

Influence on the addition of concrete residue of 210 kg/cm² in granular soil for road surfacing

Influencia de la adición de residuos de concreto de 210 kg/cm² al material de afirmado

Alexey Alvarez,¹; Jane Alvarez-Llanos, Mg.²;

¹ Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca, Perú. N00016034@upn.edu.pe

² Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca, Perú. jane.alvarez@upn.edu.pe

Abstract– The main objective of this research was to determine the influence of the addition of 4% and 6% of construction waste [CW] in the improvement of the physical-mechanical properties of the granular material for its use in pavements according to the Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción [EG-2013]. An experimental investigation was proposed, varying the addition of concrete construction waste 210 kg/cm² [CCW] to 4% and 6%. It is shown that adding CCW improves the granulometry of the material, has an inversely proportional relationship with the liquid limit, and does not present plasticity. Regarding the standard sample with the addition of 4% and 6% CCW, the percentage of loss to abrasion is reduced by 4.09% and 10.28%, and the CCW increases by 4.9% and 11.30%, respectively, at each percentage added. In conclusion, the CCW improves the granular material's physical-mechanical properties to be used as affirmed.

Keywords: Granular material, Construction Waste, affirmed, abrasion, CBR.

Resumen– La investigación tuvo como objetivo principal determinar la influencia de la adición del 4% y 6% de residuos de construcción [RC] en el mejoramiento de las propiedades físico mecánicas del material granular para su uso en afirmados según el Manual de Carreteras-Especificaciones Técnicas Generales para Construcción [EG-2013]. R.D. N° 22-2013-MTC. Se planteó una investigación experimental variando la adición de residuos de construcción de concreto de 210kg/cm² [RC] en 4% y 6%, demostrando que al adicionar RC, mejora la granulometría del material, tiene relación inversamente proporcional con el límite líquido y no presenta plasticidad. Respecto a la muestra patrón con adición de 4% y 6% de RC reduce el porcentaje de pérdida a la abrasión en 4.09% y 10.28% y el CBR se incrementa en 4.9% y 11.30% respectivamente a cada porcentaje adicionado. Se concluye que los RC mejoran las propiedades físico mecánicas del material granular y este podría ser utilizado como material de afirmado.

Palabras clave: Material granular, Residuos de Construcción, afirmado, abrasión, CBR.

I. INTRODUCCIÓN

El presente escrito tiene como objetivo mostrar los resultados de la tesis Propuesta de mejoramiento de las propiedades físico mecánicas del material granular con la adición de 4 % y 6 % de residuos de construcción de concreto para su uso como afirmados según las EG-2013 R.D. N° 22-2013-MTC [12], siendo que gran parte del territorio peruano

cuenta con suelos inestables que ocasionan una gran problemática en la construcción de caminos y teniendo en cuenta que los suelos son la base fundamental de toda obra de infraestructura civil. El material granular utilizado en la construcción de diversas obras civiles, como en proyectos viales y debido a su mala calidad generan inestabilidad produciendo diversas fallas en la estructura de los pavimentos [1].

Los materiales utilizados en la construcción de obras viales deben de cumplir ciertas propiedades tanto físicas como mecánicas que permitan lograr una adecuada estabilidad y capacidades resistentes que puedan satisfacer las distintas solicitaciones a las que están expuestas los materiales como cambios climáticos o la presencia de cargas originadas por el tránsito vehicular, para lo cual se utilizan la incorporación o adición de otros agentes para mejorar los suelos y así lograr una estabilización adecuada [2].

En el Perú la disposición de los residuos de construcción es un problema latente debido a que no se logra completar todas las fases de deposición de los mismos, esto principalmente por la escasez de rellenos sanitarios existentes, por lo que se hace necesario implementar la gestión de residuos de construcción [RC] tomando en consideración todas sus etapas, desde su generación hasta su disposición final. Se observa que en su mayoría los RC provienen de escombros de edificaciones, concretos y asfaltos, pueden ser reutilizados como capas estructurales de caminos y carreteras, con lo cual se estaría reduciendo su acumulación en los centros de acopio, disminuyendo el impacto negativo que estos le causan al medio ambiente [3].

Los residuos generados en la construcción conforman una cantidad considerable de escombros de concreto que pueden ser separados mediante un reciclaje selectivo, y de esta manera poder reutilizarlos ya sea en la elaboración de concreto no estructural o en la construcción de pavimentos rígidos y flexibles. Las propiedades de los materiales reciclados del concreto están influenciadas de acuerdo a los agregados utilizados para la elaboración del mismo, así como su proceso de ejecución; varias investigaciones orientadas al cuidado del medio ambiente y a la disminución de costos en obras, han encontrado resultados positivos para la reutilización de los RC en concretos y sub bases y bases de pavimentos, los cuales

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.148>

ISBN: 978-628-95207-0-5 **ISSN:** 2414-6390

generan impactos positivos debido a que son considerados como material alternativo, como por ejemplo para el caso de bases y sub bases granulares en pavimentos, que mediante procesos de compactación estos garantizan un incremento de su densidad y en consecuencia, una mejora de sus propiedades mecánicas [4].

Es una buena práctica la reutilización de RC en los proyectos de infraestructura civil como estudios, diseños, construcción y conservación de pavimentos, debido a que presentan resultados óptimos al ser utilizados como materiales para estructura de los pavimentos. Además, nos brindan una mejora de las propiedades tanto físicas como mecánicas de los materiales granulares al ser estabilizados con estos RC, pues incrementan la densificación del material y por ende mejoran sus capacidades resistentes de los mismos [5].

Debido a la problemática de calidad de materiales se buscan soluciones para mejorar su comportamiento ante factores externos sometidos a ciertos tratamientos y de esta manera corregir sus deficiencias alterando sus propiedades físico mecánicas de modo que mejoren sus características de estabilidad y resistencia [6]. Es así que con el mismo propósito esta investigación estudia una propuesta de mejoramiento de las propiedades físico mecánicas del material granular con la adición de residuos de construcción, para comparar si satisfacen los requisitos de calidad de un afirmado según la normativa del Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC].

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Se desarrolló en base a la observación directa del diseño experimental; se recolectó material granular de la cantera Don Lucho I, provenientes de elaboración de concretos, como restos de concreto de elementos estructurales de edificaciones (vigas, columnas) sin refuerzo (acero) y pavimentos rígidos, se trituró manualmente y mediante tamizado se obtuvo como fracción gruesa el material retenido en el tamiz N° 4 y como fracción fina el pasante dicho tamiz; se tomó material granular como muestra patrón y muestras adicionando 4% y 6% de RC, se determinó sus propiedades físico mecánicas en el laboratorio de suelos de la Universidad Privada del Norte según normas del MTC, realizando las siguientes actividades utilizando los equipos y herramientas indicadas por las normas descritas a continuación:

A. Recolección de material para afirmado (Cantera Don Lucho I)

El material en estudio proviene de la cantera denominado "Don Lucho I", ubicada en la coordenada UTM – WGS 84, Este: 775095.00, Norte: 9202972.00, Altitud: 2845 m.s.n.m., para lo cual se identificó dos puntos extremos de la cantera y se extrajo el material, luego se dispuso de una cantidad considerable, en un solo lugar, de forma proporcional se cuarteó el material seleccionado y se identificó cada diagonal del cuarteo a través de letras. Tomando como muestra las partes identificadas como "A" y "C", se almaceno la muestra elegida en sacos para ser transportada al laboratorio donde se identificó

mediante rotulado y se tomó notas de campo para distinguir cada material.

B. Recolección de residuos de construcción

Los Residuos de construcción, generados en la ciudad de Cajamarca producto de la elaboración de concretos para la industria de la construcción se obtuvo de un botadero informal sin nombre ubicado a la margen derecha del aeropuerto en el trayecto carretera Cajamarca – Otuzco en la coordenada UTM – WGS 84, Este: 777681, Norte: 9208859, Altitud: 2826 m.s.n.m., proceso desarrollado como el de recolección de material de afirmado.

C. Selección y trituración de residuos de construcción

Una vez ubicado el depósito se recolectó y seleccionó los RC provenientes de la elaboración de concretos, tales como restos de concreto de elementos estructurales de edificaciones (vigas, columnas) sin refuerzo (acero) y pavimentos rígidos; cabe recalcar que no se consideró restos de material cerámico en la muestra. Para facilitar el transporte del material se optó por extraer la muestra en bloques menores a 30 cm y agregados parcialmente disgregados que además facilitaría el proceso de trituración.

Se trituraron los bloques de RC de forma manual con el fin de obtener la gradación adecuada de la muestra, así se disgregó y se uniformizó el material en partículas menores a 2" y mediante tamizado a través del tamiz N° 4 se obtuvo la fracción gruesa y fina del material convirtiéndose así los RC en agregado reciclado de concreto; para los análisis de las propiedades físico mecánicas tanto del agregado reciclado y su combinación con agregados naturales se siguió los lineamientos descritos en las normas establecidas vigentes en el país contempladas en el manual de ensayos de materiales del MTC 2016 [7], tales como contenido de humedad según protocolo MTC E 108 / ASTM- D2216 [7], análisis granulométrico según protocolo MTC E 204 / ASTM D 422 [7], límites de consistencia según protocolo MTC E 110, 111 / ASTM D 4318 [7], abrasión de los ángeles según protocolo MTC E 207 / ASTM C 131 [7], proctor modificado según protocolo MTC E 115 / ASTM D 1557 [7] y CBR según protocolo MTC E 132 / ASTM D 1883 [7].

D. Adición de residuos de construcción

Para el ensayo de granulometría se tomó dos muestras de 5000 g de material de afirmado seco mediante cuarteo, y se determinó el porcentaje de adición en peso de RC por regla de tres simples siendo de 200 g para 4% y de 300 g para 6% de adición de RC, luego se mezcló hasta obtener una muestra homogénea. Para el límite líquido se obtuvo material de afirmado seco pasante el tamiz N° 40 de aproximadamente 600 g, de la misma forma se obtuvo una porción de material fino de RC, seguido se dividió la muestra de material de afirmado en partes de 300 g, y se le adicione RC de 12 g dosificación al 4% y de 18 g al 6%. En cuanto a la abrasión de acuerdo a la gradación del material, se eligió el método de ensayo "B", luego se tomó muestras compuesta por 2500 g de agregado grueso pasante el tamiz de 3/4" y retenido en el tamiz de 1/2" y 2500 g pasante el tamiz de 1/2" y retenido en el tamiz de 3/8" y se adicionó 4% y 6% de RC a razón de 100 g y 150 g por cada 2500 g respectivamente. Para el ensayo proctor modificado se eligió el método de ensayo de acuerdo a la granulometría, así se optó por el

método de ensayo “C” para ambos casos, se obtuvo material pasante la malla 3/4", tanto de material de afirmado y RC, se preparó 4 muestras de 6 kg por ensayo, y por cada 6 kg de material de afirmado se le adicionó 0.24 kg y 0.36 kg de RC dosificación al 4% y 6% respectivamente y se mezcló hasta obtener una muestra homogénea. Para el ensayo CBR se preparó tres muestras de 6 kg de la misma manera que se hace para el ensayo proctor y se adicionó 0.24 kg y 0.36 kg de RC dosificación al 4% y 6% respectivamente, luego se añade el porcentaje de agua óptimo encontrado en el ensayo proctor y se compacta el material en 5 capas una muestra con 12 golpes, otra con 25 golpes y la otra con 56 golpes.

E. Determinación del contenido de humedad (material de afirmado)

Se determinó el contenido de humedad del material de afirmado proveniente de la cantera Don Lucho I, se siguió los lineamientos descritos en la norma MTCE 108 / ASTM D 2216 [7][8], se tomó tres muestras inalteradas de material mayores a 20 g, luego se identificó tres recipientes también conocidos como taras y se midió su peso, se colocó las muestras en cada recipiente y se obtuvo un peso del material húmedo, seguido se colocó las muestras en el horno a 105°C durante 24 horas, pasado este tiempo se volvió a pesar las tres muestras obteniendo así un peso seco del material, finalmente se calculó el contenido de humedad por diferencia de pesos y expresado en porcentaje.

F. Análisis granulométrico por tamizado

Acorde a la norma MTC E 204 / ASTM D 422 [7][9], se tomó tres muestras de 5000 g de material de afirmado mediante cuarteo, una como muestra patrón (muestra inalterada) y a los dos restantes se le adicionó RC, de 200 g para un 4% y de 300 g para una adición de 6% de RC, luego se mezcló hasta obtener una mezcla homogénea. Se tomó cada una de las muestras de 5000 g, 5200 g y 5300 g respectivamente y se separó el agregado grueso del agregado fino por tamizado a través del tamiz N° 4 y se procedió con el tamizado del agregado grueso. Para el análisis granulométrico del agregado fino se lavó aproximadamente 500 g de material en la malla N° 200 mediante chorro de agua, luego la muestra retenida en la malla N° 200 se dejó secar al horno a una temperatura de 110 °C ± 5 °C y se obtuvo su peso seco, se tamizó la muestra seca y se pesó el material retenido en cada tamiz, se calculó los porcentajes retenidos acumulados y los porcentajes que pasan cada malla y finalmente se graficó la curva granulométrica en función de la abertura del tamiz y porcentaje de material que pasa dicho tamiz.

G. Ensayo de límites de consistencia

Según la norma MTCE 110 – 111/ ASTM D 4318 [7].

H. Clasificación AASHTO (ASTM D 3282)

La clasificación del suelo para la muestra patrón, se realizaron con los ensayos de granulometría, límite líquido e índice de plasticidad, además para ello se determinó el índice de grupo cuyo valor va de 0 a 20 o más y si el suelo no tiene plasticidad (NP) se considera como índice de grupo (0), se calcula mediante la siguiente ecuación 1. La tabla de clasificación se encuentra en la referida norma (ASTMD 3282) [8].

$$IG = 0.2 (a) + 0.005(ac) + 0.01 (bd) \quad (1)$$

Donde:

IG = índice de grupo

a = % que pasa el tamiz N° 200 (35-75)

b = % que pasa el tamiz N° 200 (15-55)

c = Límite líquido (%)

d = índice de plasticidad (%)

I. Clasificación SUCS (ASTMD 2487)

Se clasificó ingresando a la tabla que proporciona la ASTM D 2487 [10], para lo cual se tuvo en cuenta el porcentaje de grava, arena y finos que contiene el material, también se tuvo en cuenta los granos del suelo que se dividen en gravas (G) y arenas (S). Consideradas como gravas las partículas retenidas en el tamiz N° 4 y como arenas las partículas que pasan dicho tamiz y son retenidas en el tamiz N° 200. Tanto las gravas (G), como las arenas (S), se dividen en cuatro grupos secundarios, GW, GP, GM y GC y SW, SP, SM y SC, respectivamente, según la cantidad y tipo de los finos y la forma de la curva granulométrica, también se calculó los coeficientes Cu y Cc con las siguientes ecuaciones (SUCS - ASTM D 2487) [10].

$$Cu = D60/D10. \quad (2)$$

$$Cc = D30^2/(D60*D10). \quad (3)$$

Donde:

D60, D30 y D10 = Diámetro de partículas correspondientes al 10, 30 y 60 % del material pasante en la curva granulométrica de tamaño de partículas.

J. Ensayo de Abrasión Los Ángeles

Este ensayo se realizó en base a las indicaciones establecidas en la norma MTC E 207 / ASTM C 131 [7][9]. Primero de acuerdo a la gradación del material, se eligió el método de ensayo “B”, luego se tomó muestras compuesta por 2500 g de agregado grueso pasante el tamiz de 3/4" y retenido en el tamiz de 1/2" y 2500 g pasante el tamiz de 1/2" y retenido en el tamiz de 3/8". Para el ensayo 1 (muestra patrón) se utilizó 3 muestras, y para los ensayos 2 y 3 se adicionó 4% y 6% de RC a razón de 100 g y 150 g por cada 2500 g respectivamente, seguido se colocó la muestra de ensayo y la carga abrasiva en la máquina de Los Ángeles y se hizo girar, luego se retiró el material y se tamizó por la malla N° 12, se lavó el material retenido en dicha malla y se secó al horno a 110 °C ± 5 °C, luego se pesó la masa seca, y se determinó el porcentaje de desgaste a la abrasión de los ángeles promediando los tres valores obtenidos.

K. Ensayo de proctor modificado (Compactación del suelo)

Se procedió según los lineamientos descritos en la norma MTCE 115 / ASTM D1557 [7][9]. En primer lugar, se eligió el método de ensayo de acuerdo al resultado del análisis granulométrico del material, así se optó por el método de ensayo “C” para los tres casos, que nos indica utilizar material pasante la malla 3/4", se tamizó el material de afirmado y el material proveniente de la trituración de RC por dicha malla, luego para la muestra patrón se preparó 4 muestras de 6 kg, luego en muestras de 6 kg de material de afirmado se le adicionó 0.24 kg y 0.36 kg de RC dosificación al 4% y 6% respectivamente y se mezcló hasta obtener una muestra homogénea; seguido se humedeció las muestras con diferentes

cantidades de agua, se registró el peso del molde proctor y seguido se ensambló el collar de extensión en el molde, luego se colocó la primera muestra en este y se compactó en 5 capas con 56 golpes por capa utilizando el pisón de compactación, seguido se retiró el collar de extensión y se enrazó el material con la ayuda de una regla metálica y se registró el peso del molde más la muestra húmeda, de la muestra ensayada se determinó su contenido de humedad según norma MTCE 108, finalmente se determinó la densidad húmeda y seca del suelo con las ecuaciones 9 y 10, para luego determinar el óptimo contenido de humedad (O.C.H.) y la densidad máxima seca (D.M.S), el mismo procedimiento se repitió con todas las muestras.

L. Ensayo CBR (California Bearing Ratio)

Para este ensayo se procedió según lo establecido en la norma MTC E 132 / ASTM D1883 [7][9]. Se prepara la muestra de la misma manera que se hace para el ensayo proctor y luego se humedeció las muestras agregando la cantidad óptima de agua obtenida en el ensayo de proctor modificado para cada caso, para ensayar las muestra preparadas se realizó en tres fases (compactación CBR, hinchamiento o expansión y esfuerzo – penetración).

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Propiedades y características de los residuos de construcción

Las características y propiedades para los residuos de construcción provenientes del concreto triturado se determinaron con la misma normativa vigente en el Perú al igual que para los agregados naturales.

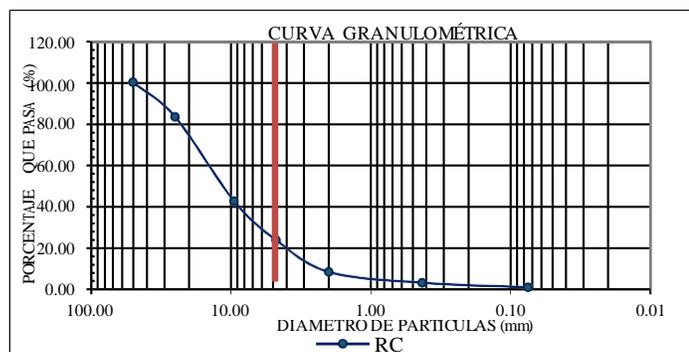


Fig. 11 Curva granulométrica RC [12]

Se trituró el material hasta obtener un tamaño máximo de 1” y se tamizó tanto de la fracción gruesa como de la fracción fina, se evidencia en la figura 1, que contiene un alto porcentaje de agregado grueso con 76.4% y material fino de 23.96%.

TABLA 1
RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE RC [12]

Ensayos realizados	RC
Clasificación AASHTO	A-1-a (0)
Clasificación SUCS	GW
Límite líquido	NP

Índice de plasticidad	NP
Abrasión	56%
Proctor modificado	
Densidad máxima seca	2.285 gr/cm ³
Contenido de humedad óptimo	6.70%
CBR al 100% M.D.S - penetración 0.1"	43.75%

Como podemos apreciar en la tabla 1, para los RC se tiene un material A-1-a (0) según clasificación AASHTO y según la clasificación SUCS es un GW lo que indica un material compuesto por gravas bien graduadas con mezcla de grava y arena con poco o nada de material fino; no es posible determinar su límite líquido, además no presentan plasticidad, tienen un porcentaje de pérdida de 56 %, densidad máxima seca de 2.285 gr/cm³ que se logra con un óptimo contenido de humedad de 6.70%, además presenta un CBR de 43.75%.

B. Contenido de humedad del material de afirmado

El contenido de humedad del material para afirmado proveniente de la cantera Don Lucho fue de 3.61 %.

C. Análisis granulométrico por tamizado de los agregados gruesos y finos de los residuos y afirmado

El análisis granulométrico para determinar la cantidad en porcentaje de los diversos tamaños de las partículas tanto de la fracción gruesas y fina de los materiales. A continuación, se muestran los resultados de la distribución granulométrica de cada muestra ensayada.

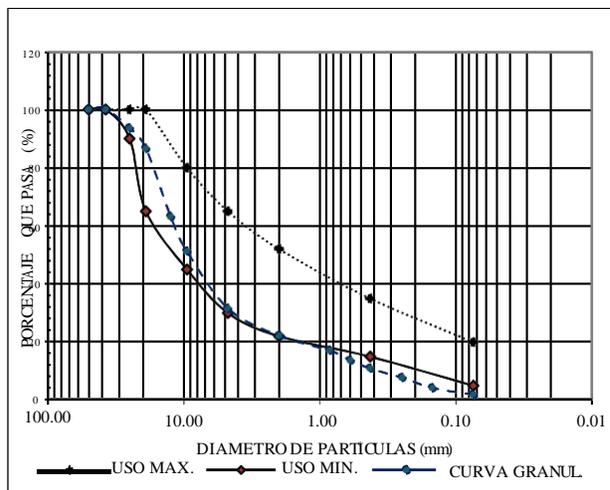


Fig. 2 Curva granulométrica muestra patrón [12]

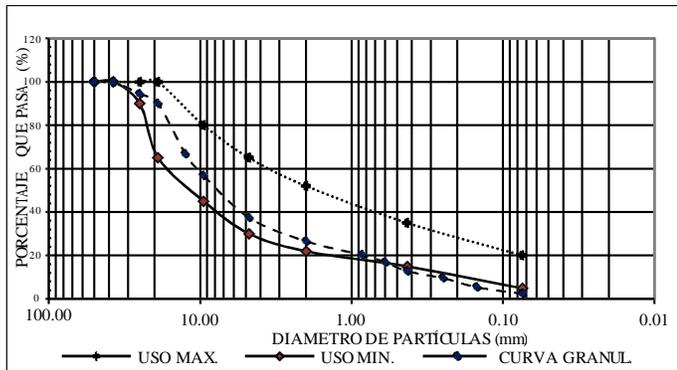


Fig. 32 Curva granulométrica con adición de 4% de residuos de construcción [12]

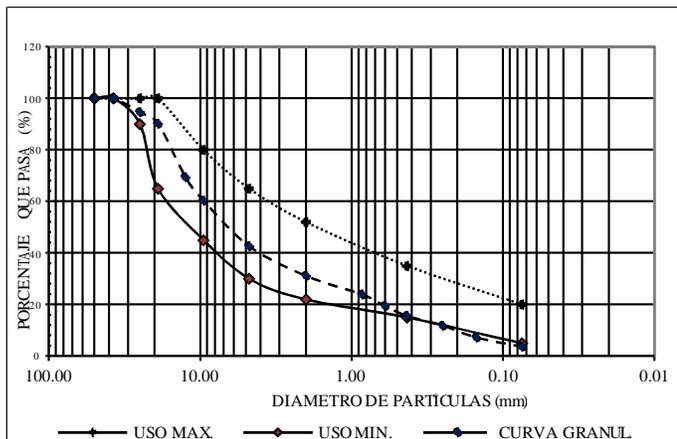


Fig. 4 Curva granulométrica con adición de 6% de residuos de construcción [12]

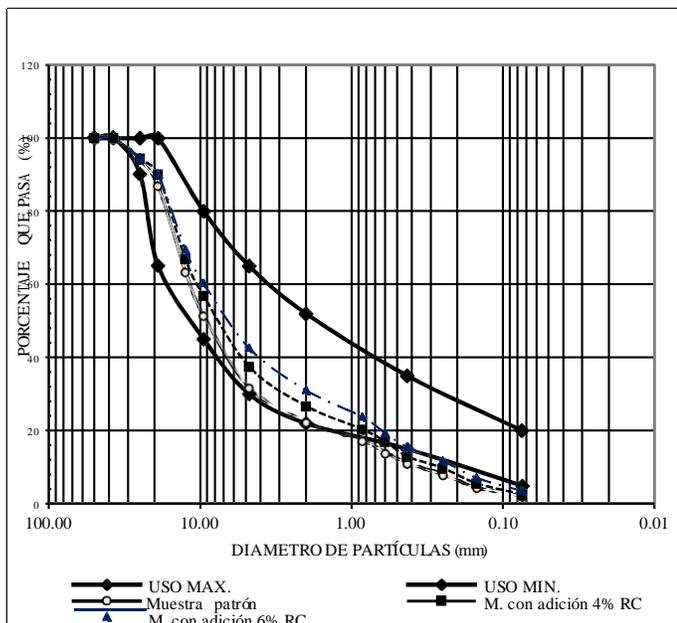


Fig. 5 Variación de la curva granulométrica según muestras ensayadas [12]

D. Límites de consistencia

Se determinó los límites de consistencia como son límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad, como se observa

en la tabla 2 se obtuvo un límite líquido para la muestra patrón de 17.35 %, para la muestra con adición de 4% de RC es de 15.91 % y para la muestra con adición de 6% de RC un valor de 15.60 %; las tres muestras ensayadas no presentaron plasticidad (NP), por ende, no tienen índice de plasticidad, se considera como material no plástico (NP).

TABLA 2
CUADRO COMPARATIVO DE ÍNDICES DE CONSISTENCIA [12]

Ensayo	Muestra Patrón	4% de RC	6% de RC	Especificación
Límite líquido (%)	17.35	15.91	15.60	35 % Max.
Límite plástico (%)	NP	NP	NP	
Índice de plasticidad (%)	NP	NP	NP	4 % - 9 %.

NP: no plástico

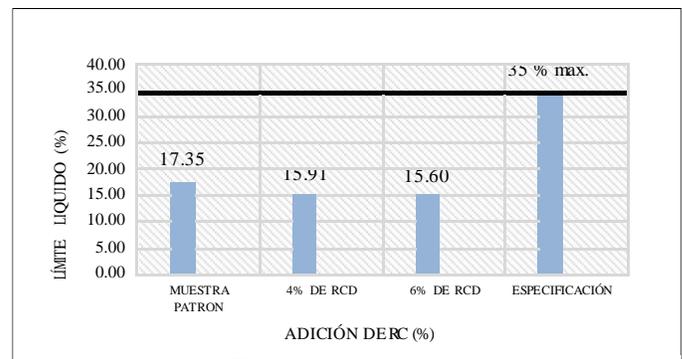


Fig. 6 Variación del límite líquido [12]

E. Clasificación de suelos por el método AASHTO (ASTMD 3282)

Se clasificó el material de afirmado por el método AASHTO, primero se calculó el índice de grupo [IG] de acuerdo a la ecuación 1 siendo este cero en los tres casos al no tener índice de plasticidad, luego se tomaron los porcentajes de material que pasaron las mallas, N° 10, N° 40 y N° 200; según la figura 2 para la muestra patrón en la N° 10 es de 22.17%, N° 40 es 10.95% y N° 200 de 1.95%, y de acuerdo a la tabla 2 el límite líquido es de 17.35% e índice plástico NP; según la figura 3 para la muestra con adición de 4% de RC en la malla N° 10 es de 26.70%, N° 40 es 12.91% y N° 200 de 2.55%, un límite líquido de 15.91% e índice plástico NP según la tabla 2; y finalmente para la muestra con adición de 6% de RC de acuerdo a la figura 5 en la malla N° 10 paso 31.10%, N° 40 fue 15.56% y N° 200 de 3.61%, un límite líquido de 15.60% e índice plástico NP de acuerdo a la tabla 2, luego con estos valores se ingresó a la tabla de Clasificación AASHTO [9] y se clasificó el suelo teniendo en cuenta la gradación de las partículas y los límites de consistencia del suelo, para los tres casos tenemos un suelo de tipo A-1-a (0), que indica que es un buen material donde predomina las gravas y arenas.

F. Clasificación de suelos por el método SUCS (ASTM D 2487)

Según las consideraciones indicadas por este método se clasificó el suelo; se determinó los parámetros en porcentaje de

la fracción gruesa y fina del material considerando como fracción gruesa al material retenido en el tamiz N° 4 y como fracción fina el material pasante dicho tamiz, también se tuvo en cuenta el material que pasa el tamiz N° 200, además se calculó el coeficiente de uniformidad [Cu] y el coeficiente de curvatura [Cc] en base a la curva granulométrica y las ecuaciones 2 y 3 respectivamente; así para el caso de la muestra patrón según la figura 2 se tiene un porcentaje retenido en el tamiz N° 4 de 68.44%, material pasante el tamiz N° 200 de 1.95%, Cu de 46.0 y Cc de 5.6 según la tabla 3, a partir de estas consideraciones se ingresó a la tabla de Clasificación SUCS [9], obteniendo para este suelo la categoría de gravas mal graduadas con mezcla de arena y poco o nada de material fino (GP); para la muestra con adición de 4% de RC de acuerdo a la figura 3 se tiene un porcentaje retenido en el tamiz N° 4 de 62.53%, material pasante el tamiz N° 200 de 2.55%, según la tabla 3 Cu de 52.5 y Cc de 2.7; y finalmente para la muestra con adición de 6% de RC de acuerdo a la tabla 4 se tiene un porcentaje retenido en el tamiz N° 4 de 57.40%, material pasante el tamiz N° 200 de 3.61%, Cu de 52.2 y Cc de 1.9 de acuerdo a la tabla 3, con estos valores se ingresó a la tabla de Clasificación SUCS [9] y se determinó que para ambos casos los suelos pertenecen a la categoría de gravas bien graduadas con mezcla de grava y arena con poco o nada de material fino (GW).

TABLA 3
COEFICIENTES CU Y CC PARA CLASIFICACIÓN DE SUELOS - SUCS
CÁLCULO DE Cu y Cc [12]

Muestra patrón			
D10 =	0.25	Cu =	46.0
D30 =	4.00		
D60 =	11.50	Cc =	5.6
Muestra con adición de 4% de RC			
D10 =	0.20	Cu =	52.5
D30 =	2.40		
D60 =	10.50	Cc =	2.7
Muestra con adición de 6% de RC			
D10 =	0.18	Cu =	52.2
D30 =	1.80		
D60 =	9.40	Cc =	1.9

G. Abrasión de los ángulos (% de desgaste de los materiales)
Se determinó el porcentaje de desgaste del material debido al impacto y trituración en un tambor de acero en rotación que contiene bolas de acero para medir su degradación como porcentaje de pérdida, siendo el porcentaje de pérdida por abrasión e impacto de acuerdo a la figura 7 de 60.49 % para la muestra patrón, de 56.40 % para la muestra con adición del 4% de RC y de 50.21 % para la muestra con adición de 6% de RC.

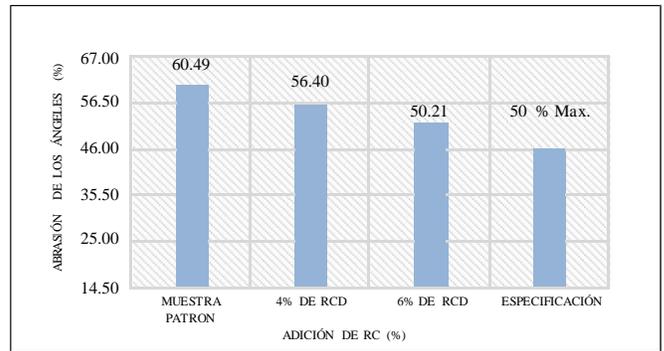


Fig. 7 Variación del ensayo de abrasión los ángulos [12]

H. Proctor modificado (compactación del suelo)

Se realizó los ensayos de proctor modificado para lo cual se eligió el método de ensayo en base a la granulometría del material, en los tres casos se evidenció que el % de material retenido acumulado en la malla de 3/8" es > al 20% pero es < al 30% el % retenido acumulado del material en la malla de 3/4" con esta consideración se ingresó a la tabla de Elección del método de ensayo para proctor modificado [9] y se eligió el método "C", que establece un material pasante el tamiz 3/4" para todos los casos, con el fin de encontrar valores relacionados a la máxima densidad del material, compactando el suelo mediante la aplicación de un proceso mecánico bajo diferentes condiciones de humedad para poder encontrar el óptimo contenido de humedad con la que un suelo puede alcanzar su máxima densidad. Según la tabla 4 se obtuvo una densidad máxima seca [D.M.S] de 2.251 gr/cm³ y un óptimo contenido de humedad [O.C.H] de 6.0 % para la muestra patrón, para la muestra con adición 4% de RC su máxima densidad seca es 2.289 gr/cm³ y un óptimo contenido de humedad de 6.6 % y para la muestra con adición de 6% de RC la densidad máxima seca es de 2.315 gr/cm³ con un óptimo contenido de humedad de 7.3 %, estos resultados se presentan a continuación:

TABLA 4
CUADRO COMPARATIVO DE LOS ENSAYOS DE PROCTOR MODIFICADO [12]

ENSAYO	MUESTRA PATRON	4% DE RC	6% DE RC
PROCTOR MODIFICADO			
Densidad máx. seca (gr/cm ³)	2.251	2.289	2.315
Opt. Cont. de humedad (%)	6.00	6.60	7.30

Como podemos apreciar en la tabla 4 la densidad máxima seca se va incrementando con respecto a la muestra patrón a medida que aumenta la adición de residuos de construcción al igual que el óptimo contenido de humedad también aumenta con relación a la adición de residuos de construcción, en las siguientes figuras podemos apreciar esta variación.

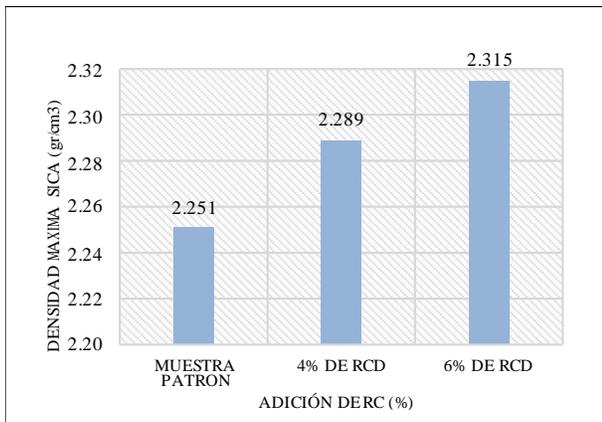


Fig. 8 Variación de la máxima densidad seca [12]

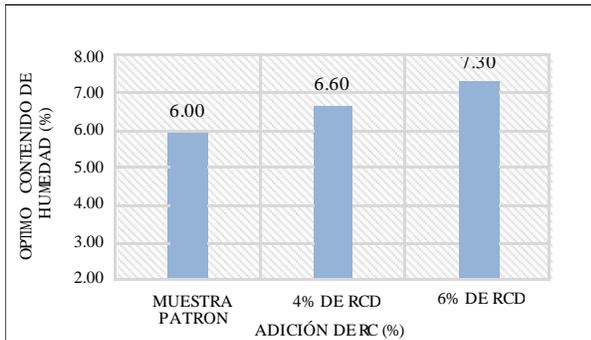


Fig. 9 Variación del óptimo contenido de humedad [12]

I. Ensayo CBR (California Bearing Ratio)

En base a los resultados del ensayo proctor modificado utilizando el método "C" y material pasante la malla 3/4" se realizó los ensayos de CBR que consistió en la determinación de un índice de resistencia o índice CBR de los suelos denominado valor de soporte o resistencia del suelo, referido al 100% de la máxima densidad seca y a una penetración de 0.1" para efectos de esta investigación, el ensayo se realizó sobre suelo preparado en el laboratorio en condiciones determinadas de humedad y densidad, donde se obtuvo de acuerdo a la figura 19, un CBR de 30.0 % para la muestra patrón, CBR de 34.9 % para la muestra con adición de 4% RC y para la muestra con adición de 6% de RC un CBR de 41.3 %.

Como podemos apreciar en la figura 10 con respecto a la muestra patrón el índice CBR va incrementando a medida que aumenta la adición de residuos de construcción.

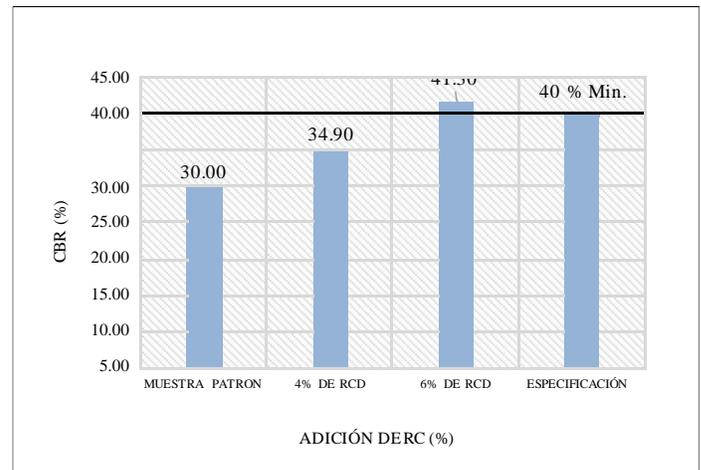


Fig. 10 Variación del índice CBR [12]

IV. CONCLUSIONES

La adición de residuos de construcción mejora la granulometría del material granular para afirmado e incrementa su resistencia a la abrasión con respecto a la muestra patrón, en 4.09 % y 10.28 % al adicionar 4 % y 6 % de RC respectivamente, e incrementa el CBR en un 4.90 % al adicionar 4 % de RC y hasta en un 11.30 % con la adición de 6 % de RC.

La adición de 4 % y 6 % de RC influye positivamente en el mejoramiento de las propiedades físico mecánicas del material granular para afirmados, debido a la presencia de gravas y arenas que presenta, además del material cementante que incrementa la densificación del suelo en comparación a su estado natural.

De la figura 5, granulometría de cada una de las muestras (muestra patrón y muestras con adición de 4% y 6% de RC), se determina que, al adicionar un mayor porcentaje de RC, mejora la distribución granulométrica del material, los cuales adoptan una curva granulométrica más centrado y mejor graduada respecto de la muestra patrón.

En cuanto al límite líquido se establece una relación inversamente proporcional a la adición de RC con respecto a la muestra patrón, pues según la tabla 2 estos disminuyen a medida que aumenta la adición de RC de 17.35 % a 15.91 % y a 15.60 % al adicionar 4 % y 6 % de RC respectivamente. En cuanto al índice de plasticidad se determinó que el material no es plástico, esto debido a la falta de finos arcillosos. El límite líquido se encuentra por debajo del 35% (límite máximo), con valores de 17.35%, 15.91% y 15.60%; en los tres casos el material no presenta plasticidad pues debería tener entre 4% y 9 % según las EG-2013 [11].

La abrasión de los ángeles se determinó que es inversamente proporcional a la adición de RC, esta disminuye a medida que se incrementa el porcentaje de adición; de acuerdo a la figura 7 de 60.49 % a 56.40 % y 50.21 % para la adición de 4% y 6% de RC respectivamente, la muestra patrón y la muestra con adición de 4% de RC están sobre el 50 % límite máximo permisible con 60.49% y 56.40% respectivamente; para la muestra con 6% de RC se puede decir que se encuentra en el límite máximo con 50.21%

El CBR, respecto al 100 % de la máxima densidad seca con una penetración de 0.1", incrementa a medida que aumenta el % de adición de RC con respecto a la muestra patrón, evidenciando un incremento de 30.00% a 34.90% con la adición de 4 % de RC y de 30.00 % a 41.30 % con la adición de 6% de RC. La muestra sin RC y la muestra con 4% de RC están por debajo del 40%, límite mínimo según las EG-2013 [11] con valores de 30.00 % y 34.90 % respectivamente, en tanto la muestra con adición del 6% de RC se ubica sobre el 40% con un CBR de 41.30%, cumpliendo la exigencia de la EG-2013.

Se comparó los resultados obtenidos con los requisitos de calidad para afirmados según la sección 301 de las EG-2013 [11]. En cuanto a la granulometría para los tres casos el agregado grueso está dentro de los usos granulométricos por el contrario el agregado fino cae por debajo del uso inferior.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se ejecutó en la Universidad Privada del Norte (UPN).

REFERENCIAS

- [1] Gutiérrez Montes, C. 2010. Estabilización química de carreteras no pavimentadas en el Perú y ventajas comparativas del cloruro de magnesio frente al cloruro de calcio.
http://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/urp/116/gutierrez_ca.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [2] Norma Técnica CE.020. Estabilización de Suelos y Taludes. 2006. Diario el Peruano.
http://www3.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/Estudios_Normalizacion/Normalizacion/normas/NORMACE020.pdf
- [3] Bazán Garay, I. 2008. Caracterización de residuos de construcción de Lima y callao (estudio de caso).
https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/10189/BAZAN_GARAY_CHARACTERIZACION_RESIDUOS_TESIS.pdf
- [4] Martínez-Molina y otros, 2015. Concreto reciclado: una revisión.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-68352015000300235
- [5] Jiménez Montero, E. C., García Torres, H. (2016). Aprovechamiento de los RCD en proyectos de construcción y conservación de pavimentos urbanos [Tesis de título profesional]. Repositorio de Universidad Católica de Colombia.
<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/13905/4/Aprovechamiento%20de%20los%20RCD%20en%20proyectos%20de%20construcción%20y%20conservación%20de%20pavimentos%20urbanos.pdf>
- [6] Mercante, I. (2007). Caracterización de los residuos de construcción y aplicación de los índices de generación a la gestión ambiental. Revista latinoamericana de Uces, 11(2), 86-109.
<http://dspace.uces.edu.ar:8180/xmlui/bitstream/handle/123456789/152/Caracterización%20de%20residuos.pdf>
- [7] Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2016). Manual de ensayo para Materiales. Editorial Limus.
- [8] INACAL, "NTP 339.127. Norma Técnica Peruana: Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo," 1999.
- [9] INCAL, "NTP 400.012. Agregados. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global," 2001.
- [10] American Society for Testing and Materials (2019). Annual Book of ASTM Standards: Soils and Rocks. USA.
- [11] Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013). Comunicación e información: Manual de carreteras, especificaciones técnicas generales para construcción EG-2013.
http://transparencia.mtc.gob.p/idm_docs/P_recientes/4955.pdf
- [12] Alvarez, A. (2021). Propuesta de mejoramiento de las propiedades físico mecánicas del material granular con la adición de 4 % y 6 % de residuos de construcción para su uso en afirmados según las EG-2013.