

**FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES
CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

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

**VALORIZACIÓN DE LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON
RESIDUOS DE LA PLANTA DE PREFABRICADOS GRAN PANEL DE
HOLGUÍN.**

Autora: Ánnalie María Valle Arias

Holguín, 2023



FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES
CARRERA INGENIERÍA CIVIL

TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

VALORIZACIÓN DE LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON
RESIDUOS DE LA PLANTA DE PREFABRICADOS GRAN PANEL DE
HOLGUÍN.

Autora: **Ánnalie María Valle Arias**

Tutora: **MSc Ing. Eunices Soler Sánchez**

Holguín, 2023

VALORIZACIÓN DE LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON RESIDUOS DE LA PLANTA DE PREFABRICADOS
GRAN PANEL DE HOLGUÍN.



PENSAMIENTO

“La satisfacción radica en el esfuerzo, no en el logro. El esfuerzo total es la victoria total.”



Mahatma Gandhi



AGRADECIMIENTOS

- A mis padres y hermanos que desde el inicio de mis estudios me han ayudado y guiado en cada paso.
- A mi tutora Eunices por toda su dedicación y apoyo, por dar todo de sí para formar a cada uno de sus alumnos como buenos profesionales.
- A mis profesores, a cada uno de ellos, desde la primaria hasta hoy, que me educaron con todo su amor, profesional y personalmente.
- A mis amigos, por quererme y ayudarme cada vez que lo necesité, en especial a Lilian, Liliana, Mara, Frank y Daniel.
- A Lenier, que juntos compartimos estos 4 años de carrera y nos apoyamos siempre.
- A los que son más que amigos, a mí otra familia, a Eva, Cristina y Yeny.
- A los técnicos de la ENIA en especial a Michael por ayudarme en la realización de la investigación.

A todos, muchas gracias.



DEDICATORIA

- A mi principito, Liam, por alegrarme cada día desde que nació y sacarme sonrisas cuando todo parecía negro.
- A mis padres porque sin ellos no estaría en este punto, por cada noche sin dormir, por cada palabra de aliento, por su apoyo incondicional y por siempre creer en mí.
- A mi hermana por enseñarme a no rendirme y a luchar, por acompañarme siempre y nunca dejarme sola.
- A mis abuelos que desde el cielo siempre me cuidan y guían.

A todos, muchas gracias.



RESUMEN

Los áridos naturales son unos de los materiales más demandados en la construcción. Su generación y explotación conlleva un impacto muy negativo en el medio ambiente. La industria de la construcción, en constante crecimiento, es la causante de gran parte de la generación de residuos sólidos, principalmente los residuos de la construcción y demolición (RCDs), su reutilización es un aspecto fundamental para mitigar los daños que genera el depósito inadecuado de los mismos y la sobreexplotación de áridos no renovables. En este contexto, se plantea como problema de investigación: ¿cómo influyen los RCDs de la Planta de Prefabricado de Holguín como árido fino reciclado, en la estabilización de suelos, para su empleo en la conformación de la estructura vial? Para responder al mismo se tiene como objetivo evaluar la posibilidad de empleo de los RCDs de la Planta de Prefabricados de Holguín como árido reciclado en la estabilización de suelos en la conformación de la estructura vial, a partir fundamentalmente, del análisis del CBR y del impacto medioambiental. Para ello se requiere de la implementación de los siguientes métodos de la investigación científica: métodos teóricos, métodos empíricos y métodos estadísticos-matemáticos. Se resuelve finalmente realizar estabilizaciones al 6, 8,10 y 12% de RCDs además de una al 12% RCDs más 4% de cemento P250. Las estabilizaciones con RCDs elevaron el CBR del suelo en un 6, 8,10 y 14% respecto al CBR del suelo natural y la estabilización mixta lo elevó un 63%. Esta última se concluye como satisfactoria. La redacción se basó en la Norma APA versión 7ma.



ABSTRAC

Natural aggregates are one of the most demanded materials in construction. Its generation and exploitation has a very negative impact on the environment. The construction industry, in constant growth, is the cause of much of the generation of solid waste, mainly construction and demolition waste (CDW), its reuse is a fundamental aspect to mitigate the damages generated by the inadequate deposit of the same and the overexploitation of non-renewable aggregates. In this context, it is posed as a research problem: how do the CDW of the Holguín Prefabricated Plant influence as a refined fine aggregate, in the stabilization of soils, for its use in the conformation of the road structure?. To respond to it, the objective is to evaluate the possibility of using the CDW of the Holguín Prefabricated Plant as recycled aggregate in the stabilization of soils in the conformation of the road structure, based mainly on the analysis of the CBR and the environmental impact. This requires the implementation of the following methods of scientific research: theoretical methods, empirical methods and statistical-mathematical methods. It is finally resolved to perform stabilizations at 6, 8, 10 and 12% of CDW in addition to one at 12% CDW plus 4% cement P250. The stabilizations with CDW raised the CBR of the soil by 6, 8, 10 and 14% compared to the CBR of the natural soil and the mixed stabilization raised it by 63%. The latter is concluded as satisfactory. The wording was based on the APA version 7th standard.



ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL DE LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS	
1.1 Estabilizaciones de suelos. Conceptos y métodos existentes.....	7
1.1.1 Tipos de estabilizaciones.....	8
1.1.1.1 Estabilización mecánica:.....	8
1.1.1.2 Estabilización física:.....	9
1.1.1.3 Estabilización química:.....	9
1.2 Experiencias internacionales y nacionales con el uso de los estabilizadores tradicionales, cemento y cal.	144
1.2.1 Experiencias internacionales con el empleo de cemento y cal como agentes estabilizadores.	144
Cal.....	168
1.2.2 Experiencias nacionales con el empleo de estabilizadores tradicionales.	18
1.3 Estabilización de suelos empleando residuos de la construcción.	18
1.3.1 Definición, clasificación de residuos.	18
1.3.2 Residuos de la Construcción y demolición (RCDs):	200
1.3.3 Situación de los RCDs proveniente de industrias en el territorio.	200
1.3.4 Aprovechamiento de los RCDs en Cuba	222
1.3.5 Experiencias internacionales empleando de RCDs para estabilizar suelos.....	244
1.4 Ensayos necesarios para el análisis de la subrasante de carreteras.	28
1.4.1 Ensayo de granulometría	28
1.4.2 Ensayo de límites de Atterberg o límites de consistencia	28
1.4.3 Ensayo del peso específico	29



1.4.4	Ensayo de Proctor Modificado	29
1.4.5	Ensayo de California Bearing Ratio (CBR)	30
CAPÍTULO II. VALORIZACIÓN DEL EMPLEO DE LOS RCDs DE LA PLANTA DE PREFABRICADOS GRAN PANEL DE HOLGUÍN COMO MATERIAL PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS.		
2.1	Suelos en el territorio de Holguín.	322
2.2	Muestreo de los materiales utilizados para la estabilización	34
2.2.1	Suelo cantera Júcaro.	34
2.2.2	Cemento	35
2.2.3	Residuos de construcción y demolición (RCDs)	35
2.3	Caracterización de los materiales utilizados para la estabilización del suelo.....	37
2.3.1	Suelo Júcaro	37
2.3.2	RCDs	39
2.4	Análisis comparativo de las estabilizaciones del suelo con cemento y RCDs.....	42
2.4.1	Ensayo de CBR.	42
2.4.1.1	Ensayos de CBR para las mezclas suelo-cemento.	43
2.4.2	Ensayos de CBR para las mezclas suelo-RCDs.....	43
2.4.3	Ensayo de CBR para la mezcla suelo- 4% P-250- 12% RCDs.	46
2.5	Valorización de los RCDs de la Planta de Prefabricados Gran panel de Holguín como material para la estabilización de suelos a partir de los resultados alcanzados.	47
CONCLUSIONES.....		53
Recomendaciones.....		54
Referencias Bibliográficas		
Anexos		



INTRODUCCIÓN

El funcionamiento a largo plazo y la durabilidad de cualquier obra de construcción depende de la calidad del suelo en el que está estructurada. Es de suma importancia sobre todo en aquellas obras que se encuentren apoyadas directamente sobre este ya sea de forma natural o compactado, como son los viales. Un suelo inestable provoca daños significativos de las estructuras y los pavimentos.

Los viales están constituidos por dos estructuras: la superestructura, que constituye el pavimento, conformado por varias capas estratigráficas que son: la capa de rodadura (es la que tiene contacto directo con los vehículos), base y sub-base, ambas constituidas por materiales granulares. Encargadas de transmitir las cargas producidas por el tránsito de forma segura, cómoda y económica a la subestructura, subrasante, que constituye la otra parte del vial. Esta última puede ser de material in situ, cuando la vía se encuentra en zona de corte, o material de préstamo, cuando se encuentra en terraplén. De la calidad que posea dependerá la calidad de la superestructura.

Cada una de estas subcapas deben cumplir con los requisitos exigidos por las normas de pavimentos (NC 334-2004) Diseño de pavimentos flexibles. Métodos de cálculo.

Las características deseadas para los materiales que constituyen las capas estratigráficas de un vial son: alta resistencia mecánica, permanencia de la resistencia durante la vida útil del pavimento, alta densidad, baja susceptibilidad a cambios volumétricos y al agua y buena trabajabilidad durante la compactación.

El sistema de clasificación de suelos *American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)* define que para que un suelo sea de excelente a bueno como material para base o subrasante debe entrar en las clasificaciones de A-1-a, A-1-b, A-3, A-2-4, A-2-6 y A-2-7; con fragmentos de materiales como: rocas, gravas, arena, arena fina y limo o grava arcillosa. Un suelo se clasifica de regular a malo en las categorías de A-4, A-5; que son suelos limosos y de A-6, A-7, A-7-5, A-7-6; suelos arcillosos y la clasificación A-8 para suelos con abundante presencia de materia orgánica.

Cuando el suelo que se dispone en el terreno no cumple los requisitos óptimos o aceptables se emplean técnicas que ayuden a mejorar sus características y las lleven al menos a los valores mínimos. La forma más económica y relativamente fácil de

lograr estas mejoras es mediante la compensación. La misma se puede realizar cuando en otra área de la explanada existen suelos que sí cumplan los requisitos exigidos para la conformación de una carretera. Otra vía de lograrla es utilizando material de préstamo de cantera. Este último provoca problemas en dependencia de la lejanía de la cantera, que posee el material acorde a las necesidades del proyecto, con el lugar de obra. También se debe tener en cuenta si se ha explotado con anterioridad. Es por esto que en múltiples casos se buscan otros medios para aprovechar al máximo el suelo in situ. Lo que genera que se acudan a métodos más asequibles, principalmente las estabilizaciones. Las mismas permiten mejorar las características físicas, químicas y mecánicas del suelo y reducir la explotación de canteras.

La estabilización consiste en agregar un producto químico o aplicar un tratamiento físico-mecánico para modificar las características de los suelos. Es la corrección de una deficiencia para darle una mayor resistencia al terreno o bien, disminuir su plasticidad.

Se conoce que el sector de la construcción tiende a ser unos de los más agresivos con el entorno. Emplea el 40% de las materias primas en el mundo, 3000 millones de toneladas por año, en su mayoría materiales pétreos. A su vez es la causante del 30% de los residuos sólidos a nivel mundial y la principal productora de gases de efecto invernadero. (Bernal González, 2017).

Específicamente en la construcción de viales los grandes movimientos de tierras y la explotación de canteras para obtener suelos idóneos son factores que dañan significativamente al medio. Razón que lleva a la búsqueda de alternativas que sustituyan un poco los métodos tradicionales de estabilización, mediante la reutilización de los residuos, específicamente los RCDs. Logrando disminuir así la generación de contaminantes y el descenso en el uso de áridos naturales .

Canu (2017) plantea que la economía circular es aquella que es restaurativa y regenerativa a propósito, la que trata que productos, componentes y materias mantengan su utilidad y su valor máximo en todo momento, conciliando los ciclos técnicos con los principios de equilibrio y resiliencia característicos de los ciclos biológicos. Este nuevo modelo económico trata en definitiva de desvincular el desarrollo económico global del consumo de recursos finitos.

La gestión y reutilización de los RCDs, para la creación de una economía circular, fomenta la sostenibilidad del sector de la construcción. Lo que conlleva a una reducción de estos residuos y la contaminación, además del ahorro económico en nuevos materiales.

En el marco internacional se realizan estudios que arriban a exitosas conclusiones sobre el uso de residuos industriales para estabilizar los suelos. Constituyen ejemplos los siguientes: las escorias de carbón, cenizas volantes, los RCDs como sustituto de los áridos para aumentar la resistencia. Estos últimos objetos de estudio de la presente investigación.

En Cuba los métodos de estabilización más empleados son las estabilizaciones químicas con cal y cemento; además de la estabilización mecánica con áridos finos. Estas técnicas son efectivas, pero demandan de materiales altamente utilizados en otros procesos constructivos de primera necesidad. Lo que genera una sobreexplotación de los mismos y por ende escasez. Resulta primordial el uso de estas alternativas comentadas anteriormente y el estudio de otros residuos que permitan incluirlos en los métodos de tratamientos de suelos.

La provincia de Holguín posee en las zonas sur y sureste suelos predominantemente arcilloso que según la NC 63:2000 clasifican como A-7-5, no cumple como subrasante. En la parte norte del territorio, en los municipios Freyre y Banes también existen también estos tipos de suelos. Por este motivo el Vial de Antilla, que es el principal acceso al polo turístico fue conformado con suelo estabilizado con cemento al 7%. Luego de analizar otras alternativas como el producto CONSOLID, se determina que a pesar de los buenos resultados que ofrece genera altos costos y demanda de tecnologías no existentes en el territorio. Estos aspectos demuestran la necesidad de estudiar nuevas alternativas con productos locales, como los residuos de la construcción, para la estabilización.

Lograr una adecuada gestión de los residuos de construcción y demolición (RCDs) se convierte en un problema en el municipio Holguín, dada la forma indiscriminada y descontrolada en que se realiza su disposición final, lo que representa una de las fuentes más preocupantes de contaminación ambiental (Bernal y Urbina, 2017). Ello hace suponer, que aún es insuficiente la concientización a los trabajadores y decisores de la construcción, de las oportunidades de reutilización de este tipo de residuo como

árido, en las futuras construcciones, lo que permitiría una reducción del impacto negativo que se genera al medio ambiente con la explotación de canteras.

A pesar de que se han demostrado en diversas investigaciones las oportunidades que ofrecen los RCDs para la confección de morteros, bloques, baldosas, etc., aún podrían extenderse su uso en otras esferas de la construcción como son los viales. Tal es el caso de la planta de prefabricado Gran Panel VI de Holguín, donde se generan grandes volúmenes de residuos que no son valorizados para realizar actividades de mayor impacto económico con menos recursos y así eliminar el déficit de arena de origen natural y el uso excesivo de cemento.

Se evidencia, por tanto:

- Desaprovechamiento de los residuos de la construcción generados.
- Insuficiente cultura de los directivos en la reutilización de los residuos de la construcción en la producción de materiales alternativas.

Es de esta manera que se hace necesario, llevar a cabo un estudio de valorización de estos residuos generados en la planta de prefabricado Gran Panel VI de Holguín, que muestre sus potencialidades como áridos reciclados para su empleo como material en la estabilización de suelos a emplear en obras viales..

De lo anteriormente planteado se deriva la contradicción que se manifiesta entre las limitaciones en el conocimiento de las potencialidades de los RCDs como áridos reciclados y la necesidad de empleo de materiales alternativos para la estabilización de suelos en la conformación de las explanadas viales que permitan minimizar el uso de árido de origen natural y el excesivo uso del cemento. Por tanto, se plantea como problema de la investigación el siguiente:

¿Cómo aprovechar el árido reciclado procedente de residuos de construcción de la planta de prefabricado Gran Panel VI de Holguín, para la estabilización de suelos en la conformación de las estructuras viales que permita minimizar el uso de arena de origen natural y el cemento como material tradicional?

Objeto: la estabilización de suelos en la conformación de las estructuras viales

Campo: los residuos de construcción y demolición de la planta de prefabricado Gran Panel VI de Holguín en la estabilización de suelos para la conformación de las estructuras viales

Objetivo general: evaluar el comportamiento de los residuos de construcción y demolición de la planta de prefabricado Gran Panel VI de Holguín como árido reciclado en la estabilización de suelo para la conformación de la estructura vial, que permita minimizar el uso de arena de origen natural y el cemento como material tradicional.

Para dar cumplimiento al objetivo planteado se establecen los siguientes objetivos específicos:

1. Establecer los fundamentos teóricos relacionados con las estabilizaciones y los métodos de estabilización con árido reciclado.
2. Definir las tendencias actuales de la utilización de áridos reciclados de residuos de construcción y demolición en la estabilización de suelos para la conformación de la estructura vial.
3. Diseñar alternativas de empleo del árido reciclado de RCDs de la planta de prefabricado Gran Panel VI de Holguín como material estabilizador.

Hipótesis: si se evalúa el comportamiento del árido reciclado de RCDs de la planta de prefabricado Gran Panel VI de Holguín en la estabilización de suelo para la conformación de la estructura vial, a partir de los ensayos de laboratorio del CBR y del impacto medioambiental, se podrá minimizar el uso de arena de origen natural y el cemento como material tradicional.

La constatación de la hipótesis de la investigación, el cumplimiento de los objetivos y la solución del problema requirió de la implementación de métodos de la investigación científica:

Métodos teóricos:

- Abstracción y generalización: para la asunción de definiciones y criterios clasificatorios de la estabilización de los suelos con áridos reciclados de RCDs.
- Histórico-lógico: para determinar los antecedentes históricos que han caracterizado los estabilizadores de suelos de las explanadas para viales con áridos reciclados de RCDs.
- Hipotético-deductivo: para concebir la lógica del proceso investigativo para la elaboración de la hipótesis.
- Inducción-deducción: para analizar críticamente el marco teórico y los resultados del proceso de experimentación y llegar a conclusiones.

Métodos empíricos

- Análisis documental: para determinar los fundamentos teóricos y metodológicos que sustentan la utilización de áridos reciclados de RCDs en la estabilización de suelos.
- Experimento: para determinar las características de los materiales a utilizar, así como la combinación y dosificación correctas de los mismos para obtener una estabilización de los suelos para explanadas de viales con las exigencias normativas.

Métodos estadísticos-matemáticos

- Estadísticos descriptivos: para la organización y presentación de las informaciones derivadas de los procesos de diseño de las alternativas de empleo.
- Estadísticos inferenciales: para el diseño del proceso de experimentación y la realización de inferencias a partir de los resultados obtenidos con él y con el proceso de constatación de la hipótesis.

Aporte de la investigación:

Propuestas de alternativas de empleo del árido reciclado de RCDs de la planta de prefabricado Gran Panel VI de Holguín en la estabilización de suelo para la conformación de la estructura vial.

Novedad científica: radica en los análisis de los resultados que se alcanzan de resistencia del suelo tratado para diferentes porcentajes de mezclas suelo -residuo (RCDs) y mezclas con la conjugación (suelo- cemento – RCDs).

Actualidad de la investigación: El estudio parte del planteamiento expuesto en la Asamblea Nacional del Poder Popular, realizada en el año 2021, de la búsqueda de soluciones a las problemáticas de cada provincia. Así como de la sugerencia de los decisores que atienden los viales en el territorio holguinero de analizar los recursos locales, en este caso de los residuos, para la búsqueda de soluciones a partir del uso en esta área de la construcción. Además, responde a la línea de investigación de la Universidad de Holguín Innovación para el desarrollo sostenible. Da respuesta a los objetivos 9 y 11 establecidos en la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible, los cuales están relacionados con la industria, innovación e infraestructura y a las ciudades y comunidades sostenibles.

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL DE LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

En el presente capítulo se desarrolla el marco teórico-referencial de los métodos de estabilización de suelos. En el mismo se describen los métodos de estabilización más empleados y sus características, suelo-cal y suelo-cemento, además de un estudio de los antecedentes internacionales del uso de RCDs en labores de estabilización de suelos. Finalmente se referencian algunas de las experiencias nacionales de los estabilizadores de suelo.

1.1 Estabilizaciones de suelos. Conceptos y métodos existentes

La estabilización del suelo es el proceso mediante el cual, se someten los suelos naturales a ciertas modificaciones o tratamientos. Permiten que se puedan aprovechar sus cualidades, obteniéndose mejoras en la estabilidad y durabilidad. Aumentan la capacidad de soportar los efectos de las cargas estructurales, del tránsito, y las condiciones climáticas más adversas por ende aseguran geotécnicamente el comportamiento de las explanadas. (Valle Areas. W.A, septiembre 2020)

The United States Army Corps of Engineers, 1984 (USACE) define la estabilización de suelos como el proceso de mezclado de materiales con el suelo, con el objetivo de mejorar las propiedades que se determinen pertinentes en el mismo. Los propósitos con los cuales se realiza la estabilización para pavimentos, son el mejoramiento de la calidad (en cuanto a la resistencia y durabilidad), y la reducción de espesores de diseño en las capas de un pavimento.

Según el libro *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das 2015* es un proceso de alteración de las propiedades de ingeniería del suelo *in situ* o tomado a un costo más bajo y con mejor control de calidad. Las técnicas de mejora del suelo se pueden colocar en dos categorías principales: la estabilización química y la estabilización mecánica.

Al tener en cuenta el criterio de diferentes autores, puede concluirse que es una forma de explotar el suelo del que se dispone, sin necesidad de ser sustituido por otro, a pesar de estar en presencia de un suelo que no cumpla con las especificaciones que de él se demandan. Mediante este tratamiento se alteran, usando aditivos generalmente, los suelos *in situ* y se logran mejorar parcial o totalmente aquellas

deficiencias que presenten. Su uso es muy común en casi todos los proyectos de carreteras y obras de construcción.

Un suelo se considera estable cuando posee la resistencia suficiente para no sufrir grandes deformaciones ni excesivo desgaste por acción de las condiciones climáticas variables que se puedan presentar y las cargas que soporta. Las estabilizaciones cambian una o más propiedades del suelo y con ello se logran: controlarse la expansión, incrementar la resistencia, reducir la plasticidad, disminuir la permeabilidad, prevenir la erosión, entre otras. Pero existen diferentes tipos de estabilizaciones según las mejoras que queremos obtener. Como fue mencionado los métodos y tipos de estabilizaciones más usadas son la química y mecánica, aunque también existe la física, cuyo principio es muy similar a esta última. Cada una provoca efectos diferentes en los suelos.

1.1.1 Tipos de estabilizaciones

1.1.1.1 Estabilización mecánica

Este tipo de estabilización se basa en la mezcla de diversos materiales con propiedades complementarias, para obtener un nuevo material el cual posea la calidad requerida. Con este método se persigue generalmente alterar las propiedades, en un principio, plasticidad y granulometría del suelo; pues la primera afecta como el suelo se va a comportar ante el agua y la segunda incide en la resistencia, la trabajabilidad y la compactación final. Para su aplicación se requiere de las siguientes operaciones:

- Escarificación y pulverización del suelo.
- Mezcla íntima y homogénea de los materiales.
- Extensión y nivelación de la mezcla.
- Humectación y compactación de la mezcla, hasta alcanzar la densidad mínima requerida en la obra.

Una de las formas de estabilizar mecánicamente un suelo es mediante la compactación, debido a que aumenta la densidad del mismo, a través de la aplicación de energía mecánica, producto al acomodo de sus partículas una vez extraído el aire lo que disminuye su relación de vacío.

Mejoras que le brinda al suelo:

- Con la compactación habrá un contacto más firme entre las partículas, por lo que la resistencia al corte del suelo aumenta y por lo tanto también su capacidad de carga.
- Al disminuir los vacíos el suelo se vuelve más impermeable.
- Al reducirse la relación de vacíos disminuye la capacidad de deformación y los asentamientos quedarán reducidos

Los suelos friccionantes como la arena, se compactan efectivamente por métodos vibratorios mientras que los arcillosos se compactan mejor bajo la acción de grandes presiones o por fuerzas de impacto.

1.1.1.2 Estabilización física

La estabilización física consiste en modificar los suelos mediante la intervención en algunas de sus propiedades para aportar características estructurales nuevas. Entre los procedimientos físicos se encuentran el uso de los materiales denominados geosintéticos, tales como los geotextiles, fabricados generalmente de fibras sintéticas como el poliéster o polipropileno; las geomallas, estructuras tridimensionales pero con la característica de ser mono o bi-orientadas y fabricadas en polietileno de alta densidad; las geomembranas, láminas poliméricas impermeables fabricadas en cloruro de polivinilo (PVC), o polietileno de alta o baja densidad (PEAD/PEBD); el geocompuesto, diseñado específicamente para estabilización de suelos donde se requiere tanto refuerzo como separación de una base granular y un subsuelo muy fino, este se produce uniendo un geotextil no tejido a una geomalla, lo que permite una gran interacción con el suelo reforzado; y las geoceldas, que son sistemas tridimensionales de confinamiento celular fabricadas en paneles de polietileno o polipropileno, muy resistentes para el confinamiento de cargas (Liu et al., 2011)¹

1.1.1.3 Estabilización química

La estabilización química consiste en la aplicación de aditivos químicos para mejorar el comportamiento de los suelos. Se utiliza para aumentar la manejabilidad del mismo, haciéndolo más fácil de usar como material de construcción. También se emplea para reducir la plasticidad y el potencial de expansión-contracción. Si hay presencia de arcillas dispersivas, se utiliza para flocular las partículas. Cuando las arcillas son

¹ Rivera, Jhonathan; Aguirre-Guerrero, Ana; Mejía de Gutiérrez, Ruby; Orobio, Armando (2020). Estabilización química de suelos. Materiales convencionales y activados alcalinamente. <https://doi.org/10.23850/22565035.2530>

difíciles de compactar, se pueden añadir productos químicos para dispersar ligeramente sus partículas y ayudar en el proceso. (Das Braja M. Cuarta Edición, 2015)

Las estabilizaciones pueden ser realizadas tanto in situ como en plantas.

Estudios a realizar:

Límites de Atterberg

Granulometría

Equivalente de arena

CBR

Compresión

Métodos de estabilización química más comunes:

- Estabilización química con cemento:

La *Portland Cement Association* (PCA) (2001) define el suelo- cemento como una mezcla pulverizada de suelo y cantidades medidas de cemento Portland y agua, compactadas hasta una alta densidad. Cuando el cemento se hidrata la mezcla se vuelve un material de pavimentación resistente y durable. Una mezcla bituminosa se debe colocar sobre la base completa para completar el pavimento.

Según el Manual de Estabilización de Suelos con Cemento o Cal (MANUAL IECA, 2008) los cementos, al fraguar e hidratarse producen uniones entre las partículas del suelo. De esta forma disminuyen la sensibilidad al agua y, en función del contenido de conglomerante, pueden aumentar considerablemente la resistencia a la deformación. Son adecuados para tratar tanto los suelos granulares como los de grano fino, salvo que sean muy plásticos o se encuentren muy húmedos.

También puede ser utilizado para estabilizar suelos arenosos y arcillosos. Ayuda a disminuir el límite líquido y aumentar el índice de plasticidad y manejabilidad de los suelos arcillosos. La estabilización con cemento es eficaz cuando el límite líquido es menor que 45 a 50 y el índice de plasticidad es menor de aproximadamente 25. Ayuda a aumentar la resistencia y la fuerza con el tiempo de curado. Es muy importante para que se logren estos efectos, que el material por mejorar tenga un porcentaje máximo de materia orgánica del 34%.

Existen dos métodos para estabilizar con cemento Portland.

1-Tipo flexible, en el cual el porcentaje de cemento varía del 1 al 4%, con esto solo se logra disminuir la plasticidad y el incremento en la resistencia resulta muy bajo.

2- Estabilización rígida: el porcentaje de cemento varía del 6 al 14%, este tipo de mejoramiento es muy común en las bases, para asemejar el módulo de elasticidad al de la carpeta, con ello se evita una probable fractura de la carpeta.

Para conocer el porcentaje óptimo se efectúan pruebas de laboratorio con diferentes contenidos de cemento como el de Proctor para conocer su peso específico y humedad óptima de compactación. Además de esto se le aplica una prueba a la resistencia de compresión sin confinar (simple).

Tabla 1.1 Cantidad de cemento a emplear para una buena estabilización²

Requerimientos de cemento para una estabilización efectiva	
Suelo bajo el Sistema Unido de Clasificación (SUCS)	Porcentaje de cemento por volumen
GP, SP, SW	6-10
CL, ML, MH	8-12
CL, CH	10-14

Tabla 1.2 Resistencia a la compresión de algunas mezclas suelo-cemento.³

Rango típico de resistencia a la compresión no confinada para mezclas suelo-cemento (10% de cemento por peso)	
Suelo	Resistencia a la compresión no confinada q_u KN/m ²
Arena	3500-11 000
Grava	
Arena-Arcilla bien clasificada	
Grava-arena-arcilla	
Arena limosa	1700-3500
Arena arcillosa	700-1700
Arcilla limosa	

² Tomado de Braja. D, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 4ta edición

³ Tomado de Braja. D, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 4ta edición

Aspecto del suelocemento in situ a la salida del equipo.



Rehabilitación de un carril mediante la técnica de suelocemento in situ.



Foto 1.1 Suelo antes de la estabilización y después de la misma.⁴

- Estabilización química con cal:

Kraemer et al. (2004) define que la estabilización de suelos con cal es la mezcla de cal aérea (viva o apagada) y agua. Los suelos más apropiados para estabilizar con cal son los de granulometría fina, de plasticidad notable y alta humedad natural. Según el tipo de suelo, los porcentajes de cal que se suelen usar están entre el 2 a 7% del peso seco del suelo

Los tipos de cal utilizados para estabilizar los suelos de grano fino son cal hidratada alta en calcio $[Ca(OH)_2]$, cal viva calcítica (CaO), cal dolomítica monohidratada $[Ca(OH)_2 MgO]$ y cal viva dolomítica. La cantidad de cal utilizada para estabilizar la mayoría de los suelos por lo general está en el intervalo del 5 al 10%.

En general, los suelos arcillosos de grano fino (con un mínimo del 25 por ciento que pasa el tamiz 200 y un Índice de Plasticidad mayor que 10) se consideran buenos candidatos para la estabilización con cal. Los suelos que contienen cantidades significativas de material orgánico (mayor que 1 por ciento) o sulfatos (mayor que el 0.3 por ciento) pueden requerir cal adicional y/o procedimientos de construcción especiales.

La cal viva cuando se combina químicamente con el agua, produce una reacción exotérmica que contribuye a secar los suelos mojados debido al calor generado. Cuando las arcillas están presentes, la reacción con las mismas, seca aún más los

⁴ Castillo, B. (2015). Estabilización con cemento. *Maestría en ingeniería en Vialidad y Transportes*. Cuenca.

suelos. El efecto inmediato es que el secado ocurre rápidamente, permitiendo la compactación del suelo mucho antes que por la evaporación natural.

Tabla 1.3 Influencia de la cal en la plasticidad de la arcilla (Thompson,1967)⁵

Suelo	Clasificación AASHTO	0% de Cal		5% de Cal	
		Límite Líquido	Índice de plasticidad	Límite Líquido	Índice de plasticidad
Bryce B	A-7-6(8)	53	29	NP	NP
Cowden B	A-7-6(19)	54	33	NP	NP
Drummer B	A-7-6(19)	46	29	NP	NP
Huey B	A-7-6(17)	46	29	NP	NP

- Proceso de aplicación:
 1. Escarificación del terreno.
 2. Suministro y aplicación el óxido de cal.
 3. Humectación del terreno.
 4. Mezclado, pulverización
 5. Compactación al 95%, lo más rápido posibles después del mezclado.
 6. Sellado con emulsión para que se cure la capa tratada, si va a recibir pavimento o sello.



Foto 1.2 Suelo tratado con cal, antes y después del mejoramiento.⁶

⁵ Castillo, M., & Cesar, R. (2015). Estabilización de suelos con cal. *Maestría Ingeniería en Vialidad y Transportes*. Cuenca.

⁶ Castillo, M., & Cesar, R. (2015). Estabilización de suelos con cal. *Maestría Ingeniería en Vialidad y Transportes*. Cuenca.

1.2 Experiencias internacionales y nacionales con el uso de los estabilizadores tradicionales, cemento y cal

Como se ha mencionado la estabilización es un mecanismo muy eficiente para el aprovechamiento del suelo del que disponemos. Lo que la ha vuelto un método ampliamente usado en el mundo. No requiere el empleo de grandes tecnologías para su aplicación y reduce gastos económicos, aportando durabilidad y resistencia a las obras.

1.2.1 Experiencias internacionales con el empleo de cemento y cal como agentes estabilizadores

- **Cemento:**

La utilización del cemento como aditivo en la estabilización de suelos tuvo su inicio en España y Latinoamérica después de la Segunda Guerra Mundial y en la actualidad sigue siendo uno de los estabilizadores por excelencia.

Proporciona una elevada capacidad de soporte a la explanada, disminuyendo las tensiones que llegan a las capas del firme, con lo que aumenta la vida de servicio del mismo.

Experiencias:

- Intervención realizada en la carretera departamental Costanera II, la cual inicia en la localidad de Negritos, provincia de Talara, y termina en el distrito de Tamarindo, provincia de Paíta, Perú. (Morocho Adrianzen & Casaverde Farfan, 2022)

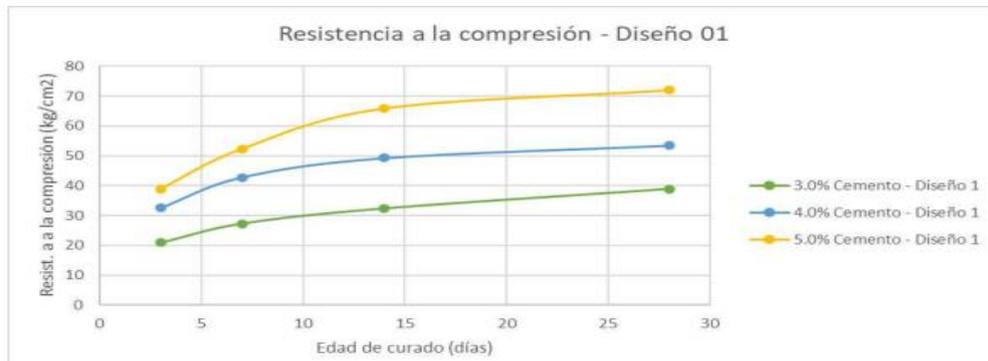
Se evidencia la presencia de suelos de baja relación soporte. Un 48% de las muestras ensayadas, a una profundidad de entre 0.10 y 1.50 metros, contaron con valores de CBR menores a 6% lo cual califica estos sectores como subrasantes pobres o inadecuadas según el Manual de Carreteras MTC, 2014.

La vía existente del tramo en estudio se caracteriza por estar compuesto por un paquete estructural con un espesor mínimo aproximado de 0.09 metros, compuesto por un 73% de suelo granular de tipo grava arcillosa/limosa, 15% de arena arcillosa/limosa con grava y 12% de suelos finos como limos y arcillas.

Para el tratamiento de este suelo se realizaron dos diseños suelo-cemento, el primero con material granular de la cantera Portachuelos 2 y el segundo con material de la

cantera San Pancho, clasificados como A-1-a (0) A-1-b (0) respectivamente según la norma AASHTO.

Resultados obtenidos aplicando diferentes porcentajes de cemento en ambos diseños:



Graf 1: Resultados de ensayo de resistencia a la compresión⁷

En el gráfico se aprecia cómo aumenta la resistencia del suelo ensayado, con aditivo de cemento según el porcentaje que se emplee.

Al aplicar cemento al 3% se parte de una resistencia de 20 kg/cm² y se alcanza una resistencia de casi 40 kg/cm² alrededor de los 28 días de fraguado, tuvo incremento de 20 kg/cm². Con la adición al 4% se parte de aproximadamente de 32 kg/cm² y se alcanza una resistencia poco más de 50 kg/cm², incrementa su valor 18 kg/cm². La adición al 5% parte de casi 40 kg/cm² y alcanza a los 28 días una resistencia por encima de 70 kg/cm², el incremento en este caso fue superior a 30 kg/cm².

Se puede concluir entonces que las adiciones al 3% y 4% a pesar de que se diferencia en la resistencia inicial, arrojan resistencias finales con un incremento bastante similar. No así al 5% que ofrece un incremento superior. Esto demuestra que si se aumenta la adición de cemento se obtienen mejoras más significativas en el material a estabilizar.

⁷ Morocho Adrianzen, F., & Casaverde Farfan, G. (2022). *Diseño y Aplicación de base estabilizada con cemento, producida en planta de suelos para el tramo 2 de la carretera departamental costanera II*. Universidad de Piura, Perú.

El caso de estudio descrito demuestra la influencia que tiene el cemento como estabilizador, mejora significativamente los valores de resistencia mecánica del suelo intervenido y otras propiedades citadas anteriormente.

Debido a las múltiples ventajas que tienen los suelos tratados con cemento, diversos países lo aplican de forma casi generalizada. Por ejemplo, en El Salvador, el 95% de los caminos rurales pavimentados tiene base de suelo-cemento y en los últimos años, el 100% de nuevas vías urbanas e interurbanas y pisos industriales tienen bases de suelo-cemento y la provincia de Buenos Aires cuenta actualmente con más de 78 millones de m² de pavimento de suelo cemento, lo que equivale a más de 13.000 km de una calzada de 6 m de ancho (Estabilización de suelos con cemento, 2018).

- Cal

La cal es uno de los aditivos más empleados con el fin de mejorar un suelo, su amplio uso viene dado por la reducción de la plasticidad que provoca en los mismos, obteniéndose mejoras significativas en cuanto a la resistencia.

Experiencias internacionales:

- Las zahorras⁸ de la ciudad de Cartagena se caracterizan por presentar CBR comprendidos entre el 20% y el 50%, el cual hace poco recomendable su utilización como material de base para pavimento donde las normas INVIAS (normas del país) recomiendan un CBR del 80% mínimo para obtener resultados satisfactorios. (Fontalvo O. D y otros 2006)

Para la investigación se tomaron muestras de zahorra con propiedades similares a las del suelo de Cartagena para desarrollar los diferentes ensayos, las cuales fueron tomadas de la cantera Cimaco.

El suelo natural se clasificó como A-2-4 según la norma AASHTO y como GM-GC según la norma SUCS, es decir gravas limosas, mezclas gravas-arena-limo y gravas arcillosas, mezclas grava-arena-arcilla.

Se realizaron adiciones de cal al 2% las que arrojaron los siguientes resultados.

Tabla 1.5 Resultados con la aplicación de cal al 2%

Propiedades (%)	0% de cal	2% de cal
Límite Líquido (LL)	24,17	N.L
Límite Plástico (LP)	17,46	N.P

⁸ Material granular, de granulometría continua, utilizado como capa de firme.

Índice de plasticidad (IP)	6,71	N.P		
CBR	77,42	4 días	14 días	28 días
		95.96	102.4	105.6

- Brecha este 107 entre sur 22 y sur 29, San Fernando, Tampas. Junio 2006

El suelo natural de esta vía era una arcilla plástica en combinación con arenas y gravas, luego de ser tratado con un 3% de cal se obtuvieron mejoras significativas en sus propiedades.

Tabla 1.6 Resultados obtenidos con la aplicación de cal al 3%⁹

Propiedades (%)	0% de cal	3% de cal
Límite Líquido (LL)	44	33
Límite Plástico (LP)	34	28
Índice de plasticidad (IP)	10	5
Contracción lineal	1.5	0

- Estabilización calle Río Tigris, Fracc. Privada San Carlos, Guadalupe, NL. Agosto / Septiembre 2005.

El suelo natural que poseía esta calle no cumplía los requerimientos mínimos para ser usado como subrasante de un vial, se clasificaba como una arcilla altamente plástica, solo apto para cultivos, clasificada como CH según la norma SUCS.

Tabla 1.7 Resultados obtenidos con la aplicación de cal al 5%¹⁰

Propiedades (%)	0% de cal	5% de cal
Límite Líquido (LL)	58	27
Límite Plástico (LP)	22	18
Índice de plasticidad (IP)	36	6
Contracción lineal	14	3

Este ejemplo corrobora el perfeccionamiento que brinda la cal a la humedad de los suelos y su reacción ante agua, lo que eleva a su vez el comportamiento mecánico.

⁹ Calzadilla Escalona, D. (2018). *Valoración técnico-económica entre los métodos de estabilización tradicionales y el sistema CONSOLID para los viales de acceso a la península del Ramón de Antilla*. Holguín, Cuba .

¹⁰ Calzadilla Escalona, D. (2018). *Valoración técnico-económica entre los métodos de estabilización tradicionales y el sistema CONSOLID para los viales de acceso a la península del Ramón de Antilla*. Holguín, Cuba .

1.2.2 Experiencias nacionales con el empleo de estabilizadores tradicionales

El tratamiento de suelos en Cuba se realiza principalmente con cemento por lo que es la forma de estabilización más usada. Se ha aplicado en diferentes viales del país, podemos citar los siguientes:

1. En los años 2008 – 2009 se estabilizó del km 21 hasta el km 52 de la carretera que enlaza Holguín – Guardalavaca. En este mismo período se hicieron algunos tramos del vial Holguín - Moa. (Calzadilla Escalona, D. 2018)
2. En el 2017, se estabilizó un aparte del vial de Banes – Nipe.
3. En el 2018 se realizaron trabajos de estabilización con esta técnica en la carretera Moa – Baracoa, en 14 tramos utilizando material de 6 canteras diferentes, las cuales presentaron en su mayoría un suelo clasificado como A-2-4 y aplicando un 8 % de cemento para su estabilización de acuerdo a la dosificación planteada por los informes de la ENIA (Reyes, 2017).

Durante la búsqueda de información referente al mejoramiento de suelos en nuestro país no se encontraron datos acerca del uso de otros estabilizadores tradicionales, como la cal para tratar suelos en Cuba.

1.3 Estabilización de suelos empleando residuos de la construcción

El constante desarrollo de las tecnologías y el crecimiento vehicular global ha llevado a los ingenieros a buscar otros materiales además de los que comúnmente se emplean, tratados con anterioridad, para mejorar los suelos para viales. Junto a esta situación se encuentra el aumento de las industrias y la actividad productiva a nivel mundial y con ella la generación de residuos y contaminantes. La tendencia internacional es el aprovechamiento de los mismos para disminuir la afectación medioambiental y el daño económico que supone su tratamiento. El sector de la construcción es uno de los que ha incorporado residuos a favor de sus labores, como materias primas para elaborar cementos, para mezclas asfálticas y como agentes estabilizantes de suelos, por citar algunos ejemplos.

1.3.1 Definición, clasificación de residuos

Residuo es aquella sustancia u objeto generado por una actividad productiva o de consumo, de la que hay que desprenderse por no ser de interés directo de la actividad principal. Se definen generalmente como aquella sustancia que no resulta útil para su

poseedor y por la cual tenga la intención o bien la obligación de desprenderse de ella.¹¹

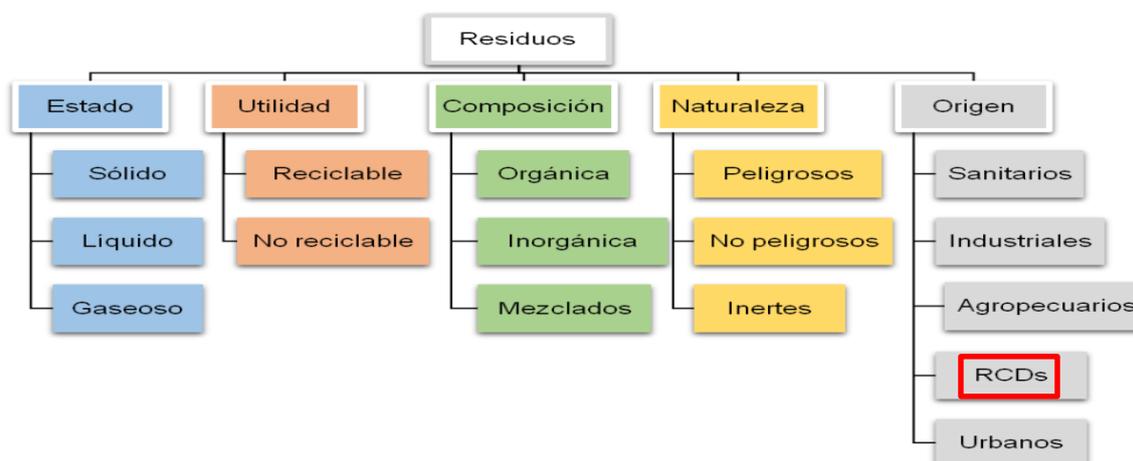
Sánchez Galán. J, 2021 los define como bienes resultantes sin utilidad ni aprovechamiento. En ese sentido, pueden incluirse procesos diversos como la producción y transformación de bienes materiales, el tratamiento químico o de limpieza o cualquier tipo de emisión gaseosa o líquida. Ejemplos de estos últimos serían restos de construcción, emisiones a la atmósfera o electromagnéticas, materiales plásticos y multitud de productos químicos.

Urbina, 2018 los define como materias sólidas heterogéneas, mezcladas o no, que comprenden desperdicios de diferentes procesos en la comunidad urbana, que el generador abandona, rechaza o entrega y que son susceptibles de aprovechamiento o transformación en un nuevo bien, con valor económico.

La autora los asume como los productos derivados de la actividad diaria, que no se reincorporan a la misma. Pueden ser tanto líquidos, gaseosos o sólidos. No son necesarios nuevamente en el mismo ciclo del que salieron y deben ser desechados. Su reutilización conlleva otras acciones y tecnologías. Son productos que en sí mismo solo se consideran agentes contaminantes.

- Clasificación de los residuos:

Urbina M.O ,2018 los agrupa y clasifica en 5 grupos principales:



Esquema 1.1: Clasificación de los residuos¹²

¹¹ Castelles, X. E. (2012). *Generalidades, conceptos y origen de los residuos: Reciclaje de residuos industriales*. Ediciones Díaz de Santos

¹² Fuente: (Bernal González, 2017)

El sector de construcción civil es el responsable de la generación de una gran cantidad de residuos de construcción y demolición, este tipo de residuo provoca un impacto ambiental significativo al medio ambiente y a la sociedad, al ser destinado incorrectamente. Con el rápido crecimiento que han tenido las ciudades, consecuentemente el incremento de las actividades del sector de la construcción, la generación de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) alcanzó elevados índices de producción, resultado del desperdicio de las obras civiles (KIST *et al.*, 2017).

1.3.2 Residuos de la Construcción y demolición (RCDs)

Los RCDs, comprenden una subclasificación de los residuos en general producto a sus características físicas, impacto al medio circundante y, sobre todo, por estar íntimamente relacionados con el sector de la construcción. La generación de RCDs propiamente dicha tiene que ver en su inmensa mayoría con el hecho de la demolición de edificaciones, o en su otra vertiente con los desechos provenientes de producciones industriales. (Bernal González, 2017)

1.3.3 Situación de los RCDs provenientes de industrias en el territorio

La provincia de Holguín cuenta con varias empresas productoras de materiales, entre ellas se destacan principalmente la Planta de Prefabricados Gran Panel Holguín, encargada de la producción de casi la totalidad de los elementos prefabricados de hormigón en el territorio; como losas Spirol, paneles, postes, elementos de acera, columnas, vigas entre otros. En el 2017 generaba 168 m³ de residuos anualmente y su disposición final es en vertederos a la intemperie (Bernal González, 2017)

Por otro lado, se encuentra la empresa Médano, posee la mayor de productos y por ende genera mayores cantidades de residuos. Su gama de productos abarca las baldosas, bloques, tubos de hormigón, elementos cerámicos como mosaicos, gres y muebles sanitarios. Genera aproximadamente 300 m³ de RCDs al año y los depositan en vertederos a cielo abierto. (Bernal González, 2017)

Se pueden citar otras empresas como la ECOPP y Umbrales que producen, también, materiales de la construcción, pero al no ser su actividad fundamental su generación de RCDs es más baja. En el caso de la ECOPP todos sus residuos se reciclan (Bernal González, 2017).

Según Pigueras 2015, Holguín genera anualmente, en promedio, 72000 metros cúbicos de RCDs.

Según datos de la Unidad Presupuestada de Servicios Comunales Holguín extraídos de Bernal González 2017, Holguín presenta 3000m³ anuales de RCDs depositados en los vertederos destinados para ello. Este dato difiere del encargo estatal programado para la entidad el cual supone una recogida de 150m³ diarios.

Finalmente, expresa, de acuerdo con entrevistas realizadas por el autor, que la ciudad de Holguín genera aproximadamente 8000 metros cúbicos de RCDs al año, el 11% del volumen generado por la provincia.

Como el caso de estudio que se presenta es la reutilización de los RCDs generados por las Plantas de Prefabricados de Holguín se plantea en la actualidad existen tres plantas de prefabricado que generan diariamente medio metro cúbico (1/2 m³) de residuos cada una, lo cual representa 1.5 m³ de residuos diarios y unos 36 m³ mensuales a razón de 24 días hábiles. Esto se traduce que, en un año se genera cerca de 432 m³ de residuos prefabricado que no tiene un uso adecuado y constituye un elemento contaminante para el medio ambiente.

Analizando los datos existentes del 2017 se puede ver un aumento de 264 metros cúbicos anuales de residuos hasta el 2022.

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. (Uranga Pantoja, 2022)



Fig 1.6 Acumulación de residuos de Prefabricados¹³

¹³ Tomado de Uranga Pantoja, L. A. (2022). *Pavimento articulado con árido reciclado de la Empresa de Prefabricado Gran Panel de Holguín*. Holguín, Cuba.

1.3.4 Aprovechamiento de los RCDs en Cuba

Desde 1961 existe en Cuba la industria de reciclaje, la cual se ha encargado de la recuperación, procesamiento y comercialización de los materiales y desechos reciclables, generados por la industria, los servicios y la comunidad, entre los que se encuentran actualmente los materiales ferrosos, que incluyen la chatarra de acero; los no ferrosos, que abarcan el cobre, el bronce, el aluminio y otros metales; y los productos no metálicos que comprenden los desechos de papel, cartón, plástico, envases y desechos textiles (González del Toro, 2017). Sin embargo, en su concepción no se incluye el reciclaje de los RCD.

En la provincia de La Habana se han construido dos plantas de reciclaje de mayor capacidad productiva. La planta de Husillo, reactivada en los últimos años, la cual procesa los residuos cerámicos y de mampostería para la obtención de aresco, producto reciclado para ser utilizado como mortero de albañilería. La planta de hormigón de la Oficina del Historiador que ha producido los áridos reciclados que se han empleado en más de 80 obras del Centro Histórico. En 2006 se usaba menos del 7 % de áridos reciclados en las obras, y en 2013 se aumentó al 42 %. Entre 2009 y 2010 se amplió la inversión para el reciclaje de RCD, se construyeron nuevos laboratorios y una fábrica de bloques que actualmente produce 500 unidades diarias.¹⁴

Se conoce además, que en La Habana en el año 2007, provocado por la necesidad de tratar los residuos generados por la reconstrucción de La Habana Vieja, se puso en marcha una pequeña planta para su procesamiento por parte de la constructora "Puerto de Carenas" en cooperación con el país Vasco. En ella se obtienen áridos con granulometrías de 0-5, 5-25 o mayor que 25mm. (Bernal González, 2017)

La planta permite procesar de 5 a 15 metros cúbicos por hora. No obstante, al conocerse que en toda La Habana se producen alrededor de 1200m³ de RCDs diariamente, la capacidad de trabajo de esta planta queda muy por debajo de la necesaria. Los productos obtenidos se utilizan para la producción de materiales de forma local como bloques, elementos de acera, balaustres y baldosas. Otra solución

¹⁴ Macyuri Alvarez Luna, Jorge Luis García-Jacomino, Lesday Martínez Fernández: "Diagnóstico de la gestión de los residuos de construcción y demolición en la provincia de Villa Clara", Revista OIDLES, Vol 15 N° 31 (diciembre 2021). En línea: <https://www.eumed.net/es/revistas/oidles/31-dic21/residuos>

ha sido emplear el árido para morteros en más de 80 obras del Centro Histórico (Sosa Gutiérrez, 2016).

Por su parte, en el municipio de Manicaragua, en Villa Clara se emplea un molino modular pequeño para el reciclaje de RCDs a pequeña escala. Los áridos reciclados se emplean en la producción de nuevos bloques de hormigón. Como resultado se logró disminuir el costo de producción de dicho producto, así como el impacto ambiental del proceso productivo (Álvarez, 2016).

En el I Taller Nacional: Reutilización de Escombros de la Construcción como Materia Prima para la Producción Local de Materiales. Buenas Prácticas y Desafíos, llevado a cabo en la ciudad de Holguín, en abril del 2016, se presentó una muestra de la producción de materiales de la construcción de forma local elaborados con áridos reciclados en Matanzas. También se dieron a conocer iniciativas en Santiago de Cuba y Granma relacionadas con la elaboración de planes de gestión de estos residuos.

En Holguín, los mayores esfuerzos en el reciclado de RCDs se llevan a cabo por parte de la Empresa Constructora de Obras del Poder Popular (ECOPP), subordinada al Consejo de la Administración Provincial, al amparo de la Resolución 732, del 31 de diciembre del 2002, firmada por el Ministro de Economía y Planificación.

Esta entidad ha puesto en marcha varios molinos pequeños en diferentes lugares de la provincia con el objetivo de producir materiales de forma local con los áridos obtenidos a partir del proceso de reciclado. Un ejemplo es el combinado de materiales “Julián Grimau”, ubicado en el Consejo Popular Zona Industrial donde se procesan los residuos generados en la producción de bloques de hormigón para ser reutilizados en este mismo proceso. Sin embargo, estas acciones no representan más que los primeros pasos para el desarrollo de una adecuada gestión de los RCDs.¹⁵

En la Universidad de Holguín se han realizados varias investigaciones donde se realiza la valorización de los RCDs generados en el territorio para su utilización como áridos reciclados se pueden citar las siguientes:

- Bernal González, I. A. (2017). Valorización de los residuos de la construcción y demolición como áridps reciclados en el municipio Holguín. Holguín, Cuba

¹⁵ Bernal González, I. A. (2017). *Valorización de los residuos de la construcción y demolición como áridps reciclados en el municipio Holguín*. Holguín, Cuba.

- Maceo Chacón, K. (2017). Utilización de los residuos de la Planta de Prefabricado Gran Panel como materia prima para la producción prefabricada de elementos complementarios. Holguín, Cuba.
- Urbina Reynaldo, María Onelia (2018) Gestión ambiental de los residuos sólidos domiciliarios en espacios urbanos. Aplicación en la ciudad de Holguín. Tesis en opción al grado de Doctora en Ciencias Geográficas. Inédita. Facultad de Geografía. Universidad de La Habana.
- Uranga Pantoja, L. A. (2022). Pavimento articulado con árido reciclado de la Empresa de Prefabricado Gran Panel de Holguín . Holguín, Cuba.

1.3.5 Experiencias internacionales empleando de RCDs para estabilizar suelos

Como parte de la investigación llevada a cabo por Moreno Pérez., 2018, “Estabilización de Suelos Arcillosos con Residuos de la construcción y demolición”, se analizó la influencia de residuos de la construcción y demolición (RCDs), específicamente el concreto demolido en forma de agregados reciclado como un posible agente estabilizador de suelos arcillosos.

Para ello se realizó un estudio, primeramente, de la composición de estos residuos. Se observó que dichos agregados reciclados, a partir de hormigón demolido, poseen alcalinidad debido al mortero adherido a ellos, lo que los hace tener compuesto a base de calcio como la portlandita, esto genera un ambiente alcalino en el suelo tratado, como resultados de las reacciones entre la cal y los minerales de arcilla del suelo. Con este trabajo se concluyó que:

En ausencia de estabilizador el suelo arcilloso tiene un comportamiento típico, ya que, al secarse el agua abandona la inter-capas de las arcillas (caolinita, montmorillonita y vermiculita), provocando el encogimiento y la formación de grietas de contracción en la muestra.



Foto 1.4 Suelo feozem háplico en estado natural, presencia de agrietamientos.¹⁶

¹⁶ Moreno Pèrez., 2018, “Estabilización de Suelos Arcillosos con Residuos de la construcción y demolición”

En la fig 1.4 se observa el estado de agrietamiento que posee el suelo natural, producto a la pérdida de agua de los componentes de la arcilla. Se aprecia como de una grieta principal aparecen ramificaciones por toda la superficie.

El estudio se realizó en 3 mezclas principalmente: M12 con un 12.5% de estabilizador; M25 y M50 con un 25 y 50 % de estabilizador respectivamente.

La primera mezcla arrojó un estado de agrietamiento muy parecido al natural pero con menores diámetros, lo que evidencia la influencia en el comportamiento mecánico del suelo, pero sin llegar a tener resultados lo suficientemente satisfactorios para considerarlo una estabilización.

En el caso de la muestra M25 y M50 no se presentaron grietas transversales y las aberturas de las fisuras disminuyen con el incremento del estabilizante, por lo que en estos casos la estabilización fue completamente satisfactoria.



Foto 1.5 Muestras del suelo natural. Muestra M12, M25 y ,50¹⁷

Como se observa las grietas van en descenso con el aumento del aditivo, para el último caso solo se observa una pequeña fisura que no logra atravesar toda la superficie del envase.

Viñan Cely, P.S, 2022 evaluó el potencial técnico de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) en partículas finas (< 2mm), para la estabilización de un suelo limo-arcilloso, de la ciudad de Foz De Iguazú, Brasil. Para tal finalidad fue analizado el uso de Residuo de Concreto (RRC), Residuo Mixto (RRM) y Residuo Mixto reforzado con 2% de cemento (RRM-C), a través del ensayo de Índice de Soporte California (ISC) o CBR. Teniendo como resultado un incremento en el valor de ISC del suelo, superior a cinco veces al ser estabilizado con RR-C, RRM y RRM-C. Además, al comparar el tiempo de inundación del suelo con los tres estabilizadores, se observó valores superiores a los 21 días que a los 7 días en todas las mezclas. Esto podría evidenciar la presencia de minerales cementantes activos en los RCD. Estos materiales finos mostraron ser una alternativa para la sustitución del uso del cemento portland en la

¹⁷ Moreno Pèrez., 2018, "Estabilización de Suelos Arcillosos con Residuos de la construcción y demolición"

estabilización de subrasantes limo-arcillosas, materiales típicos de la ciudad de Foz de Iguazú -PR.

Tabla 1.7 Valores de CBR para la mezcla suelo+20 % de RRC¹⁸

CBR del suelo natural (%)	CBR suelo + 20% RRC(%)	
	7días	21días
7	29	59
	CBR suelo + 20% RRM(%)	
7	7.6	49
	CBR suelo + 20% RRM-C (18% RRM-2% cemento)	
7	20	55

Se comprueba así que el suelo tuvo un incremento de su resistencia de 7 veces o más a los 21 días, lo que corrobora la eficiencia de la estabilización.

Este comportamiento posiblemente sea el resultado de una estabilización química y mecánica, la acción mecánica ocurre debido a la proximidad de las partículas de suelo y de RRC, generando un rozamiento entre sus partículas sólidas, y la acción química se da por los minerales de cemento que aún se encuentran presentes en los Residuos Reciclados de Concreto (Viñan Cely, 2022).

En Henao Carvajal & Barrios de Hoyos, 2021 se realizó un estudio enfocado a evaluar la factibilidad en el empleo de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) pulverizados como material aglomerante alternativo, para ser implementado en procesos de estabilización de suelos tipo arcillas limosas (CL) provenientes del municipio de San Vicente Ferrer, México.

La estabilización se llevó a cabo mediante el empleo de 2 mezclas, constituidas por concreto reciclado (C1) y restos de ladrillos pulverizados (C2). Fue utilizado para tal objetivo entre un 12 y un 20% de los RCD.

Inicialmente el CBR del suelo sin tratar era de 13,7%. Se estableció que en cuanto a comportamiento mecánico en CBR, C1 + suelo se destacó con respecto a C2 + suelo, ya que, el primero obtuvo un CBR de 101,3 % para el 100% de la densidad seca máxima y el segundo un 35,0 %, así mismo se encontró que para la resistencia a la

¹⁸ Viñan Cely, P. S. (2022). *Aplicabilidad de la fracción fina de residuos de construcción y demolición en la estabilización de un suelo de la región de Foz de Iguazú*. Foz de Iguazú, Brasil.

compresión, C1 resultó tener resistencias mayores a C2, con 10 psi y 5 psi en probetas de 7cm x 14cm a 7 días respectivamente.

A pesar que las mezclas de C1 arrojaron resultados más satisfactorios ambos elevaron significativamente la resistencia del suelo natural.

El trabajo realizado por Noriega Góngora, A.A y Villareal Acosta, K.T, 2020 consistió en la estabilización de un suelo arcilloso presente en la vía de acceso de la trocha en diferentes sectores de la ciudad de Trujillo, Perú; mediante la adición de concreto reciclado de 7%, 10% y 12%. Durante el proceso experimental se desarrollaron ensayos para determinar las propiedades físicas y mecánicas al suelo en un tramo de 10 km. Se elaboraron 16 especímenes para las muestras patrón, de igual manera para las muestras con la adición de 7%,10% y 12% de concreto reciclado dando un total de 48 especímenes. Con los resultados obtenidos se determinó que la adición del 7% de concreto reciclado, cumple con los requisitos mínimos establecidos por la normativa del país para un CBR adecuado de una sub-rasante, clasificándolo como un material excelente. Además que con la adición de 10% y 12% de concreto reciclado sigue aumentando el valor de CBR. (Noriega Góngora & Villareal Acosta, 2020)

Tabla 1.8 Valores de CBR para el suelo natural y estabilizado al 7,10 y 12%¹⁹

Suelo natural							
Descripción	Profundidad (m)	Molde 1		Molde 2		Molde 3	
		0.1"	0.2"	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"
C7	1.50	2.34	3.82	2.93	4.41	4.41	5.01
Suelo + 7% de concreto reciclado							
C7	1.50	58.87	71.84	66.87	81.35	73.68	84.67
Suelo + 10 % de concreto reciclado							
C7	1.50	78.89	127.82	102.81	146.27	114.98	160.29
Suelo + 12% de concreto reciclado							
C7	1.50	102.52	136.21	110.55	170.36	121.55	187.15

Trávez Bastidas. D.F, 2023 evalúa el efecto del polvo cerámico, proveniente de la trituración de piezas sanitarias, en bases 3 y 4²⁰ . Sobre la base de los ensayos de

¹⁹ Noriega Góngora, A. A., & Villareal Acosta, K. T. (2020). *Influencia del porcentaje de concreto reciclado en la estabilización de suelos arcillosos para un pavimento flexible, de una trocha de 10 km en los sectores de Alto Huallaga hasta la Merced, Laredo -La Libertad*. Trujillo, Perú

²⁰ Las bases 3 y 4 son aquellas bases de viales constituidas por gravas o rocas trituradas y por material obtenido de trituración o cribado respectivamente, no debe contener material vegetal, además de tener granulometría uniforme.

CBR y de compactación obtenidos al combinar el polvo cerámico y el cemento de las bases de agregados se pudo determinar que en cuanto a sus valores de resistencia estos se incrementan considerablemente.

Con la combinación 3.40% de cemento y 8% de polvo cerámico el CBR de la base de agregados 3 llegó al 170%; para la base de agregados clase 4 con %óptimo cemento=3; %óptimo de polvo cerámico=9.20% él fue del CBR 155.07%.

Se determinó mediante el análisis de los diseños de pavimento flexible con la base de agregados clase 3, al adicionar el polvo cerámico óptimo (8.00%) y cemento óptimo (3.40%), se puede obtener una reducción de espesor total de 45.00cm a 43.00cm, para la base de agregados clase 4 con el porcentaje óptimo de cemento (3.00%) y polvo cerámico óptimo (9.20%) una reducción de espesor total de carpeta de 45.00cm a 43.00cm, por lo cual la adición del polvo cerámico mejora la calidad de los agregados y se equipara a una estabilización convencional con cemento.

1.4 Ensayos necesarios para el análisis de la subrasante de carreteras

1.4.1 Ensayo de granulometría

La granulometría o clasificación granulométrica es la medición y graduación que se lleva a cabo con los granos de una formación sedimentaria, de los materiales sedimentarios, así como de los suelos, con fines de análisis, tanto de su origen como de sus propiedades mecánicas, y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica.

Es objetivo de este ensayo determinar el tamaño de las partículas de un material por tamizado, para ello se utilizan mallas de abertura cuadrada. Se utilizan una serie de tamices (3", 2 ½", 2", 1 ½", 1", ¾", 3/8", No.4, No.10, No.40 y No. 200).

1.4.2 Ensayo de límites de Atterberg o límites de consistencia

Los límites de Atterberg o límites de consistencia se utilizan para caracterizar el comportamiento de los suelos finos, aunque su comportamiento varía a lo largo del tiempo. Se definen tres tipos de límites:

1. Límite líquido: cuando el suelo pasa de un estado plástico a un estado líquido. Para la determinación de este límite se utiliza la cuchara de Casagrande.
2. Límite plástico: cuando el suelo pasa de un estado semisólido a un estado plástico.

3. Límite de retracción o contracción: cuando el suelo pasa de un estado semisólido a un estado sólido y se contrae al perder humedad.

Límite líquido

Esta propiedad se mide en laboratorio mediante un procedimiento normalizado en que una mezcla de suelo y agua, capaz de ser moldeada, se deposita en la cuchara de Casagrande o copa de Casagrande, y se golpea consecutivamente contra la base de la máquina, se hace girar la manivela, hasta que el surco que previamente se ha recortado, se cierre en una longitud de 12.7 mm (1/2"). Si el número de golpes para que se cierre el surco es 25, la humedad del suelo (razón peso de agua/peso de suelo seco) corresponde al límite líquido.

Límite plástico

Es la humedad más baja con la que se puede formar un suelo con cilindros de 3 mm de diámetro, se hace rodar dicho suelo entre los dedos de la mano y una superficie lisa, hasta que los cilindros empiecen a resquebrajarse.

Es objetivo de los ensayos del límite de consistencia determinar el porcentaje de humedad contenida en un material, a partir del cual deja de comportarse como un material plástico y pasa a ser líquido.

1.4.3 Ensayo del peso específico

El peso específico es la relación, a una temperatura estable, de la masa en el aire de un volumen de aire unitario de material, a la masa del mismo volumen del agua a temperaturas indicadas. *La absorción* es la cantidad de agua absorbida por el agregado después de ser sumergido 24 horas en agua. La importancia de realizar este ensayo está dada en que es un índice de calidad que puede utilizarse para separar el material bueno del malo; permite además conocer cuánto espacio ocuparán las partículas en la mezcla de concreto y nos sirve para calcular el porcentaje de huecos presentes en el agregado.

1.4.4 Ensayo de Proctor Modificado

En mecánica de suelos, el ensayo de compactación Proctor es uno de los más importantes procedimientos de estudio y control de calidad de la compactación de un terreno. A través de él es posible determinar la densidad seca máxima de un terreno en relación con su grado de humedad, a una energía de compactación determinada. Existen dos tipos de ensayo Proctor normalizados; el "Ensayo Proctor Standard", y el

"Ensayo Proctor Modificado". La diferencia entre ambos se encuentra en la energía utilizada, la cual se modifica según el caso al hacer variar el número de golpes, el pisón (cambia altura y peso), el molde y el número de capas.

La energía de compactación viene dada por la ecuación:

$$Y = \frac{n \cdot N \cdot P \cdot H}{V} \quad (1.1)$$

Donde:

- Y - energía a aplicar en la muestra de suelo;
- n - número de capas a ser compactadas en el cilindro de moldeado;
- N - número de golpes aplicados por capa;
- P - peso del pisón;
- H - altura de caída del pisón;
- V - volumen del cilindro.

1.4.5 Ensayo de California Bearing Ratio (CBR)

El ensayo CBR (California Bearing Ratio) (Ensayo de Relación de Soporte de California) mide la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo y para poder evaluar la calidad del terreno para subrasante, sub base y base de pavimentos. Se efectúa bajo condiciones controladas de humedad y densidad. Este es uno de los parámetros necesarios obtenidos en los estudios geotécnicos previos a la construcción, como también lo son el Ensayo Proctor y los análisis granulométricos del terreno.

Tabla 1.9. Categorías de subrasante. (NC 334 2018)

Clasificación de subrasante		Resistencia	
Símbolo	Condición	CBR (%)	Mr (MPa)
S1	Inaceptable	CBR < 5%	Mr < 50
S2	Aceptable	5% ≤ CBR < 10%	50 ≤ Mr < 100
S3	Media	10% ≤ CBR < 15%	100 ≤ Mr < 150
S4	Buena	CBR ≥ 15%	Mr ≥ 150

Tabla 1.10 Requisitos para capa base (NC-334 2004)

Parámetros	Material de Base	
	$\sum N < 5 \cdot 10^5$ ejes de 100KN	$\sum N > 5 \cdot 10^5$ ejes de 100KN
CBR (mínimo)	60-80%	80-100%
LL (máx)	25%	25%
IP (máx)	6%	6%
Equivalente Arena (mín)	30%	30%

Conclusiones del capítulo

- Los RCDs son residuos inertes, no peligroso, que pueden ser aprovechados como sustitución del árido fino para estabilizar suelos.
- La estabilización con RCDs se pueden considerar una estabilización mecánica, por la incorporación de un material de granulometría similar a la de algunos suelos, así como por la fricción generada entre las partículas del suelo y el residuo.
- A su vez se considera una estabilización química, debido a la reacción puzolánica de los compuestos, cemento, que forma parte del concreto reciclado, y para el caso de otros RCDs del mortero adheridos a ellos.
- En Cuba la reutilización de los RCDs no cuenta con una normativa oficial, y las acciones para su reincorporación y aprovechamiento en la economía son escasas
- El estudio de los antecedentes internacionales y nacionales demostraron que los RCDs son materiales que generan un incremento de las propiedades mecánicas de los suelos a más de 7 veces su valor inicial en la mayoría de los casos analizados, por lo que queda demostrado su eficacia como agentes estabilizadores.

CAPÍTULO II. VALORIZACIÓN DEL EMPLEO DE LOS RCDs DE LA PLANTA DE PREFABRICADOS GRAN PANEL DE HOLGUÍN COMO MATERIAL PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

En el siguiente capítulo se presentan los materiales a emplear para el proceso experimental de comprobación de la efectividad de los RCDs de la Planta de Prefabricados Gran Panel de Holguín como estabilizadores. Se caracterizan todos los materiales (suelo de la cantera Júcaro, RCDs) atendiendo a su granulometría, peso específico y CBR. A su vez se muestran los resultados de los ensayos de CBR realizados a cinco muestras de suelo-RCDs al 6, 8, 10 y 12% y en el último caso suelo, RCDs al 12%- cemento P250 al 4%. Para concluir luego del análisis de los resultados obtenidos, se hace la valorización del empleo de los RCDs de la Planta de Prefabricados Gran Panel de Holguín como agentes estabilizadores del suelo, desde el punto de vista económico, medioambiental y social y de sus características físico-mecánicas.

2.1 Suelos en el territorio de Holguín

La provincia de Holguín está formada por una serie de estructuras rocosas, podemos citar las rocas del Cretácico y el Paleógeno fundamentalmente.

En su extremo Norte y hacia el Oeste se encuentran rocas del Paleógeno Inferior representadas por las formaciones:

- Yaguajay (bloques de serpentinitas, gabros, calizas, vulcanitas, tobas, margas y areniscas)
- Jíquima (areniscas)
- Tinajita (calizas),
- Jobal (dolomitas y calizas)
- Gibara (calizas cristalinas arrecifales)
- Iberia (andesitas, diabasas, tobas, calizas y otras rocas clásticas)

También forman este macizo rocas de la asociación ofiolítica mesozóica de las que presentan gran desarrollo las serpentinitas y dunitas serpentinizadas (Colectivo de autores, 1985 b).

Para la zona Este del territorio y abarcando el macizo Nipe Sagua Baracoa está formado por rocas del Cretácico y Paleógeno, muy plegado y representado por un macizo montañoso muy desarticulado. En el complejo de rocas que forman este

macizo se encuentran rocas de la asociación ofiolítica mesozoica, donde predominan las serpentinitas, harzburgitas y dunitas serpentinizadas, gran desarrollo tiene también las tobas y calizas.

La parte centro sur está representado por el Valle del Cauto y zonas premontañas periféricas de este valle. Su basamento está constituido por las formaciones geológicas:

- Hatico con bloques de serpentinitas, calizas e intercalaciones de toba
- Vigía con areniscas, tobas y margas
- Charco Redondo con calizas
- Pedernales con conglomerados
- Camazán con calizas, calizas arcillosas, arcillas y margas
- (N12) arcillas, calizas arcillosas y margas
- Cauto con arcillas, arcillas arenosas, arenas arcillosas, arenas y guijarros con intercalaciones de limo, gravas y gravas guijarrosas.

Para la parte centro norte en las zonas de la Bahía de Nipe y Banes y parte de Mayarí está compuesta por las formaciones y rocas siguientes:

- Charco Redondo, calizas
- Sagua, calizas y margas
- Bitiri, calizas
- Pedernales, conglomerados
- Camazán, calizas, calizas arcillosas, arcillas y margas
- Jagüeyes, calizas biógenas, calizas arcillosas y margas
- Jácaro, calizas, calcarenitas y margas
- Jaimanitas, calizas órgano-detriticas, organógenas y calcarenitas
- Depósitos Palustres, carbonatados, terrígenos y turbosos de pantano y mangle
- Depósitos Aluviales, arenas, arenas con gravas, arenas arcillosas, arcillas y limos.

Debido a que en las zonas sur y sureste se encuentran la mayor cantidad de suelos predominantemente arcilloso, además de en la parte norte del territorio; específicamente en los municipios Freyre, Banes y Antilla se decide tomar los suelos de la cantera Jácaro, ubicada en este último como objeto de estudio de la

investigación. Esta cantera fue empleada en las labores de estabilización llevada a cabo durante la ejecución del Vial Antilla.

2.2 Muestreo de los materiales utilizados para la estabilización

2.2.1 Suelo Cantera Júcaro.

En el noreste de la capital holguinera, a 100 kilómetros aproximadamente, se encuentra el principal polo turístico en desarrollo actual conocido como el Ramón de Antilla. Debido a su importancia económica en el mismo se realizan disímiles proyectos constructivos para el turismo y por ende viales de acceso a los mismos, lo que demanda grandes cantidades de materiales con características adecuadas de base, sub-base y subrasante.

Los áridos empleados para estas actividades y otras en el sector constructivo provienen principalmente de las siguientes canteras:

- Los Berros
- Cantera Júcaro
- Cantera Pijindi
- Cantera Las Tapas
- Cantera Los Hoyos

Para esta investigación se toma como caso de estudio el suelo existente en la cantera Júcaro, que es de las más explotadas en la construcción de los viales que dan acceso a los hoteles y la que fue empleada para la conformación del vial de acceso al Ramón, por su cercanía a la zona de ejecución de las obras. Además, se cuenta con estudios precedentes que permiten establecer criterios de comparación entre las estabilizaciones realizadas con cemento y material alternativo que se trata en esta investigación (RCDs).

Este proyecto se concibió de la siguiente manera: el vial está diseñado para poseer pavimento flexible, con una longitud de 20 km. El ancho de la calzada es de 7.50 m. Su tráfico de diseño es de 1.1×10^7 ejes de 100 KN, considerado como tráfico pesado según la NC 334- 2004 y una velocidad de diseño de 100 km/h.

Características de la cantera Júcaro

- Ubicación

Se encuentra en el municipio de Antilla, en el vial Antilla – El Ramón, a 1 km al NE del asentamiento La Cuchilla, en las coordenadas de Lambert X-617 826.26, Y-224 848.99.

- Características del suelo:

El suelo presente posee una composición gravo arenoso, de color amarillo crema a amarillo claro. Clasifica según NC 63:2000: Geotecnia. Clasificación geotécnica para obras de transporte, como un material tipo A-2-4 (gravas, arena limosas y arcillosas).²¹ Presenta características adecuadas como material para subrasante, pero su capacidad soportante es muy baja para ser utilizado como base y sub-base. Por lo tanto, su empleo como material de préstamo para la conformación de base de viales, implica labores de estabilización.



Foto 2.1 Suelo de la cantera Júcaro.²²

2.2.2 Cemento

Para la realización de los ensayos se utilizó cemento Portland P-250 obtenido por medios propios con las mismas características del material utilizado por la ENIA en las estabilizaciones suelo-cemento en el 2017. La muestra se traslada para la ENIA el día 22 de mayo del presente año y se almacena teniendo en cuenta los requisitos necesarios para el mantenimiento de su calidad.



Foto 2.2 Cemento Portland

2.2.3 Residuos de construcción y demolición (RCDs)

Características de los residuos de hormigón:

²¹ Calzadilla Escalona, D. (2018). *Valoración técnico-económica entre los métodos de estabilización tradicionales y el sistema CONSOLID para los viales de acceso a la península del Ramón de Antilla*. Holguín, Cuba

²² Fuente: Elaboración propia

Están constituidos fundamentalmente por mortero y áridos, en el caso de que provengan de hormigones armados también contienen acero. Poseen una densidad promedio de $2,4 \text{ g/ cm}^3$ y son pesados. Se ubican en el lugar 4 y 5 en la escala de Mohs, en cuanto a su dureza. Presentan una alta resistencia a la compresión, con valores por encima de 35MPa. (Bernal González, 2017)

Los residuos a emplear para la estabilización son provenientes de la Planta de Prefabricado Gran Panel de Holguín ubicada en la Avenida Los Internacionalistas. Los mismos surgen producto a paneles, losas y otros elementos que durante el proceso industrial sufrieron daños y son desechados y colocados a la intemperie sin ninguna utilidad y que afectan el medio ambiente de la zona. Se encuentran dispuestos en gran tamaño generalmente por lo que fue necesaria su trituración, en el molino de la Planta.



Foto 2.3 Almacenamiento de residuo en la Planta²³

El material resultante fue en su mayoría arena media, por lo que se decide realizar su análisis como árido fino para la estabilización, principalmente mecánica.



Foto 2.4 RCDs luego de la trituración.

²³ Maceo Chacón, K. (2017). *Utilización de los residuos de la Planta de Prefabricado Gran Panel como materia prima para la producción prefabricada de elementos complementarios*. Holguín, Cuba

2.3 Caracterización de los materiales utilizados para la estabilización del suelo.

2.3.1 Suelo Júcaro

Los ensayos de granulometría son resultados del informe de la ENIA, fecha: 15/01/2019, sus datos se muestran en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Granulometría promedio del material

Materiales	Tamices	% retenido
Grava	No.4	51
Arena	No.200	29
A. Gruesa	No.10	9
A. Media	No.40	13
A. Fina (%)	No.200	20
Limo, Arcillas y/o Coloides (%)	Pasa No.200	20

Los resultados demuestran que el suelo de la cantera está formado principalmente por gravas, seguido por arena lo cual lo hace un suelo con buenas condiciones resistentes.

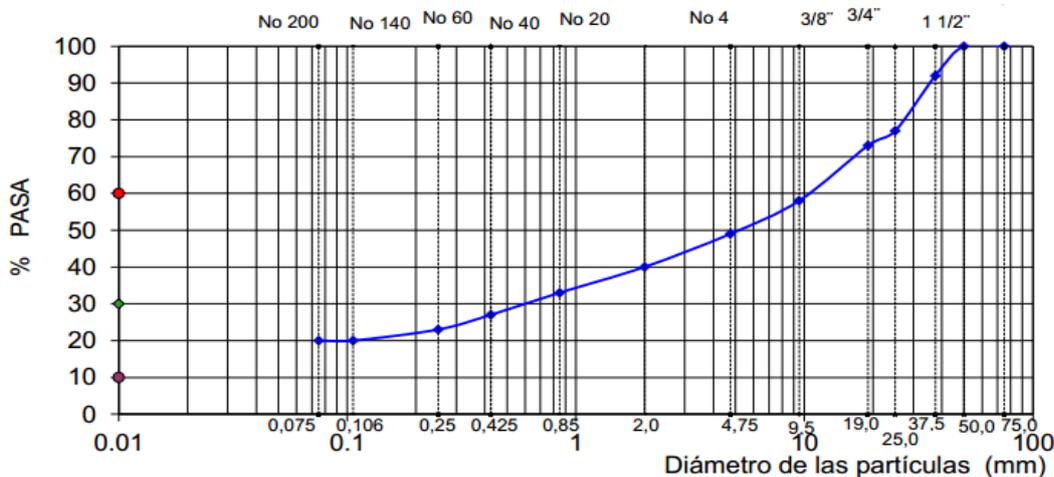


Gráfico 2.1 Curva Granulométrica

Tabla 2. 2 Límites de plasticidad del material

%		
LL	LP	IP
20.7	19.2	1.5

Tabla 2. 3 Parámetros de compactación del material

W(opt)	γ_f	γ_d	E	S	Gs
%	kN/m ³	kN/m ³	-	%	kN/m ³
12.9	20.38	18.05	0.54	72	26.4

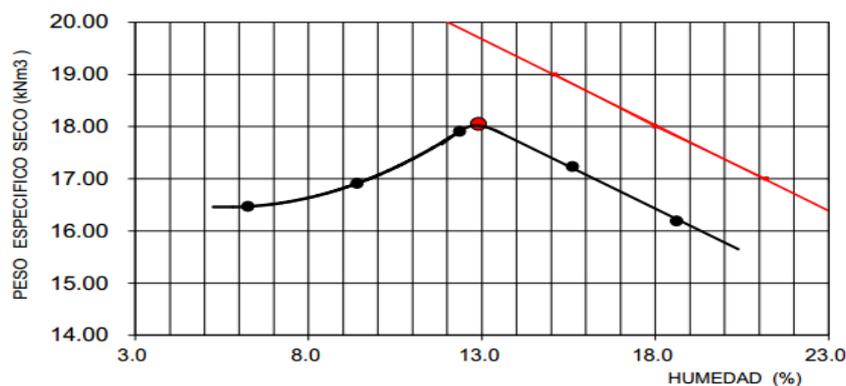


Gráfico 2.2 Curva de peso específico vs Porcentaje de humedad.

Tabla 2.3 Resultado del CBR natural

No de Golpes	56
Hinchamiento en 4 días (%)	-1.81
% CBR 0,254 cm ⁵	13
% CBR 0.508 cm	20
Peso específico seco (KN/m ³)	17.64
Humedad absorbida (%)	3.5

Al analizar la resistencia (CBR) del material compactado al 98% de la $\gamma_{d\text{máx}}$ del Proctor Modificado, se obtiene que el suelo de cantera presenta un CBR de 20 %, este valor satisface los requerimientos de sub-rasante y sub-base, del mismo modo para esta capa presenta un LL adecuado, menor al 30%, según lo especifica la NC 334- 2004 .Sin embargo, el material no cumple con lo establecido para la base, pues presenta muy bajo porcentaje de CBR, que debe ser de 60% como mínimo para tráfico ligero y de 80% para tráfico pesado, según los valores que se muestran en la tabla 1.10.

Debido a esto en el proyecto mencionado en el epígrafe 2.2 se decide estabilizar el suelo de la cantera Júcaro para emplearlo como capa base en la conformación del

vial, además de que las canteras con condiciones adecuadas para esta capa se encuentran distantes a la zona y sus áridos son muy explotados en otras esferas de la construcción.

En el proyecto original se decidió realizar la estabilización con cemento, luego de analizar otras variantes como el CONSOLID.

En Calzadilla Escalona 2018 se realizó un estudio de la viabilidad de la estabilización con cemento y CONSOLID. Se concluye que este último a pesar de dar valores de resistencia muy favorables con poca adición es muy costoso. En el caso del cemento su importe era menor, pero también constituye un gasto significativo, además de ser un producto de alta demanda en la esfera de la construcción. Por lo que se hace inminente la búsqueda de alternativas con otros materiales, que brinden la calidad requerida en el suelo y a su vez reduzcan el empleo de cemento y los costos de la actividad

Por esto se propone realizar el estudio con otros materiales, en este caso: los residuos sólidos.

Por lo tanto, en el siguiente epígrafe se analizarán las características y las mejoras que ofrecen los residuos de la Plana de Prefabricados Gran Panel de Holguín al suelo de la cantera.

2.3.2 RCDs

1. Ensayo de granulometría.

El ensayo fue realizado por la ENIA de la provincia de Holguín, el día 25 de mayo del presente año, bajo el cumplimiento de la NC 20:1999 Geotecnia. Determinación de la granulometría de los suelos. (Ver Anexo 1)

Datos iniciales:

Masa húmeda total granulométrica (W_sT) = 500.00 g

Masa seca total granulométrica (W_sT) = 486.66 g

Factor K (Granulometría) = 0.20548

Tabla 2.4 Determinación de la humedad.

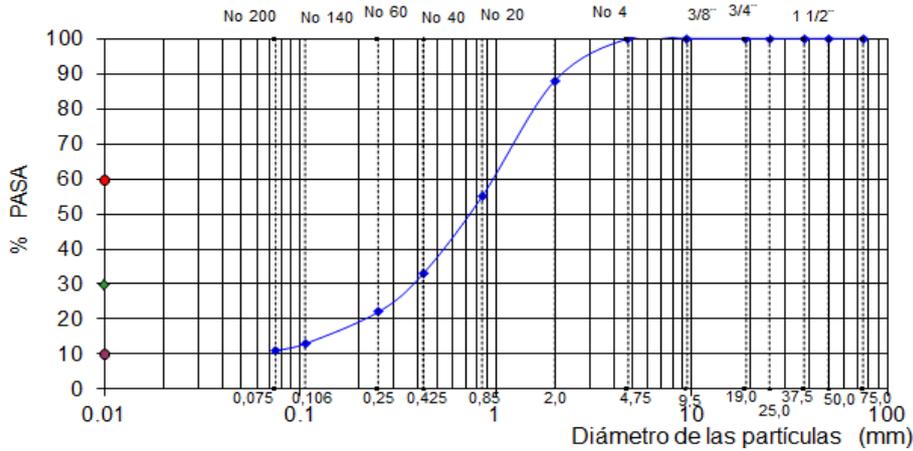
Recipiente No	1	2
Masa húmeda más tara (g)	101.52	105.62
Masa seca más tara (g)	99.76	103.81
Tara (g)	36.68	36.56
Humedad (%)	2.79	2.69
Humedad Promedio (%)	2.74	

Tabla 2.5 Resultados del ensayo.

Materiales	Tamices	% Retenido
Grava (%)	No.4	0
Arena (%)	No.200	89
A. Gruesa (%)	No.10	12
A. Media (%)	No.40	55
A. Fina (%)	No.200	22
Limo, Arcillas y/o Coloides (%)	Pasa No.200	11

El ensayo granulométrico arroja como resultado que el residuo empleado, luego de la trituración, presenta una granulometría uniforme, principalmente constituida por arena media, que según la norma AASHTO clasifica como material A-1-a, material arenoso, no presenta gravas en su composición producto a la trituración. Por esta razón se decide emplear como árido fino para una estabilización mecánica. Cabe destacar que a la vez, la misma, se puede considerar química por los elementos alcalinos que presentan los residuos, ya que están constituidos por concreto demolido.

- Gráfico granulométrico. (Anexo)



2. Ensayo de límites de Atterberg o límites de consistencia

Por las características del material no se realizaron los ensayos de consistencia debido a que el mismo se clasifica como No Plástico; porque presenta valores de LL y LP muy cercanos y la diferencia entre ellos nos ofrece un índice de Plasticidad igual a 0

$$LL - LP = IP$$

Dónde:

- LL: límite líquido
- LP: límite plástico
- IP: índice de plasticidad

3. Ensayo de peso específico.

El ensayo fue realizado por la ENIA de la provincia de Holguín, el día 25 de mayo del presente año, bajo el cumplimiento de la NC 19: 1999 Geotecnia. Determinación del peso específico de los suelos. (Ver Anexo 1)

Tabla 2.5 Determinación del peso específico.

Método del picnómetro			
Partículas menores que el tamiz no. 10 (2.00mm)	X	Partículas menores que el tamiz no. 4(4.75mm)	
Emp. balanza (g)		0.01	
Picnómetro No.		1	26
Temperatura (T) °C		27	27

Densidad del agua (γ_w)	0.99652	0.99652
Constante (K)	0.99831	0.99831
Pesafiltro No.	23	32
Masa seca + masa del pesafiltro (Wps) (g)	62.29	65.80
Masa del pesafiltro (Wp) (g)	14.31	13.62
Masa seca (Ws) (g)	47.98	52.18
Masa del picnómetro con agua (Wp ω)	343.99	358.19
Masa del picnómetro + agua + suelo (Wps ω) (g)	369.93	386.42
Peso específico del suelo que pasa	2.17	2.18
Peso específico promedio (γ_s)	2.17	
Incertidumbre expandida con K=2	0.014	

Tabla 2.6 Resultados del ensayo.

Peso específico (kg/m³) 2.17	
Tipo de floculante	Hexametafosfato de sodio
Corrección	0.87

El resultado muestra que el residuo presenta un bajo peso específico, incluso inferior que el del cemento, que como promedio es de 3.15 kg/m³, debido a sus propiedades químicas y el nivel de finura.

2.4 Análisis comparativo de las estabilizaciones del suelo con cemento y RCDs

2.4.1 Ensayo de CBR

2.4.1.1 Ensayos de CBR para las mezclas suelo-cemento

Según lo planteado en la tabla y teniendo en cuenta el tráfico de diseño del vial, la resistencia a compresión debe alcanzar valores mayores que 8 MPa para un tráfico del vial de 1.1×10^7 ejes de 100KN, considerado tráfico pesado según la NC 334-2004. En la tabla 2.7 se muestran los resultados de los diferentes ensayos de resistencia a compresión axial (RC) del suelo mezclado con el cemento a la edad de 7 días, en los cuales se hicieron sustituciones al 4, 6, 8, 10 y 12 %.

Estos ensayos fueron realizados por la ENIA el 18/1/2017.

Nombre del contrato: Estabilización Suelo Cemento Cantera Júcaro ALMEST

Tabla 2.7 Resultados de los ensayos de CBR de las mezclas suelo-cemento.

% de Cemento	% de CBR		% de Compactación	Humedad absorbida
	0.254cm	0.508cm		
4	26	55	97	1.3
6	37	64	98	1.6
8	39	69	99	1.4
10	44	73	99	1.2
12	45	75	99	1.2

Se aprecia que la relación de soporte que adquiere el suelo al agregarle un 4% no alcanza el mínimo de 60% necesario para cumplir como capa base; al 6% de cemento es suficiente para que el mismo sea adecuado para capa base, pero solo cumple con los parámetros mínimos para un tráfico ligero según la NC 334-2004. El máximo valor de CBR se alcanza para una adición de 12% de cemento, aunque sigue cumpliendo solo los parámetros para tráfico ligero, no siendo así para tráfico pesado, donde el mínimo planteado por la norma mencionada es de 80%.

Suponiendo que una adición de 12% de cemento cumpliera con los requisitos mínimos, ya implicaría un uso mayor de este material, lo que se traduce en un incremento del costo de la actividad.

2.4.2 Ensayos de CBR para las mezclas suelo-RCDs

El ensayo fue realizado por la ENIA de la provincia de Holguín, el día 25 de mayo del presente año, bajo el cumplimiento de la NC 54-150-1983 Terraplenes. Especificaciones constructivas. Para el desarrollo del ensayo se tomaron muestras del material seco

- Datos del Proctor:

Humedad óptima: 14.2%

Densidad seca máxima: 17.74 kg/m³

Humedad higroscópica: 3.5%

% de compactación: 100%

Sobrecarga: 4.54 kg

Velocidad de aplicación de la carga: 0.127 cm/min

Valor por división del indicador de deformación del anillo dinamométrico (Fuerza):
1.020000 kg/división

Área del pistón: 19.62 cm²

Valor por división del indicador de deformación para el hinchamiento: 0.01000 mm/
división

Se utiliza energía modificada

- Ensayo de CBR al 6% de RCDs.

Tabla 2.8 Resultado del ensayo de CBR suelo-6% RCDs (Ver Anexo 2)

No de golpes: 56	No. Molde: 14
Fecha: 25-28/5/2023	
Cantidad de RCDs (%)	6
Hinchamiento total (%)	-0.04
Humedad Inicial (%)	14.4
Humedad final (%)	20.0
Humedad absorbida (%)	5.6
Densidad seca (kg/m ³)	18
CBR 0,254 cm (%)	20
CBR 0,508 cm (%)	26

La primera mezcla de suelo-RCDs al 6% a pesar de elevar el porcentaje del CBR del suelo un 7 y 6% respectivamente para las profundidades de penetración, no logra que el suelo cumpla los requisitos para capa base por lo que se decide aumentar el porcentaje.

- Ensayo de CBR al 8% de RCDs

Tabla 2.9 Resultado del ensayo de CBR suelo-8% RCDs (Ver Anexo 2)

No de golpes: 56		No. Molde: 11	
Fecha: 25-28/5/2023			
Cantidad de RCDs (%)	8		
Hinchamiento total (%)	0.02		
Humedad Inicial (%)	14.9		
Humedad final (%)	14.9		
Humedad absorbida (%)	0		
% de Compactación	100		
Densidad seca (kg/m ³)	18		
CBR 0,254 cm (%)	20		
CBR 0,508 cm (%)	28		

La segunda mezcla de suelo-RCDs al 8% a pesar de elevar el porcentaje del CBR del suelo un 7 y 8% respectivamente para las profundidades de penetración, no logra que el suelo cumpla los requisitos para capa base por lo que se decide aumentar el porcentaje.

- Ensayo de CBR al 10% de RCDs.

Tabla 2.10 Resultado del ensayo de CBR suelo-10% RCDs (Ver Anexo3)

No de golpes: 56		No. Molde: 21	
Fecha: 25-28/5/2023			
Cantidad de RCDs (%)	10		
Hinchamiento total (%)	0.02		
Humedad Inicial (%)	14.3		
Humedad final (%)	22.5		
Humedad absorbida (%)	8.3		

% de Compactación	100
Densidad seca (kg/m³)	18
CBR 0,254 cm (%)	23
CBR 0,508 cm (%)	30

En la tercera mezcla de suelo-RCDs al 10% los porcentajes de incremento del CBR del suelo son de un 10% para ambas profundidades de penetración, se aprecia un aumento paulatino según el aumento del residuo pero aún no se logra que el suelo cumpla los requisitos para capa base.

- Ensayo de CBR al 12% de RCDs.

Tabla 2.11 Resultado del ensayo de CBR suelo-12% RCDs (Ver Anexo 3)

No de golpes: 56	No. Molde: 35
Fecha: 25-28/5/2023	
Cantidad de RCDs (%)	12
Hinchamiento total (%)	-0.08
Humedad Inicial (%)	14.4
Humedad final (%)	21.6
Humedad absorbida (%)	7.1
% de Compactación	100
Densidad seca (kg/m³)	18
CBR 0,254 cm (%)	27
CBR 0,508 cm (%)	34

En la cuarta mezcla de suelo-RCDs al 12% el aumento del CBR del suelo es más notable, de un 14% para ambas profundidades de penetración, pero aún no se logra que el suelo cumpla los requisitos para capa base.

Luego de estudiados los resultados de los ensayos de CBR para las mezclas suelo cemento al 4,6,8,10 y 12% se decide realizar una 5ta mezcla constituida por 12% de RCDs y 4% de P-250.

Se estima que agregando un porcentaje mínimo de cemento, que no encarezca demasiado la actividad, junto al porcentaje de RCDs que ofrecieron mejores

resultados se puede conseguir un suelo que cumpla los requisitos para la capa base de un vial.

2.4.3 Ensayo de CBR para la mezcla suelo- 4% P-250- 12% RCDs.

Tabla 2.12 Resultado del ensayo de CBR suelo-12% RCDs- 4% cemento P250 (Ver Anexo 4)

No de golpes: 56		No. Molde: 16	
Fecha: 25-28/5/2023			
Cantidad de RCDs (%)		12	
Cantidad de cemento (%)		4	
Hinchamiento total (%)		-0.03	
Humedad Inicial (%)		14.3	
Humedad final (%)		21.2	
Humedad absorbida (%)		6.9	
% de Compactación		100	
Densidad seca (kg/m ³)		18	
CBR 0,254 cm (%)		71	
CBR 0,508 cm (%)		83	

Se logra observar que la incorporación de ambos agentes al suelo, incrementa su relación de soporte en un 63% para la mayor profundidad de penetración, lo cual es un crecimiento significativo. A su vez al alcanzar un CBR de 83% el material se vuelve idóneo para emplearse en capas base, cumpliendo además los requisitos necesarios para un tráfico pesado.

2.5 Valorización de los RCDs de la Planta de Prefabricados Gran panel de Holguín como material para la estabilización de suelos a partir de los resultados alcanzados.

Como se ha mencionado anteriormente en Cuba la estabilización de suelos se realiza, principalmente, mediante la técnica suelo-cemento. La misma ha arrojado resultados favorables en cuanto al incremento de las características soportantes de los suelos, además posee una amplia gama en las que se puede ejecutar, por lo que se puede afirmar que, en casi todos los tipos de suelos, la estabilización con cemento brinda

mejoras significativas, de acuerdo con la cantidad aplicada y la calidad del mismo; sin embargo, genera altos valores, desde el punto de vista económico.

Según estudios realizados por Calzadilla Escalona (2018) la estabilización con cemento al 10% de un tramo del vial en el municipio de Antilla, con un volumen de suelo a estabilizar de 3200 m³ tienen importe total de 183 381 cup, por lo que en ese momento se determinó que no era una técnica económicamente viable.

Debido a la crisis económica que atraviesa el mundo, posterior a la pandemia de la Covid 19, las materias primas para la elaboración de cemento han aumentado su valor, de 114.55 cup por tonelada en el 2018 a 1916 cup por toneladas en el 2023.

Por este incremento en los valores económicos se hace necesario la búsqueda de materiales alternativos que reduzcan el empleo de cemento; se puede citar como ejemplo la aplicabilidad de escorias blancas de la fábrica ACINOX de Las Tunas en la estabilización de subrasante (Deliz 2017) que arroja excelentes resultados.

Para realizar la valoración de los RCDs como material alternativo para la estabilización se tienen en cuenta los resultados de tres parámetros de análisis:

- Resultados de los ensayos de CBR
 - Costos de materiales
 - Impacto medioambiental
1. Análisis de los resultados de los ensayos de CBR de las mezclas suelo-RCDs al 6,8,10 y 12% además de la mezcla suelo-12%RCDs- 4% cemento P250.

Se resumen todos los resultados de los ensayos en la siguiente tabla:

Tabla 2.13 Resumen de los ensayos de CBR²⁴

No	Mezclas realizadas	%CBR	
		0,254 cm	0.508 cm
	Suelo natural	13	20
1	Suelo-6%RCDs	20	26
2	Suelo-8%RCDs	20	28
3	Suelo-10%RCDs	23	30
4	Suelo-12%RCDs	27	34
5	Suelo-12%RCDs-4% cemento P250	71	83

²⁴ Fuente: Elaboración propia

Como se mencionó en el epígrafe anterior en la mezcla número 5 es que se obtiene valores adecuados de CBR para la capa base de un vial que presenta tráfico pesado, debido a la adición de un 4% de cemento.

El incremento generado por estas estabilizaciones se puede apreciar en los siguientes gráficos.



Gráfico 2.3 Incremento de CBR con la adición de RCDs al 6,8,10 y 12%²⁵

Como se puede apreciar en el gráfico la tendencia de crecimiento es lineal a razón de 1.1, valor de su pendiente, la cual es próxima a 1, es decir tiene un incremento de acuerdo al aumento del porcentaje añadido y un comportamiento semejante en cada una de las muestras analizadas. Se puede predecir, según el análisis de este tipo de crecimiento que si se aumenta el porcentaje empleado aumentará el valor del CBR.

Cabe resaltar que el análisis de las estabilizaciones con RCDs solo se pudieron realizar hasta el 12% debido a la escasez de material y la imposibilidad de obtener más, por escasez de combustible para la transportación del residuo hasta la ENIA.

En el caso de las estabilizaciones con cemento el incremento responde a una función cuadrática. Por ende, el aumento es más rápido, pero menos estable, debido a que posee un valor máximo de adición de cemento luego del cual la tendencia del CBR es de disminuir, esto se puede apreciar con mayor claridad en el siguiente gráfico.



Gráfico 2.4 Incremento de CBR con la adición de cemento P250 al 4,6,8,10 y 12%.²⁶

²⁵ Fuente: Elaboración propia

²⁶ Fuente: Elaboración propia

Se aprecia como con valores próximos entre si el aumento de CBR es mayor en relación a los RCDs, es una estabilización más eficiente en cuanto al incremento de las resistencias.

Por esta razón es que al añadir cemento en el menor porcentaje (4%) además de RCDs en el mayor porcentaje (12%) analizado, se aprecia un crecimiento mucho mayor, lo que convierte a la estabilización en adecuada para los requisitos de resistencia necesarios según la norma citada con anterioridad.

Los siguientes gráficos evidencia el incremento que genera entre la adición de 12% de RCDs y la adición de 12%RCDs + 4% cemento P250

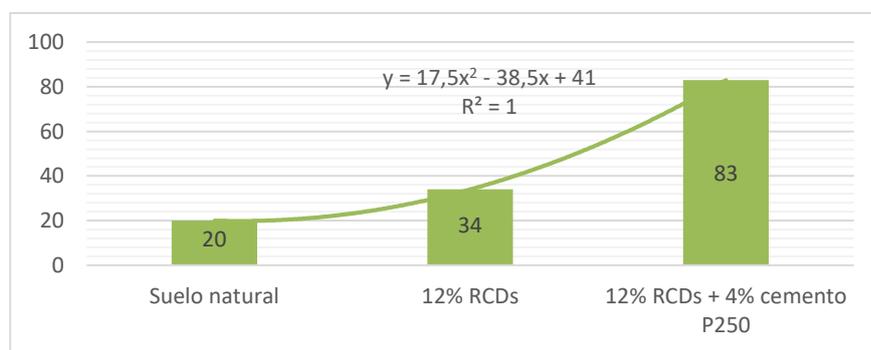


Gráfico 2.5 Incremento de CBR para la mezcla de 12% de RCDs y la mezcla 12% RCDs+ 4% cemento P250.²⁷

La línea de tendencia polinómica de grado dos nos muestra que hubo un crecimiento más rápido entre estas dos mezclas.

2. Costos de los materiales.

Los RCDs de la Planta de Prefabricados Gran Panel de Holguín no son comercializados, y como se mencionó en el epígrafe 2.2 se encuentran dispuestos en un vertedero próximo a la planta, a la intemperie. Su uso no implicaría importes económicos hasta el momento y con su adición se puede disminuir significativamente el porcentaje de cemento a emplear para las estabilizaciones, lo que genera un ahorro económico en la actividad.

De acuerdo a los resultados de Escalona, 2018 se planteó que una estabilización del suelo de la cantera Júcaro al 7% de cemento tiene un costo de 66 485.96 cup, para una estabilización de 2 km, con 8 m de ancho y 20 cm de espesor.

²⁷ Fuente: Elaboración propia

Si llevamos ese valor a el precio actual del cemento una estabilización al 7% tendría un costo 1 112 065.56 cup, es un costo alto, incluso sin tener en cuenta además los costos de transportación. Sin embargo, si usamos una estabilización que solo contenga 4% de cemento, debido a la adición de un 12% de RCDs el costo descendería a 635 466 cup, es decir un ahorro de 476 600 cup aproximadamente.

3. Impacto medioambiental.

Como se ha mencionado durante el desarrollo de la presente investigación, a nivel mundial el crecimiento de las industrias y de la población ha conllevado a un incremento en la generación de residuos tanto de residuos industriales, urbanos, residuos de la construcción etc. Cada año se producen entre 7000 y 10 000 millones de toneladas de residuos. (National Geographic, 2022) ²⁸ por lo que se hace imperante la reutilización de los mismos.

Cuba no está exento de este crecimiento. Específicamente en la provincia de Holguín se generan aproximadamente 72 000 m³ de RCDs anualmente (Bernal González, 2017) de cuales, la mayoría son abandonados en vertederos.

La Plata de Prefabricados Gran Panel, caso de estudio de la presente investigación, encargada de la producción de paneles y losas para la construcción de obras sociales, en las que se incluyen viviendas, genera en la actualidad 432 m³, que con respecto al 2017 tuvo un incremento de 264 m³ como se mencionó en el epígrafe 1.3 con tendencia a seguir en aumento.

Tabla 2.14 Volumen necesario de RCDs para una estabilización al 12%²⁹

Longitud a estabilizar	1000 m
Ancho a estabilizar	8.0 m
Espesor a estabilizar	0.2 m
Área a estabilizar	8000.00 m ²
Volumen de suelo a estabilizar	1600.00 m ³
Volumen de residuos para una estabilización al 12 %	123.2 m ³

²⁸ <https://www.nationalgeographic.com.es/>

²⁹ Fuente: Elaboración propia

Un aprovechamiento de estos residuos inutilizados en la actualidad, en este caso como áridos finos para labores de estabilización de suelos, generaría además de un ahorro económico, una disminución de los desechos, y de la generación de vertederos por ende una mejora del impacto paisajístico negativo. En la tabla 2.14 se aprecia que solo estabilizando 1 km de un vial se disminuye en casi un 29% la acumulación de estos residuos anualmente.

Implicaría a su vez una reducción en la explotación de nuevas canteras y sobreexplotación de las ya existentes con el fin de extraer más áridos. Estos constituyen un fuerte potencial para la obtención de áridos reciclados y la sustitución parcial de los naturales

Teniendo en cuenta también que los RCDs son residuos inertes, en los que ya no ocurren reacciones químicas importantes, usarse en los suelos no implicaría riesgos de contaminación del medio.

Conclusiones del capítulo:

Luego del análisis de los resultados se puede arribar a las siguientes conclusiones.

- Por su composición granulométrica los RCDs de la Planta de Prefabricados Gran Panel se consideraron como áridos finos, para una estabilización químico-mecánica..
- Los RCDs provenientes de la Planta de Prefabricados Gran Panel de Holguín, incrementa la relación de soporte del suelo, pero en porcentajes pequeños, la eleva a un máximo de 14% de su CBR natural, que no para todas las capas estratigráficas de un vial es el necesario.
- El incremento que generan en el CBR del suelo con respecto al incremento del porcentaje agregado es bastante lineal y estable, sin puntos críticos, con pequeños valores agregados a las mezclas genera pequeños aumentos de resistencia.
- Al incorporarle bajos porcentajes de cemento a las mezclas suelo- RCDs se obtienen incrementos del CBR satisfactorios, tanto para ser empleados como subrasante, base o subbase, incluso para tráficos pesados

CONCLUSIONES

A partir del cumplimiento de los objetivos trazados en la investigación, donde se evalúa la posibilidad de empleo de los residuos de la construcción y demolición de la Planta de Prefabricados de Holguín como árido reciclado en la estabilización de suelos, y en relación al estudio de su marco se arriba a las siguientes conclusiones que:

- La estabilización de suelos es un método de mejoramiento efectivo y que permite aprovechar al máximo el material disponible a pesar de, en condiciones naturales no ser el óptimo, fundamentalmente se realizan con aditivos químicos, mayormente con cemento, pero la tendencia es la búsqueda y utilización de otros materiales alternativos.
- El marco internacional de empleo de RCDs para la estabilización de suelos demuestra que los mismos aumentan la resistencia de los suelos.
- Los RCDs demuestran tener potencial para su uso como estabilizadores, aunque hasta el porcentaje analizado los aumentos fueron pequeños se predice que con mayores porcentajes de añadidos aumente aún más el CBR de los suelos. Aumentaron el CBR natural de suelo en los porcentajes analizados en un 6, 8, 10 y 14% y la estabilización con 12% de RCDs y 4% de cemento eleva un 63%, por tanto, el suelo se convierte en apto para capa base.
- Según los aspectos analizados para la valorización de los RCDs como agentes estabilizadores, se demuestra que los residuos juntos a valores ínfimos de cemento arrojan resultados muy satisfactorios en cuanto al aumento de la resistencia, por lo que permite reducir significativamente el uso del cemento, de alta demanda en la construcción, lo que genera una reducción en los costos de la actividad y una disminución del volumen de residuos en vertederos.

RECOMENDACIONES

Para contribuir en el desarrollo de futuras investigaciones relacionadas con el aprovechamiento de los RCDs en estabilizaciones de suelos, se recomienda:

- Aumentar los porcentajes de adición de los RCDs en los suelos a estabilizar.
- Disminuir aún más los porcentajes de cementos con el aumento de los RCDs.
- Evaluar la efectividad de los mismos en otros suelos con otras características, como las arcillas, además emplear otros RCDs de otras industrias.
- Calcular los costos de la estabilización con RCDs teniendo en cuenta el precio de la transportación al lugar donde se van a utilizar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

1. Bernal González, I. A. (2017). *Valorización de los residuos de la construcción y demolición como áridos reciclados en el municipio Holguín*. Holguín, Cuba.
2. Calzadilla Escalona, D. (2018). *Valoración técnico-económica entre los métodos de estabilización tradicionales y el sistema CONSOLID para los viales de acceso a la península del Ramón de Antilla*. Holguín, Cuba .
3. Castillo, B. (2015). Estabilización con cemento. *Maestría en ingeniería en Vialidad y Transportes*. Cuenca.
4. Cement Portlan Association 2001
5. Castillo, M., & Cesar, R. (2015). Estabilización de suelos con cal. *Maestría Ingeniería en Vialidad y Transportes*. Cuenca.
6. Das, B. M. (2015). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica* . Ciudad de México.
7. Henao Carvajal, V., & Barrios de Hoyos, A. M. (2021). *Evaluación del potencial uso de residuos de construcción y demolición en estabilización de arcillas limosas*. Enviagado, Colombia.
8. Maceo Chacón, K. (2017). *Utilización de los residuos de la Planta de Prefabricado Gran Panel como materia prima para la producción prefabricada de elementos complementarios*. Holguín, Cuba.
9. Manual de Estabilización de Suelos con Cemento o Cal (MANUAL IECA, 2008)
10. Morocho Adrianzen, F., & Casaverde Farfan, G. (2022). *Diseño y Aplicación de base estabilizada con cemento, producida en planta de suelos para el tramo 2 de la carretera departamental costanera II*. Universidad de Piura, Perú.
11. Noriega Góngora, A. A., & Villareal Acosta, K. T. (2020). *Influencia del porcentaje de concreto reciclado en la estabilización de suelos arcillosos para un pavimento flexible, de una trocha de 10 km en los sectores de Alto Huallaga hasta la Merced, Laredo -La Libertad*. Trujillo, Perú.
12. NC 20:1999 Geotecnia. Determinación de la granulometría de los suelos.
13. NC 19: 1999 Geotecnia. Determinación del peso específico de los suelos.
14. NC 54-150-1983 Terraplenes. Especificaciones constructivas

15. NC 334: 2004 Diseño de pavimento flexible. Método de cálculo
16. Rivera, Jhonathan; Aguirre-Guerrero, Ana; Mejía de Gutiérrez, Ruby; Orobio, Armando (2020). Estabilización química de suelos. Materiales convencionales y activados alcalinamente. <https://doi.org/10.23850/22565035.2530>
17. Roper Portillo, S. (2020). Residuos industriales: qué son, ejemplos, tipos, clasificación y manejo. *Ecologiaverde.com*.
18. Sánchez Galán, J. (2021). Residuos Industriales. *Economedia.com*.
19. *The United States Army Corps of Engineers*, 1984 (USACE)
20. Uranga Pantoja, L. A. (2022). *Pavimento articulado con árido reciclado de la Empresa de Prefabricado Gran Panel de Holguín*. Holguín, Cuba.
21. Urbina Reynaldo, María Onelia (2018) Gestión ambiental de los residuos sólidos domiciliarios en espacios urbanos. Aplicación en la ciudad de Holguín. Tesis en opción al grado de Doctora en Ciencias Geográficas. Inédita. Facultad de Geografía. Universidad de La Habana.
22. Urbina Reynaldo, M. O. (2023). Introducción al estudio de los residuos sólidos. *Introducción al estudio de los residuos sólidos*. Holguín.
23. Viñan Cely, P. S. (2022). *Aplicabilidad de la fracción fina de residuos de construcción y demolición en la estabilización de un suelo de la región de Foz de Iguazú*. Foz de Iguazú, Brasil.

ANEXOS:

Anexo 1: Informe del ensayo de granulometría y peso específico de los RCDs.

		EMPRESA NACIONAL DE INVESTIGACIONES APLICADAS, INVECONS Dirección General y Unidades de Investigaciones para la Construcción																																																																																																													
INFORME DE ENSAYO UIC: Holguín Camerata Central No.53 esq 17 Rept Harlem. Telef: 663499																																																																																																															
NORMA DE ENSAYO		CÓDIGO																																																																																																													
NC 20:1999		RG IIA 39.1																																																																																																													
OBRA: Residuo Planta de Pre Fabricado EMP: 0.01 CALA: MUESTRA: PROFUNDIDAD: FECHA DE MUESTREO: FECHA DE RECEPCIÓN: FECHA DE ENSAYO: DESCRIPCIÓN:																																																																																																															
NOMBRE Y DIRECCIÓN DEL CUENTE:																																																																																																															
DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD <table border="1"> <tr> <th>Recipiente No</th> <th>1</th> <th>2</th> </tr> <tr> <td>Masa húmeda más tara (g)</td> <td>101.52</td> <td>105.42</td> </tr> <tr> <td>Masa seca más tara (g)</td> <td>99.76</td> <td>103.81</td> </tr> <tr> <td>Tara (g)</td> <td>36.68</td> <td>36.56</td> </tr> <tr> <td>Humedad (%)</td> <td>2.75</td> <td>2.69</td> </tr> <tr> <td>Humedad promedio (%)</td> <td colspan="2">2.74</td> </tr> </table>		Recipiente No	1	2	Masa húmeda más tara (g)	101.52	105.42	Masa seca más tara (g)	99.76	103.81	Tara (g)	36.68	36.56	Humedad (%)	2.75	2.69	Humedad promedio (%)	2.74		DATOS INICIALES <table border="1"> <tr> <td>Masa húmeda total granulometría (W₁T) (g)</td> <td>500.00</td> </tr> <tr> <td>Masa seca total granulometría (W₂T) (g)</td> <td>486.66</td> </tr> <tr> <td>Factor K (Granulometría)</td> <td>0.20648</td> </tr> </table>		Masa húmeda total granulometría (W ₁ T) (g)	500.00	Masa seca total granulometría (W ₂ T) (g)	486.66	Factor K (Granulometría)	0.20648																																																																																				
Recipiente No	1	2																																																																																																													
Masa húmeda más tara (g)	101.52	105.42																																																																																																													
Masa seca más tara (g)	99.76	103.81																																																																																																													
Tara (g)	36.68	36.56																																																																																																													
Humedad (%)	2.75	2.69																																																																																																													
Humedad promedio (%)	2.74																																																																																																														
Masa húmeda total granulometría (W ₁ T) (g)	500.00																																																																																																														
Masa seca total granulometría (W ₂ T) (g)	486.66																																																																																																														
Factor K (Granulometría)	0.20648																																																																																																														
DETERMINACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA <table border="1"> <thead> <tr> <th>Tamiz</th> <th>Díámetro (mm)</th> <th>Retenido (g)</th> <th>Pasa (g)</th> <th>Pasa (%)</th> <th>Incertidumbre %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>3"</td><td>75.0</td><td>0.00</td><td>487</td><td>100</td><td>---</td></tr> <tr><td>2"</td><td>50.0</td><td>0.00</td><td>487</td><td>100</td><td>---</td></tr> <tr><td>1 1/2"</td><td>37.5</td><td>0.00</td><td>487</td><td>100</td><td>---</td></tr> <tr><td>1"</td><td>25.0</td><td>0.00</td><td>487</td><td>100</td><td>---</td></tr> <tr><td>3/4"</td><td>19.0</td><td>0.00</td><td>487</td><td>100</td><td>---</td></tr> <tr><td>3/8"</td><td>9.5</td><td>0.00</td><td>487</td><td>100</td><td>---</td></tr> <tr><td>No 4</td><td>4.75</td><td>0.40</td><td>486</td><td>100</td><td>±0.52</td></tr> <tr><td>No 10</td><td>2.00</td><td>57.10</td><td>429</td><td>88</td><td>±1.10</td></tr> <tr><td>No 20</td><td>0.85</td><td>162.80</td><td>266</td><td>55</td><td>±1.95</td></tr> <tr><td>No 40</td><td>0.425</td><td>103.30</td><td>161</td><td>33</td><td>±1.65</td></tr> <tr><td>No 60</td><td>0.25</td><td>52.00</td><td>109</td><td>22</td><td>±1.65</td></tr> <tr><td>No 100</td><td>0.15</td><td>26.00</td><td>63</td><td>13</td><td>±0.72</td></tr> <tr><td>No 200</td><td>0.075</td><td>7.80</td><td>55</td><td>11</td><td>±0.72</td></tr> <tr><td>FONDO</td><td>-</td><td>0.00</td><td>55</td><td>11</td><td>---</td></tr> </tbody> </table>		Tamiz	Díámetro (mm)	Retenido (g)	Pasa (g)	Pasa (%)	Incertidumbre %	3"	75.0	0.00	487	100	---	2"	50.0	0.00	487	100	---	1 1/2"	37.5	0.00	487	100	---	1"	25.0	0.00	487	100	---	3/4"	19.0	0.00	487	100	---	3/8"	9.5	0.00	487	100	---	No 4	4.75	0.40	486	100	±0.52	No 10	2.00	57.10	429	88	±1.10	No 20	0.85	162.80	266	55	±1.95	No 40	0.425	103.30	161	33	±1.65	No 60	0.25	52.00	109	22	±1.65	No 100	0.15	26.00	63	13	±0.72	No 200	0.075	7.80	55	11	±0.72	FONDO	-	0.00	55	11	---	RESULTADOS DEL ENSAYO <table border="1"> <tr> <td>Grava (%)</td> <td>3" - No 4</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Arena (%)</td> <td>No 4 - No 200</td> <td>89</td> </tr> <tr> <td>Gruesa (%)</td> <td>No 4 - No 10</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td>Medía (%)</td> <td>No 10 - No 60</td> <td>55</td> </tr> <tr> <td>Fina (%)</td> <td>No 60 - No 200</td> <td>22</td> </tr> <tr> <td>Limo, Arcilla y/o Coloides (%)</td> <td>Pasa No 200</td> <td>11</td> </tr> </table> <p>COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (C_u) C_u=(D₆₀) / (D₁₀)= NO SE CALCULA</p> <p>COEFICIENTE DE CURVATURA (C_c) C_c=(D₃₀²) / (D₁₀ X D₆₀)= NO SE CALCULA</p>		Grava (%)	3" - No 4	0	Arena (%)	No 4 - No 200	89	Gruesa (%)	No 4 - No 10	12	Medía (%)	No 10 - No 60	55	Fina (%)	No 60 - No 200	22	Limo, Arcilla y/o Coloides (%)	Pasa No 200	11
Tamiz	Díámetro (mm)	Retenido (g)	Pasa (g)	Pasa (%)	Incertidumbre %																																																																																																										
3"	75.0	0.00	487	100	---																																																																																																										
2"	50.0	0.00	487	100	---																																																																																																										
1 1/2"	37.5	0.00	487	100	---																																																																																																										
1"	25.0	0.00	487	100	---																																																																																																										
3/4"	19.0	0.00	487	100	---																																																																																																										
3/8"	9.5	0.00	487	100	---																																																																																																										
No 4	4.75	0.40	486	100	±0.52																																																																																																										
No 10	2.00	57.10	429	88	±1.10																																																																																																										
No 20	0.85	162.80	266	55	±1.95																																																																																																										
No 40	0.425	103.30	161	33	±1.65																																																																																																										
No 60	0.25	52.00	109	22	±1.65																																																																																																										
No 100	0.15	26.00	63	13	±0.72																																																																																																										
No 200	0.075	7.80	55	11	±0.72																																																																																																										
FONDO	-	0.00	55	11	---																																																																																																										
Grava (%)	3" - No 4	0																																																																																																													
Arena (%)	No 4 - No 200	89																																																																																																													
Gruesa (%)	No 4 - No 10	12																																																																																																													
Medía (%)	No 10 - No 60	55																																																																																																													
Fina (%)	No 60 - No 200	22																																																																																																													
Limo, Arcilla y/o Coloides (%)	Pasa No 200	11																																																																																																													
<table border="1"> <tr> <td>LIMO, ARCILLA y/o COLÓIDES</td> <td>ARENA</td> <td>GRAVA</td> </tr> </table>				LIMO, ARCILLA y/o COLÓIDES	ARENA	GRAVA																																																																																																									
LIMO, ARCILLA y/o COLÓIDES	ARENA	GRAVA																																																																																																													
GRAFICO GRANULOMÉTRICO 																																																																																																															
Realizado por:	Calculado por:	Revisado y Aprobado por:																																																																																																													
Nombre: Tec. Carlos M Olivera	Nombre: Tec. Gisela Fonseca	Nombre: Ing. Jorge Cano Mora																																																																																																													
Firma:	Firma:	Firma:																																																																																																													
Cargo: Tec. Aux. Proyecto Ing	Cargo: Tec. Aux. Proyecto Ing	Cargo: Esp. Princ Lab Suelos																																																																																																													

		EMPRESA NACIONAL DE INVESTIGACIONES APLICADAS, INVECONS Dirección General y Unidades de Investigaciones para la Construcción	
INFORME DE ENSAYO UIC: Holguín Dirección C/Central No. 53 of 17 y Julio Antonio Mella. Rpto Harlem Teléfono. 24463499 ext. 105			
NORMA DE ENSAYO		CÓDIGO	
NC 19:1999		RG IIA-40.1	
OBRA: Residuo Plantat Pre Fabricado CALA: MUESTRA: PROFUNDIDAD (m): FECHA DE MUESTREO: FECHA DE RECEPCIÓN: FECHA DE ENSAYO: DESCRIPCIÓN:			
NOMBRE Y DIRECCIÓN DEL CUENTE:			
DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DE LOS SUELOS MÉTODO DEL PICNÓMETRO Partículas menores que el Tamiz No 10 (2,00 mm) <input checked="" type="checkbox"/> Partículas menores que el Tamiz No 4 (4,75 mm) <input type="checkbox"/> EMP BALANZA (g) 0.01 PICNÓMETRO No: 1 26 TEMPERATURA (T) °C 27.0 27.0 DENSIDAD DEL AGUA (γ _w) 0.99652 0.99652 CONSTANTE (K) 0.99831 0.99831 PESAFILTRO No. 23 32 MASA SECA + MASA DEL PESAFILTRO (W _{sp}) (g) 62.29 65.80 MASA DEL PESAFILTRO (W _p) (g): 14.31 13.62 MASA SECA (W _s) (g) 47.98 52.18 MASA DEL PICNÓMETRO CON AGUA (W _{pa}) (g) 343.99 388.19 MASA DEL PICNÓMETRO + AGUA + SUELO (W _{psa}) (g) 369.93 386.42 PESO ESPECÍFICO DEL SUELO QUE PASA 2.17 2.18 PESO ESPECÍFICO PROMEDIO (γ _s) 2.17 RESULTADOS DEL ENSAYO PESO ESPECÍFICO DEL SUELO (γ _s): 2.17 INCERTIDUMBRE EXPANDIDA CON K=2 0.014			
Realizado por:	Calculado por:	Revisado y Aprobado por:	
Nombre: Gisela Fonseca Santana	Nombre: Carlos Manuel Olivera	Nombre: Jorge Cano Mora	
Firma:	Firma:	Firma:	
Cargo: Tec. Aux. Proy e Ing	Cargo: Tec. Aux. Proy e Ing	Cargo: Esp. Princ Lab Suelos	

Anexo 2: Informe de los resultados de CBR para las mezclas suelo- RCDs al 6% y 8%.

EMPRESA NACIONAL DE INVESTIGACIONES APLICADAS INVECONS Dirección General y Unidades de Investigaciones para la Construcción										
INFORME DE ENSAYO										
UC HOLGÚN										
Dirección: Carretera Central Esq. 17 No. 53, Reparto Harlem										
RG 04-467										
NORMA DE ENSAYO	54-559-193	GEOTECA. MÉTODO DE ENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE CBR EN EL LABORATORIO (No de Golpes variables y humedad constante) (1 Módulo)								
ENERGÍA ESTÁNDAR	4.54	kg								
VELOCIDAD DE APLICACIÓN DE LA CARGA	0.127	cm/min								
ÁREA DEL PISTÓN	19.62	cm ²								
VELOCIDAD DE APLICACIÓN DE LA CARGA PARA EL HINCHAMIENTO	0.1000	mm/min								
FECHA DE MUESTREO		FECHA DE RECEPCIÓN								
FECHA DE ENSAYO										
NOMBRE Y DIRECCIÓN DEL CLIENTE										
DATOS DEL PROCTOR										
HUMEDAD ÓPTIMA (%)	14.2									
DENSIDAD SECA MÁXIMA (kg/m ³)	17.74									
HUMEDAD HIGROSCÓPICA (%)	1.5									
% de Compactación	100									
DETERMINACIÓN DE LAS DENSIDADES										
Módulo No.	Masa del molde (g)	Volumen (cm ³)	Masa húmeda inicial más el molde (g)	Masa húmeda final más el molde (g)	Masa saturada (g)	Humedad natural (%)	Densidad aparente de la muestra (kg/m ³)	Densidad saturada (kg/m ³)	Densidad seca (kg/m ³)	No de golpes
11	4330.0	1001.0	4720.0	3700.0	4775.0	34.5	14.4	20.0	20.0	18
RESULTADOS DEL HINCHAMIENTO										
Día	Fecha	Módulo No.								
No de Módulo		14								
Altura de la muestra en el molde (cm)		10.00								
DÍA	FECHA	DIVISIONES								
1er día	20/10/2023	-3.0								
2 do día	20/10/2023	-4.0								
3er día	20/10/2023	-4.0								
4to día	21/10/2023	-4.0								
% total de hinchamiento		-0.4								
RESULTADOS DEL ENSAYO										
Módulo No.	No de golpes	Hinchamiento en 4 días (%)	% CBR 0.25 cm	% CBR 0.50 cm	% de compactación	Densidad seca (kg/m ³)	Humedad absorbida (%)			
14	56	-0.4	20	26	100	18	0.5			
RESULTADOS DE LAS PENETRACIONES										
No de Golpes	No de MOLDE	Estadoc estándar (kg)	Penetración (mm)	Letura del anillo (Divisiones)	Fuerza (kg)	% CBR Completo				
56	14	0	0.0	0.00						
12	15	0.6558	37.0	37.7						
18	16	1.27	62.0	63.6						
19	17	1.50	124.0	128.7						
20	18	1.90	2.54	211.0	215.2	16				
13	15	3.81	377.0	384.5						
26	28	2.94	5.08	503.0	513.1	25				
19	18	7.62	69.0	69.2						
18	15	10.16								
17	10	12.70								
HUMEDADES INICIALES										
No de Golpes	No de Módulo	Recipiente No.	Masa húmeda más recipiente (g)	Masa seca más recipiente (g)	Masa del recipiente (g)	Humedad (%)	Humedad promedio (%)			
56	14		117.54	105.56	36.64	17.47	14.4			
12	15		101.80	91.16	30.64	17.47	14.4			
18	16		101.80	91.16	30.64	17.47	14.4			
19	17		101.80	91.16	30.64	17.47	14.4			
20	18		101.80	91.16	30.64	17.47	14.4			
13	15		101.80	91.16	30.64	17.47	14.4			
26	28		101.80	91.16	30.64	17.47	14.4			
19	18		101.80	91.16	30.64	17.47	14.4			
18	15		101.80	91.16	30.64	17.47	14.4			
17	10		101.80	91.16	30.64	17.47	14.4			
HUMEDADES FINALES DESPUÉS DE LA INMERSIÓN										
No de Golpes	No de Módulo	Recipiente No.	Masa húmeda más recipiente (g)	Masa seca más recipiente (g)	Masa del recipiente (g)	Humedad (%)	Humedad promedio (%)			
56	14		117.54	105.56	36.64	17.47	20.1			
12	15		101.80	91.16	30.64	17.47	20.1			
18	16		101.80	91.16	30.64	17.47	20.1			
19	17		101.80	91.16	30.64	17.47	20.1			
20	18		101.80	91.16	30.64	17.47	20.1			
13	15		101.80	91.16	30.64	17.47	20.1			
26	28		101.80	91.16	30.64	17.47	20.1			
19	18		101.80	91.16	30.64	17.47	20.1			
18	15		101.80	91.16	30.64	17.47	20.1			
17	10		101.80	91.16	30.64	17.47	20.1			
REVISADO por: Carlos Manuel Olvera										
CALCULADO por: Gisela Fonseca Santos										
REVISADO y APROBADO por: Jorge Caro Rivera										

EMPRESA NACIONAL DE INVESTIGACIONES APLICADAS INVECONS Dirección General y Unidades de Investigaciones para la Construcción										
INFORME DE ENSAYO										
UC HOLGÚN										
Dirección: Carretera Central Esq. 17 No. 53, Reparto Harlem										
RG 04-467										
NORMA DE ENSAYO	54-559-193	GEOTECA. MÉTODO DE ENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE CBR EN EL LABORATORIO (No de Golpes variables y humedad constante) (1 Módulo)								
ENERGÍA ESTÁNDAR	4.54	kg								
VELOCIDAD DE APLICACIÓN DE LA CARGA	0.127	cm/min								
ÁREA DEL PISTÓN	19.62	cm ²								
VELOCIDAD DE APLICACIÓN DE LA CARGA PARA EL HINCHAMIENTO	0.1000	mm/min								
FECHA DE MUESTREO		FECHA DE RECEPCIÓN								
FECHA DE ENSAYO										
NOMBRE Y DIRECCIÓN DEL CLIENTE										
DATOS DEL PROCTOR										
HUMEDAD ÓPTIMA (%)	14.2									
DENSIDAD SECA MÁXIMA (kg/m ³)	17.74									
HUMEDAD HIGROSCÓPICA (%)	1.5									
% de Compactación	100									
DETERMINACIÓN DE LAS DENSIDADES										
Módulo No.	Masa del molde (g)	Volumen (cm ³)	Masa húmeda inicial más el molde (g)	Masa húmeda final más el molde (g)	Masa saturada (g)	Humedad natural (%)	Densidad aparente de la muestra (kg/m ³)	Densidad saturada (kg/m ³)	Densidad seca (kg/m ³)	No de golpes
11	9128.0	1943.0	8903.0	3772.0	9168.0	34.9	14.9	21.5	20	2149
RESULTADOS DEL HINCHAMIENTO										
Día	Fecha	Módulo No.								
No de Módulo		11								
Altura de la muestra en el molde (cm)		10.00								
DÍA	FECHA	DIVISIONES								
1er día	20/10/2023	-3.0								
2 do día	20/10/2023	-4.0								
3er día	20/10/2023	-4.0								
4to día	21/10/2023	-4.0								
% total de hinchamiento		0.02								
RESULTADOS DEL ENSAYO										
Módulo No.	No de golpes	Hinchamiento en 4 días (%)	% CBR 0.25 cm	% CBR 0.50 cm	% de compactación	Densidad seca (kg/m ³)	Humedad absorbida (%)			
11	56	0.02	20	28	100	18	6.6			
RESULTADOS DE LAS PENETRACIONES										
No de Golpes	No de MOLDE	Estadoc estándar (kg)	Penetración (mm)	Letura del anillo (Divisiones)	Fuerza (kg)	% CBR Completo				
56	11	0	0.0	0.00						
12	15	0.6558	63.0	64.3						
18	16	1.27	125.0	128.6						
19	17	1.50	190.0	193.7						
20	18	1.90	2.54	220.0	242.0	16				
13	15	3.81	366.0	401.0						
26	28	2.94	5.08	545.0	555.0	27				
19	18	7.62	67.0	68.4						
18	15	10.16								
17	10	12.70								
HUMEDADES INICIALES										
No de Golpes	No de Módulo	Recipiente No.	Masa húmeda más recipiente (g)	Masa seca más recipiente (g)	Masa del recipiente (g)	Humedad (%)	Humedad promedio (%)			
56	11		116.20	112.00	34.00	17.47	21.5			
12	15		101.80	91.16	30.64	17.47	21.5			
18	16		101.80	91.16	30.64	17.47	21.5			
19	17		101.80	91.16	30.64	17.47	21.5			
20	18		101.80	91.16	30.64	17.47	21.5			
13	15		101.80	91.16	30.64	17.47	21.5			
26	28		101.80	91.16	30.64	17.47	21.5			
19	18		101.80	91.16	30.64	17.47	21.5			
18	15		101.80	91.16	30.64	17.47	21.5			
17	10		101.80	91.16	30.64	17.47	21.5			
HUMEDADES FINALES DESPUÉS DE LA INMERSIÓN										
No de Golpes	No de Módulo	Recipiente No.	Masa húmeda más recipiente (g)	Masa seca más recipiente (g)	Masa del recipiente (g)	Humedad (%)	Humedad promedio (%)			
56	11		116.20	112.00	34.00	17.47	21.5			
12	15		101.80	91.16	30.64	17.47	21.5			
18	16		101.80	91.16	30.64	17.47	21.5			
19	17		101.80	91.16	30.64	17.47	21.5			
20	18		101.80	91.16	30.64	17.47	21.5			
13	15		101.80	91.16	30.64	17.47	21.5			
26	28		101.80	91.16	30.64	17.47	21.5			
19	18		101.80	91.16	30.64	17.47	21.5			
18	15		101.80	91.16	30.64	17.47	21.5			
17	10		101.80	91.16	30.64	17.47	21.5			
REVISADO por: Carlos Manuel Olvera										
CALCULADO por: Gisela Fonseca Santos										
REVISADO y APROBADO por: Jorge Caro Rivera										

Anexo 3: Informe de los resultados de CBR para las mezclas suelo- RCDs al 10% y 12%.

 EMPRESA NACIONAL DE INVESTIGACIONES APLICADAS. INVECON Dirección General y Unidades de Investigaciones para la Construcción INFORME DE ENSAYO UIC HOLGUIN Dirección: Carretera Central Esq. 17 No. 53, Reparto Harlem		RE-04-417								
NORMA DE ENSAYO	CODIGO	GEOTECNA. MÉTODO DE ENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN DEL ÍNDEX CBR EN EL LABORATORIO (No de Golpes variables y humedad constante) (1) Móvil)								
44-98-193										
OBRA: CONSTRUCCIÓN DE NUEVA CARRETERA Y PAVIMENTO EN REPARTO DE HOLGUIN	MUESTRA: 1	SITUACIÓN: 1								
UBICACIÓN: 1										
ENERGÍA ESTÁNDAR: <input type="checkbox"/> ENERGÍA <input type="checkbox"/> CBR <input checked="" type="checkbox"/> PROCTOR-CBR <input type="checkbox"/> Fecha: 13/09/2018										
Subcarga: 4.54 kg	Velocidad de aplicación de la carga: 0.17 cm/min	Valor por división del indicador de información del anillo dinámico (FUERZA): 1.03000 kg/dinámico								
Área del pistón: 19.62 cm ²	Valor por división del indicador de información para el Proctor: 0.10000 mm/dinámico									
FECHA DE MUESTREO: 13/09/2018	FECHA DE RECEPCIÓN: 13/09/2018	FECHA DE ENSAYO: 13/09/2018								
NOMBRE Y DIRECCIÓN DEL CLIENTE: UIC HOLGUIN										
DATOS DEL PROCTOR										
HUMEDAD ÓPTIMA (%)	14.2									
ESBESADO SECANÍSIMA (kg/m ³)	17.74									
HUMEDAD HÍGROSCÓPICA (%)	5.5									
% de Compactación	100									
DETERMINACIÓN DE LAS BENEJAS										
Móvil No	Masa del molde (kg)	Volumen (cm ³)	Masa húmeda (kg)	Masa húmeda más agua (kg)	Masa saturada (kg)	Humedad (H) (%)	Humedad después de la inmersión (H _i) (%)	Densidad saturada (kg/m ³)	Densidad seca (kg/m ³)	No de golpes
21	3026.1	194.1	3759.1	3759.1	3759.1	14.2	21.5	20	200	19
RESULTADO DE LAS PENETRACIONES										
No de Golpes	25									
No de MOLDE	25									
Esfuerzo aplicado (kg)	Penetración (mm)	Fuerza (kg)	% CBR Compuesto							
0	0.0	0.00								
1	0.5200	76.0	86.3							
Masa de la muestra en el molde (gr)										
1.27	119.0	121.4								
Masa seca más agua (g)										
1.90	171.0	182.3								
Masa húmeda más agua (g)										
1.90	2.54	261.0	261.1							
Humedad (%)										
3.81	440.0	448.0	14.5							
Humedad promedio (%)										
3.81	5.08	579.0	588.0							
Humedad promedio (%)										
7.62	777.0	793.3	10.2							
Humedad promedio (%)										
15.24	-	-	-							
Humedad promedio (%)										
30.48	-	-	-							

RESULTADO DEL HINCHAMIENTO	
Día	Fecha
No de Molde	21
Masa de la muestra en el molde (gr)	
1.90	
Masa seca más agua (g)	
1.90	
Masa húmeda más agua (g)	
1.90	
Humedad (%)	
3.81	
Humedad promedio (%)	
7.62	
Humedad promedio (%)	
15.24	
Humedad promedio (%)	
30.48	
Humedad promedio (%)	
60.96	
Humedad promedio (%)	
121.92	

RESULTADO DEL ENSAYO	
Móvil No	21
No de golpes	25
Hinchamiento en 4 días (%)	0.02
% CBR 1.251 cm	23
% CBR 1.508 cm	30
% de compactación	100
Densidad seca (kg/m ³)	19
Humedad aparente (%)	6.3

Elaborado por: Carlos Manuel Olvera	Calculado por: Gladys Fonseca Santana	Revisado y Aprobado por: Jorge Caro Rivera
Nombre: Carlos Manuel Olvera	Nombre: Gladys Fonseca Santana	Nombre: Jorge Caro Rivera
Ptmo: Tec. Aux. Proyectos Ing	Ptmo: Tec. Aux. Proyectos Ing	Ptmo: Tec. Aux. Proyectos Ing
Cargo: Tec. Aux. Proyectos Ing	Cargo: Tec. Aux. Proyectos Ing	Cargo: Esp. Principal Lab de Suelos

Anexo 4: Informe de los resultados de CBR para las mezclas suelo- RCDs al 12%- cemento P250 al 4%.

	EMPRESA NACIONAL DE INVESTIGACIONES APLICADAS. INVECONS Dirección General y Unidades de Investigaciones para la Construcción											
	INFORME DE ENSAYO											
	UIC HOLGUIN Dirección; Carretera Central Esq. 17 No. 53 , Reparto Harlem											
NORMA DE ENSAYO: 54-150-1983		CÓDIGO:										
GEOTECNIA. MÉTODO DE ENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE CBR EN EL LABORATORIO (No de Golpes variables y humedad constante) (1 Molde)												
OBRA: Calificación de Boto Cámara al Zócalo con relleno de Banta de Fabricada	MUESTRA:	SITUACIÓN:										
ENERGÍA ESTÁNDAR:	ENERGÍA:	CBR: X										
Sobrecarga: 4.54 kg	Velocidad de aplicación de la carga: 0,127 cm/min	Valor por división del Indicador de deformación del anillo dinámico (FUERZA): 1.02000 kg/división										
Área del pistón: 19.82 cm ²	Valor por división del Indicador de deformación para el Hinchamiento: 0.01000 mm/división	FECHA DE ENSAYO:										
FECHA DE MUESTREO:	FECHA DE RECEPCIÓN:	FECHA DE ENSAYO:										
NOMBRE Y DIRECCIÓN DEL CLIENTE:												
DATOS DEL PROCTOR												
HUMEDAD ÓPTIMA (%)	14.2											
DENSIDAD SECA MÁXIMA (kg/m ³)	17.74											
HUMEDAD HIGROSCÓPICA (%)	3.5											
% de Compactación	100											
DETERMINACIÓN DE LAS DENSIDADES												
Molde No	Masa del molde (g)	Volumen (cm ³)	Masa húmeda inicial más el molde (g)	Masa húmeda inicial (g)	Masa saturada más molde (g)	Masa saturada (g)	Humedad inicial (%)	Humedad después de la inmersión (%)	Densidad húmeda (kg/m ³)	Densidad saturada (kg/m ³)	Densidad seca (kg/m ³)	No de golpes
16	4705.0	1894.0	8590.0	3845.0	8720.0	4015.0	14.3	21.2	20	2120	18	56
RESULTADOS DE LAS PENETRACIONES												
No de Golpes		56										
No. de MOLDE		16										
Esfuerzo estándar (kg)	Penetración (mm)	Lectura del anillo (Divisiones)	Fuerza (kg)	% CBR	% CBR Corregido							
0	0.0	0.00	0.00									
0.6350	308.0	314.2										
1.27	626.0	638.5										
1.90	894.0	911.9										
1360	2.54	1148.0	1171.0	86	90							
2040	3.81	1573.0	1604.5									
7.62	2245.0	2289.9										
10.16												
12.70												
RESULTADOS DEL HINCHAMIENTO												
Día	Fecha	Molde No.										
No del Molde			16									
Altura de la muestra en el molde (cm)			10.00									
DÍA	FECHA	DIVISIONES										
1 er día	28/01/2023	-2.0										
2 do día	29/01/2023	-4.0										
3 er día	30/01/2023	-5.0										
4 to día	31/01/2023	-5.0										
% total de hinchamiento			-0.03									
RESULTADOS DEL ENSAYO												
Molde No	16											
No de golpes	56											
Hinchamiento en 4 días (%)	-0.03											
% CBR 0,254 cm	90											
% CBR 0,508 cm	94											
% de compactación	100											
Densidad seca (kg/m ³)	18											
Humedad absorbida (%)	6.9											
Realizado por:			Calculado por:			Revisado y Aprobado por:						
Nombre: Carlos Manuel Olivera			Nombre: Gisela Fonseca Santana			Nombre: Jorge Cano Morera						
Firma:			Firma:			Firma:						
Cargo: Tec. Aux. Proyecto Ing			Cargo: Tec. Aux. Proyecto Ing			Cargo: Esp. Principal. Lab de Suelos						