurídico y ambiental de los residuos sólidos. Colombia: Universidad Externado de Colombia.

Lahenz, E. (2018). Propuesta de dosificación para la producción de bloques huecos de hormigón con residuos de construcción de la planta de prefabricado Gran Panel VI. Tesis en opción al título de Ingeniero Civil. Universidad de Holguín, Cuba.

Maceo Chacón (2018) Utilización de los residuos de la planta de prefabricado Gran Panel como materia prima para la producción prefabricada de elementos complementarios. Tesis en opción al título de Ingeniero Civil. Universidad de Holguín.

Montiel Miguel. México. Uso de agregados reciclados para la fabricación de adoquines que se puedan utilizar en la pavimentación de calles, avenidas y pasos peatonales. (2017). Ing. Alfonso Montejó Fonseca (2002. Segunda edición). Ingeniería de Pavimentos para Carreteras, Tomo I. Universidad de Bogotá. Colombia.

O'Reilly, V (2011) Métodos para dosificar hormigones de elevado desempeño. Cuba, Editorial Científico Técnica.

Oficina Nacional de Normalización NC 120:2014 Hormigón Hidráulico. Especificaciones.

Oficina Nacional de Normalización NC 178:2002 Áridos. Análisis Granulométrico.

Oficina Nacional de Normalización NC 179: 2002. Áridos. Determinación del Contenido de Arcilla.

Oficina Nacional de Normalización NC 181:2002. Áridos. Determinación del peso volumétrico. Método de ensayo.

Oficina Nacional de Normalización NC 182: 2002. Áridos. Determinación del Material más fino que el Tamiz de 0.074 mm (tamiz N. 200). Método de Ensayo.

Oficina Nacional de Normalización NC 186:2002. Arena. Peso específico y absorción de agua. Método de ensayo.

Oficina Nacional de Normalización NC 187:2002. Árido grueso. Peso específico y absorción de agua. Método de ensayo.

Oficina Nacional de Normalización NC 189: 2002. Áridos Gruesos. Determinación de partículas Planas y Alargadas. Método de ensayo.

Oficina Nacional de Normalización NC 247:2010 Bloques huecos de hormigón. Especificaciones.

Oficina Nacional de Normalización NC 251: 2013. Áridos para Hormigones Hidráulicos. Requisitos.

Oficina Nacional de Normalización NC 504: 2013. Cemento Hidráulico. Método de ensayo. Determinación de la Estabilidad de Volumen.

Oficina Nacional de Normalización NC 506: 2013. Cemento Hidráulico. Método de ensayo.

Oficina Nacional de Normalización Determinación de la Resistencia Mecánica.

Oficina Nacional de Normalización NC 524:2015 Cemento Hidráulico. Método de ensayo. Determinación de la consistencia normal y tiempo de fraguado por aguja Vicat.

Oficina Nacional de Normalización NC 54-264:1984 Polvo de Piedra. Especificaciones de calidad.

Oficina Nacional de Normalización NC 95: 2011. Cemento Portland. Especificaciones.

Oficina Nacional de Normalización NC 980:2013. Cemento Hidráulico. Método de ensayo.

Oficina Nacional de Normalización NC: 133. 2002 Residuos Sólidos Urbanos.

Sánchez, (2011) Áridos reciclados para aplicaciones de hormigón no estructural. Laboratorio Central de Estructuras y Materiales CEDEX-Ministerio de Fomento. Madrid, España.

Santos, 2017. Propuesta de aprovechamiento de los residuos de la construcción y demolición en la producción de materiales. Universidad de Holguín. Cuba.

Sosa, A. (2016) Manejo de los RCD en la Habana Vieja: Constructora "Puerto de Carenas", OHH. Experiencias y resultados. [Diapositiva]. La Habana: 15 Diapositivas.

UICN. (2011). Guía de manejo de escombros y otros residuos de la construcción. San José, Costa Rica: UICN, Oficina Regional para Mesoamérica y la Iniciativa Caribe.

Urbina (2011) La ordenación de los residuos sólidos urbanos en la ciudad de Holguín. Enfoque desde un modelo espacial. Trabajo profesional especialidad de posgrado en ordenamiento territorial. Sin publicar Universidad de La Habana. La Habana. Cuba. 104 pp.

Urbina, M. y Zúñiga, L. (2016). Modelo conceptual para la gestión de los residuos sólidos domiciliarios. Revista electrónica Ciencias Holguín. Año XVII, Volumen 22, No 3, junio 2016. Disponible en: www.ciencias.holguin.cu [Consultado: 12 de marzo del 2018].

ANEXOS

ANEXO.1 Informe técnico árido fino 200 mil.

| RG IA 23.2 Informe Técnico de Árido fino para especificaciones en el hormigón | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------------|--|------------------|-------------------|--|------------------------------------|--|---------------------------|------------------------------|------------|------------|------------|
| | | EMPRESA NACIONAL DE INVESTIGACIONES APLICADAS UIC: _____ UIC HOLGUÍN LABORATORIO DE ENSAYOS | | | | | | | | | | |
| | | TIPO DE ÁRIDO: _____ ARENA ARTIFICIAL OBRA MUESTREADA: _____ CANTERA O YACIMIENTO: _____ | | | FECHA DE ENTRADA: _____ MUESTRA DE LABORATORIO: _____ MUESTRA CLIENTE No.: _____ TESIS DE ESTUDIANTE _____ 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 5 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 aparente | | | 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 | 2,02 | $\leq 3\%$ | $\pm 0,10$ | 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 $\geq 75\%$. Resistentes hormigones $\geq 70\%$. | - | - | | | |
| MÓDULO DE FINJURA | 27,3 | 85,2 | NC 251-2021 | Adm. | 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) | PULGADAS | 1 1/2" | 1" | 3/4" | 1/2" | 3/8" | No. 4 | No. 8 | No. 16 | No. 30 | No. 50 | No. 100 |
| | 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 | 84 | 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 | MAXIMO (%) | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 80 | 60 | 30 | 10 |
| | MINIMO (%) | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 90 | 70 | 45 | 25 | 10 | 2 |
| 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*. | | | | | | | | | | | | |
| Elaborado por: Téc. Carlos Mariel Cruz | | | Firma: | | | Aprobado por: Ing. Jorge Cano M | | | Firma: | | | |

(Fuente Lab. ENIA Holguín)

ANEXO.2 Informe técnico árido a partir de residuo prefabricado Gran Panel.

| RG IA 23.2 Informe Técnico de Árido fino para especificaciones en el hormigón | | | | | | | | | | | |
|--|--|----------|------------------|------------------------|---------------------|---|--|---------------------------|------------------------------|-----------------|----------|
|  | EMPRESA NACIONAL DE INVESTIGACIONES APLICADAS HOLGUIN LABORATORIO DE ENSAYOS | | | | | RG IA 23.2 | | | | | |
| | TIPO DE ÁRIDO: POLVO DE PIEDRA | | | | | FECHA DE ENTRADA: 17/06/2022 | | | | | |
| | OBRA MUESTREADA: _____ | | | | | MUESTRA DE LABORATORIO: _____ | | | | | |
| | CANTERA O YACIMIENTO: _____ | | | | | MATERIAL RECIKLADO DE LA PLANTA DE PREFABRICADOS HOLGUIN. | | | | | |
| MUESTRA CLIENTE No.: _____ | | | | | TESIS DE ESTUDIANTE | | | | LOTE No.: _____ | | |
| ESPECIFICACION PARA POLVO DE DE PIEDRA SEGUN NC 54-364.1984 | | | | | | | | | | | |
| ENSAYOS | CONDICIONES AMBIENTALES | | MÉTODO DE ENSAYO | UNIDAD | FECHA DE ENSAYO | RESULTADOS | ESPECIFICACIONES | INCERTIDUMBRE (U) CON k=2 | EVALUACIÓN DE LA CONFORMIDAD | | |
| | TEMP. °C | HUM. (%) | | | | | | | | | |
| Materia más fina que el tamiz No. 200 | 25 | 87.5 | NC 180-2002 | % | 20/06/2022 | 8.14 % | NO PDE ESPECIFICACION | ± 0.15 % | CONFORME | | |
| Partículas de arcilla | 25.3 | 87.5 | NC 173-2002 | % | 20/06/2022 | 1.3 % | ≤ 1 % | ± 0.18 % | - | | |
| 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 5 soluciones) | - | - | | |
| Peso específico aparente | 25.3 | 87.5 | NC 180-2002 | g/cm ³ | 20/06/2022 | 2.51 g/cm ³ | ≥ 2.5 g/cm ³ | ± 0.05 % | CONFORME | | |
| Peso específico saturado | 25.3 | 88.2 | NC 180-2002 | g/cm ³ | 20/06/2022 | 2.59 g/cm ³ | - | ± 0.18 % | - | | |
| Peso específico aparente | 25.3 | 88.2 | NC 180-2002 | g/cm ³ | 20/06/2022 | 2.72 g/cm ³ | - | ± 0.18 % | - | | |
| Absorción | | | NC 180-2002 | % | 20/06/2022 | 3.8 % | ≤ 3 % | ± 0.28 % | CONFORME | | |
| | | | | | | | - | - | | | |
| Peso volumétrico (suavio) | 25.3 | 87.5 | NC 181-2002 | kg/m ³ | 20/06/2022 | 1580 kg/m ³ | - | ± 0.18 % | - | | |
| Peso volumétrico (compactado) | 25.3 | 87.5 | NC 181-2002 | kg/m ³ | 20/06/2022 | 1786 kg/m ³ | - | ± 0.12 % | - | | |
| Por ciento de huecos | | | NC 177-2002 | adm. | | | Hormigones sometidos a la absorción y a expansiones de los distintos estados - 28.8° | - | - | | |
| Equivalente de arena (SE) | | | NC 880-2012 | % | - | - | Resistentes hormigones ≥ 70 % | - | - | | |
| | | | | | | | 2,20-3,58 | - | - | | |
| MÓDULO DE FINURA | | | NC 251-2013 | Adm. | | | 2,20-3,58 | - | - | | |
| ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO FINO POLVO PIEDRA No. 4 (4,75 mm)- No. 200 (0,075 mm) | | | | | | | | | | | |
| TAMICES (mm) | PULGADAS | 3/8" | No. 4 | No. 8 | No. 16 | No. 30 | No. 50 | No. 100 | No. 200 | FECHA DE ENSAYO | |
| mm | mm | 9.5 | 4.75 | 2.36 | 1.18 | 0.6 | 0.3 | 0.15 | 0.075 | | |
| POR CIENTO PASADO | % | 100 | 100 | 80 | 52 | 45 | 31 | 20 | 18 | 20/06/2022 | |
| INCERTIDUMBRE (U) para k=2 | % | ± 0.00 | ± 0.10 | ± 0.01 | 0,0,05 | ± 0.05 | ± 0.02 | ± 0.02 | ± 0.01 | | CONFORME |
| ESPECIFICACIONES | MÁXIMO (%) | 100 | 100 | 100 | 80 | 60 | 43 | 25 | 15 | | |
| | MÍNIMO (%) | 100 | 88 | 70 | 58 | 35 | 28 | 8 | 4 | | |
| Observaciones: Se usa la NC 54-364.1984 , 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 otra solución técnica en la que estén involucrados los miembros. *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*. | | | | | | | | | | | |
| Elaborado por: | Firma: | | | Aprobado por: | | | Firma : | | | | |
| Téc. Carlos Mariel Cruz R. | | | | Ing. Jorge Cano Morera | | | | | | | |

(Fuente Lab. ENIA Holguín)