

# REVISTA O UNIVERSO OBSERVÁVEL

**IMPACTO DE LOS ENSAYOS DE COMPACTACIÓN EN  
MATERIALES FUERA DEL RANGO DE TAMAÑO DE PARTÍCULA  
UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN CIVIL CON  
ESPECIFICACIONES SEGÚN CR-2020**

**IMPACTO DE LOS ENSAYOS DE COMPACTACIÓN EN  
MATERIALES FUERA DEL RANGO GRANULOMÉTRICO  
UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN CIVIL CON  
ESPECIFICACIONES DE ACUERDO CON CR-2020**

Alexander Molina Villalobos<sup>1</sup>  
Raquel Arianna Martínez Martínez<sup>2</sup>  
Kevin Andrés Chavarría Castro<sup>3</sup>

Revista O Universo Observável  
DOI: 10.69720/29660599.2025.000155  
[ISSN: 2966-0599](https://doi.org/10.69720/29660599)

<sup>1</sup>Universidad Fidelitas  
Correo: [alexander.molinav@ufide.ac.cr](mailto:alexander.molinav@ufide.ac.cr)  
ORCID: [0000-0002-8118-8855](https://orcid.org/0000-0002-8118-8855)

<sup>2</sup>Universidad Fidelitas  
Correo: [kchavarría30615@ufide.ac.cr](mailto:kchavarría30615@ufide.ac.cr)  
ORCID: [0009-0002-5187-2354](https://orcid.org/0009-0002-5187-2354)

<sup>3</sup>Universidad Fidelitas  
Correo: [rmartinez00143@ufide.ac.cr](mailto:rmartinez00143@ufide.ac.cr)  
ORCID: [0009-0006-0954-2887](https://orcid.org/0009-0006-0954-2887)



**IMPACTO DOS ENSAIOS DE COMPACTAÇÃO EM MATERIAIS FORA DA FAIXA GRANULOMÉTRICA UTILIZADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL COM ESPECIFICAÇÕES CONFORME CR-2020**

**IMPACT OF COMPACTION TESTS ON MATERIALS OUTSIDE THE GRANULOMETRIC RANGE USED IN CIVIL CONSTRUCTION WITH SPECIFICATIONS IN ACCORDANCE WITH CR-2020**

Alexander Molina Villalobos, Raquel Arianna Martínez Martínez  
e Kevin Andrés Chavarría Castro



Fuente: <https://www.dgeosoluciones.com/laboratoriodemateriales>

:

**PERIÓDICO CIENTÍFICO INDEXADO INTERNACIONALMENTE**

ISSN  
International Standard Serial Number  
2966-0599

[www.ouniversoobservavel.com.br](http://www.ouniversoobservavel.com.br)

Editora e Revista  
O Universo Observável  
CNPJ: 57.199.688/0001-06  
Naviraí – Mato Grosso do Sul  
Rua: Botocudos, 365 – Centro  
CEP: 79950-000

## ABSTRACTO

La construcción de infraestructura vial en Costa Rica depende en gran medida de materiales extraídos de concesiones en pozos y ríos, donde la compactación es crucial para la estabilidad y durabilidad de las obras. Sin embargo, algunos materiales no cumplen con el rango de tamaño de partícula reglamentario, lo que requiere un análisis detallado para garantizar un rendimiento adecuado. Esta investigación evalúa el impacto de los ensayos de compactación en estos materiales, con base en el Manual CR-2020 y las normas AASHTO T-99 y T-180, con el fin de comprender su comportamiento y explorar una metodología alternativa para optimizar su evaluación. Se seleccionaron materiales representativos de los principales sitios de extracción de Costa Rica y se realizaron pruebas de compactación con materiales que pasan por tamices de 3/4" y 1", comparando los resultados con los estándares actuales. Además, se analizó la factibilidad de modificar la metodología de prueba y su efecto sobre la vida útil y los costos de los proyectos. Los resultados de la prueba Proctor (AASHTO T-99) mostraron diferencias significativas entre la aplicación estándar y la propuesta, que incluye material sobredimensionado (pasando 1 pulgada). Se concluye que la metodología alternativa puede mejorar la adaptabilidad de los agregados sin afectar la calidad estructural. Se recomienda validar estos hallazgos en estudios de mayor escala y considerar su incorporación en futuras normativas para optimizar los procesos constructivos y el uso eficiente de los materiales.

**Palabras clave:** Estructura del rodillo, agregados, compactación, base granular, piedra, meteorizado, permeabilidad, proctor, plasticidad, estabilidad, contenido de humedad.

## ABSTRACT

*Road infrastructure construction in Costa Rica relies heavily on materials extracted from concessions in wells and rivers, where compaction is crucial for the stability and durability of the works. However, some materials do not meet the regulatory particle size range, requiring detailed analysis to ensure proper performance. This research evaluates the impact of compaction testing on these materials, based on the CR-2020 Manual and AASHTO T-99 and T-180 standards, in order to understand their behavior and explore an alternative methodology to optimize their evaluation. Representative materials from the main extraction sites in Costa Rica were selected and compaction tests were carried out with materials that pass through 3/4" and 1" sieves, comparing the results with current standards. In addition, the feasibility of modifying the test methodology and its effect on the useful life and costs of the projects were analyzed. The results of the Proctor test (AASHTO T-99) showed significant differences between the standard application and the proposed one, which includes oversized material (passing 1 in). It is concluded that the alternative methodology can improve the adaptability of the aggregates without affecting the structural quality. It is recommended to validate these findings in larger-scale studies and consider their incorporation into future regulations to optimize construction processes and the efficient use of materials.*

**Keywords:** Roll structure, aggregates, compaction, granular base, stone, weathered, permeability, proctor, plasticity, stability, moisture content

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años, las investigaciones en el campo de la ingeniería civil han permitido avances significativos en la evaluación y control de los materiales utilizados en las obras de infraestructura. Esto ha dado lugar al desarrollo de ensayos de laboratorio normados, los cuales definen especificaciones precisas para los procesos y resultados de las pruebas. Estas normativas son esenciales para garantizar el control de calidad en la infraestructura civil, asegurando que los materiales empleados en la construcción cumplan con los estándares requeridos para ofrecer seguridad y durabilidad. En este contexto, uno de los ensayos más importantes y utilizados es el de compactación, el cual tiene un papel fundamental en la evaluación de las características de los suelos y su densidad. Este ensayo, que determina la capacidad de un material para alcanzar su densidad máxima bajo condiciones controladas, es crucial para garantizar la

estabilidad y resistencia de las estructuras construidas.

Actualmente, existen dos normas primordiales para la realización del ensayo de compactación: AASHTO T-99 y AASHTO T-180. La norma AASHTO T-99, también conocida como Proctor estándar, es utilizada principalmente para materiales granulares y está orientada a su aplicación en suelos que no estarán sujetos a grandes cargas, es decir, materiales que serán utilizados en capas de ruedo menos exigentes. Este ensayo busca obtener una densificación razonable de los materiales, adecuados para cargas menores a las que se someterán, por ejemplo, las infraestructuras viales secundarias o caminos rurales. En cambio, la norma

AASHTO T-180 (Proctor modificado) se utiliza cuando se requiere una mayor compactación del material, sometándolo a una mayor energía de compactación para lograr una densidad máxima.

Este ensayo es apropiado para aquellos materiales que estarán expuestos a cargas más pesadas, como las que se encuentran en las capas de ruedo de carreteras y otras infraestructuras viales principales.

A pesar de la claridad y precisión de estos procedimientos, el fenómeno de la compactación no se limita únicamente a las infraestructuras viales. Existen otras obras civiles que requieren un proceso de consolidación de materiales, tales como los muros de gavión, rellenos o sistemas de cimentación que requieren la compactación de materiales para obtener un espesor determinado y permitir que trabajen de manera adecuada. Sin embargo, esta investigación se enfocará principalmente en la superficie de ruedo, que es la capa del suelo que está directamente en contacto con las cargas vehiculares y otras fuerzas que la afectan durante la vida útil de la obra. Esta capa es la que sufre un mayor desgaste y exposición a condiciones extremas de cargas y climatológicas, por lo que su desempeño es fundamental para la estabilidad y seguridad de las infraestructuras viales.

A pesar de que los ensayos de compactación como AASHTO T-99 y AASHTO T-180 han sido desarrollados y estandarizados, existen diversas limitaciones y desafíos asociados a su aplicación. Uno de los principales problemas es la relación entre los resultados obtenidos en el laboratorio y el desempeño real de las estructuras en servicio. En muchas ocasiones, las condiciones del terreno y las características de los materiales no coinciden con las que se emplean en los ensayos, lo que puede generar discrepancias en los resultados y afectar la precisión de las mediciones. Además, se observa un vacío en las normativas, especialmente en lo que respecta a las especificaciones granulométricas de los materiales utilizados, lo cual puede influir en la exactitud de los ensayos y, por ende, en la calidad del material que se utiliza para la construcción.

## REFERENCIAL TEÓRICO

### Estructura de ruedo

Se entiende por estructura de ruedo a toda aquella vía de dominio público que permita principalmente la circulación de vehículos con el fin de interconectar caminos y rutas a través de distintos accesos.

### Estructuras de ruedo de lastre

Las estructuras de ruedo de lastre son aquellas vías a las cuales coloquialmente se les conoce como carreteras de lastre o bien caminos de lastre. Los mismos se encuentran conformados por materiales y agregados sueltos, tales como grava, arena y piedras de pequeño tamaño sin la presencia de una emulsión asfáltica.

No obstante, aunque no se utilice la emulsión asfáltica como parte de sus componentes de construcción, se requiere de

una buena compactación en la mezcla de aditivos y material para que la carretera quede transitible, sin fisuras y hundimientos, tal como lo menciona Rojas Arias (2009) “Para la construcción del camino de lastre se dispersa y se mezcla el aditivo (cal, cemento o bitumen) con el suelo, se aplica agua, se amalgama de nuevo y se compacta.”

La utilización de este tipo de estructuras de ruedo, se emplean comúnmente en zonas rurales o de difícil acceso, donde la construcción de vías pavimentadas no es viable por razones económicas o técnicas.

Ilustración 1. Estructura de ruedo de lastre



Fuente: (Tabash, 2001)

### Estructuras de ruedo de pavimento

Las estructuras de ruedo de pavimento son aquellas vías de transporte conformadas por capas de agregados debidamente compactados según su previo diseño, con el objetivo de soportar el tráfico vehicular y las condiciones climáticas.

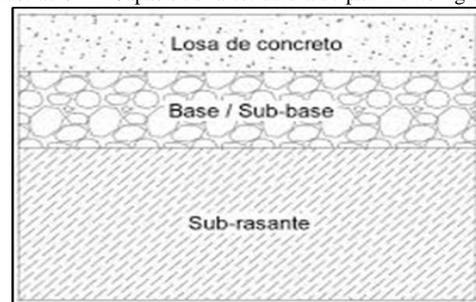
Dentro de las capas que conforman una estructura de pavimento se encuentra, la subrasante, la subbase, la base y la capa de rodadura (concreto o asfalto), según las necesidades y demandas que tendrá dicha estructura.

Existen diferentes tipos de pavimentos, clasificados principalmente como pavimentos rígidos y pavimentos flexibles, como se verá a continuación.

### Estructura de pavimento rígido.

Las estructuras de ruedo de pavimento rígido son aquellas vías de transporte conformadas por capas de agregados, estructura de acero y superficie de rodadura de concreto hidráulico (losa de concreto), tal como lo muestra la Ilustración 2 e Ilustración 3.

Ilustración 2. Capas de una estructura de pavimento rígido



Fuente: (López, 2020)

Ilustración 3. Ejemplo de una estructura de pavimento rígido



Fuente: (Deacero, 2019)

Este tipo de carreteras se caracterizan por su alta durabilidad y resistencia, lo que se traduce a mayor capacidad de soporte a cargas pesadas y condiciones climáticas adversas, por lo que no requiere de un constante mantenimiento, sin embargo, el costo de su construcción en ocasiones puede llegar a ser bastante elevando en comparación con la construcción de una estructura de rueda de pavimento flexible.

#### **Estructuras de pavimento flexible**

Las estructuras de rueda de pavimento flexible son aquellas vías de transporte conformadas por capas de agregados debidamente compactados y la superficie de rodadura de mezcla asfáltica.

#### **Agregados**

Los agregados son un material granular indispensable en el área de la construcción ya que son los encargados de brindar estabilidad, resistencia y durabilidad de la estructura a la cual se emplean. Existen diferentes tipos de agregados según sus composiciones y alteraciones en forma y firmeza.

#### **Clasificación según origen del agregado**

##### **Canteras**

Las canteras son aquellas excavaciones a cielo abierto de donde se extraen materiales pétreos o utilizados principalmente en la construcción y la industria, tales como la piedra, grava, arena, arcilla, mármol, granito, caliza, entre otros.

##### **Ríos**

Los agregados extraídos de ríos son aquellos materiales granulares naturales, los cuales se obtienen directamente de márgenes en los ríos. Generalmente, los agregados que son extraídos de estas zonas son la arena y la grava, entre otros.

#### **Subclasificación de los agregados**

Adicional a los lugares de origen, los agregados pueden subclasificarse de la siguiente manera:

#### **Agregados procesados**

Son aquellos agregados extraídos y molidos por maquinaria (backhoe / excavadora) en donde no existe mayor intervención de mano factura para alterar sus propiedades físicas y químicas.

#### **Agregados industriales**

Es un material granular el cual es intervenido de manera artificial a partir de procesos industriales en donde se modifican sus propiedades físicas y químicas para lograr su producción en tamaños específicos.

#### **Clasificación según condición del agregado**

##### **Agregados Pétreos**

Son materiales sólidos y granulares que provienen de macizos rocosos o de fragmentos de estos, como lo son la arena o la grava.

##### **Agregados Meteorizados**

Son materiales rocosos los cuales han sido alterados por la meteorización, lo que según Arce, Alberto, Gómez y Sánchez (2015) es un “proceso de desintegración y descomposición in situ de las rocas y de los minerales que la componen por acción superficial de la atmósfera, hidrosfera y biosfera” (p.4) Dicho fenómeno en nuestro país ha traído como consecuencia la alteración de la calidad de los agregados por los diferentes grados de alteración que sufren.

Las zonas con mayor porcentaje de agregados meteorizados en Costa Rica son las Regiones Volcánicas y Llanuras del Caribe, esto debido a la alta precipitación y acumulación de cenizas volcánicas en los suelos, lo que trae a su vez como consecuencia, la afectación en la calidad de los agregados a utilizar.

#### **Clasificación según gradación del agregado**

##### **Agregado Fino**

Se entiende como agregado fino a aquel material geológicamente sano, que de acuerdo con la información encontrada en el Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes – CR-2020, por su tamaño, durante el ensayo de granulometría (ASTM C-136) pasa por el tamiz de 4,75 mm (N°. 4) y se retienen en el tamiz de 75  $\mu$ m (N°. 200). Cabe mencionar que por general el material que pasar por el tamiz de 75  $\mu$ m (N°. 200), se consideran materiales finos del origen de la trituración o bien componentes nocivos como lo son los limos y arcillas, entre otros. La Ilustración 4, muestra un ejemplo de agregado fino con sus respectivos tamices

Ilustración 4. Tamizado Agregado Fino



Fuente: Propia (2024)

### Agregado Grueso

Importante mencionar, para esta investigación se limitó el material grueso como aquel material que pasa por el tamiz de 1 in, esto debido a que es el material que va a afectar el ensayo Proctor. Por lo que, se entiende como agregado grueso, a aquel material geológicamente sano, que de acuerdo con la información encontrada en el Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes – CR-2020, por su tamaño, durante el ensayo de granulometría (ASTM C-136) pasa por el tamiz de 1 in y es retenido en el tamiz de 4,75 mm (Nº. 4).

La Ilustración 5 muestra un ejemplo de agregado fino con sus respectivos tamices.

Ilustración 5. Tamizado Agregado Grueso



Imagen con fines ilustrativos. Fuente: Propia (2024).

### Clasificación según forma del agregado

Dicha clasificación se basa, tal como su nombre lo indica, en las formas geométricas de las partículas que lo componen, esto es de suma importancia debido a que las partículas son las que permiten la estabilidad y resistencia de la estructura.

Existen diferentes tipos de formas, entre ellas se encuentran las siguientes:

#### Agregados angulares:

Se caracterizan por poseer bordes definidos y formas irregulares como, por ejemplo, una roca fragmentada.

#### Agregados subangulares:

Contrario al anterior, estos no poseen bordes definidos, un ejemplo de ello sería, una roca parcialmente triturada.

#### Agregados redondeados:

Estos agregados poseen bordes redondeados de manera natural debido al desgaste, ejemplo, la grava de río, por el caudal del río.

### Clasificación según textura del agregado

Dicha clasificación se basa en la textura que posee la superficie del agregado, esto es de suma

importancia debido a que la textura del agregado en la responsable de la adherencia que tenga ese agregado con el aglutinante ya sea concreto o asfalto. Existen diferentes tipos de texturas, entre las que se destacan:

#### Textura lisa:

Son aquellas cuya superficie es uniforme y sin rugosidad o bien porosidad. Un ejemplo de ello, nuevamente es la grava de río, debido a que el caudal genera que la superficie se alise.

#### Textura rugosa:

Son aquellas cuya superficie es áspera, este tipo de textura generalmente coinciden con agregados angulares debido a las irregularidades que posee.

#### Textura porosa:

Como su nombre lo indica, es aquel agregado cuya superficie posee poros, lo que ayuda en la adherencia del aglutinante. Un ejemplo de ello sería la piedra caliza o bien piedra volcánica; estos agregados según su condición se conocen como agregados meteorizables.

### Clasificación según densidad del agregado

Dicha clasificación hace relación a la densidad del agregado respecto a su peso unitario (densidad aparente) y su relación con el volumen ocupado.

Tabla 1. Clasificación según densidad del agregado

Densidad	Rango de determinación
<b>Peso alto</b>	Mayor a 2400 kg/m <sup>3</sup>
<b>Peso normal</b>	Entre 2200 kg/m <sup>3</sup> y 2400 kg/m <sup>3</sup>
<b>Peso ligero</b>	Menor a 2200 kg/m <sup>3</sup>

Fuente: Propia (2025)

### Subbase granular

La subbase granular es una capa estructural conformada, según su previo diseño, por agregados gruesos (grava, arena gruesa, piedra triturada o material granular similar) colocada sobre el terreno natural.

Dicha capa posee la función de brindar estabilidad y soporte a las capas superiores del pavimento (base y la capa de rodadura), distribuyendo así las cargas generadas al terreno de manera parcial, eliminando con ello las deformaciones abruptas en las infraestructuras.

### Propiedades importantes de los agregados para subbases granulares

Los agregados para subbase granular deben cumplir principalmente con los rangos presentados por el Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes – CR-2020, en la Tabla 703-06 (pág.1248), en donde se indica cómo caracterizar un agregado mediante el ensayo de

granulometria (ASTM C-136).

Figura 1. Tipos de granulometrias a usar para las subbases granulares según el CR-2020

Graduación AASHTO T11 y AASHTOT27	A	B
Tamiz	% pasando	
63 mm	100	-
50 mm	97 - 100	100
37,5 mm	-	97 - 100
25 mm	65 - 79 (±6)	-
12,5 mm	45 - 59 (±7)	-
4,75 mm (N°. 4)	28 - 42 (±6)	40 - 60 (±8)
425 µm (N°. 40)	9 - 17 (±4)	-
75 µm (N°. 200)	4 - 8 (±3)	4 - 12 (±4)

Fuente: (CR-2020)

### Propiedades físicas

Los agregados para subbase granular deben tener forma angular o subangular para mejorar la interconexión y estabilidad.

### Propiedades mecánicas

Los agregados para subbase deben poseer resistencia al desgaste, resistencia al impacto, para evitar rupturas y soporte estructural, lo que le permite absorber y trasladar las cargas sin sufrir afectación.

### Propiedades hidráulicas

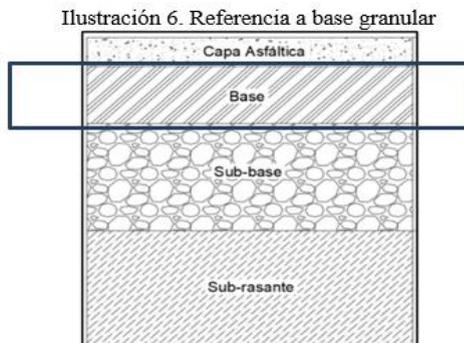
Dichos agregados, deben contar con una permeabilidad adecuada, que permita filtrar de manera rápida y adecuada el agua o cualquier líquido, evitando así la acumulación en la carretera, llegando a generar problemas de saturación.

Así mismo, los agregados deben contar con una alta compactación, lograda mediante la gradación y el uso de técnicas de compactación en sitio adecuadas, lo que reduce la deformación y mejora la resistencia.

### Base granular

La base granular es aquella capa estructural conformada según su previo diseño por la mezcla de agregados, agua y suelo, debidamente compactada.

Cabe mencionar que la base granular, es la encargada de transmitir y distribuir las cargas generadas por el tráfico vehicular a sus capas inferiores, las cuales son la subbase y la subrasante de la carretera, tal como lo muestra la Ilustración 6.



Fuente: (LÓPEZ, 2020)

### Propiedades importantes de los agregados para bases granulares

Los agregados para base granular deben cumplir principalmente con los rangos presentados por el Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes – CR-2020, en la Tabla 703-07 (pag.1250), en donde se indica como caracterizar un agregado mediante el ensayo de granulometria (ASTM C-136).

Figura 2. Tipos de granulometrias a usar para las bases granulares según el CR-2020

Graduación AASHTO T11 y T27	C	D	E
Tamiz	% pasando		
50 mm	100	-	-
25 mm	80 - 100 (±6)	100	-
19,0 mm	64 - 94 (±6)	86 - 100 (±6)	100
9,5 mm	40 - 69 (±6)	51 - 82 (±6)	62 - 90 (±6)
4,75 mm (N°. 4)	31 - 54 (±6)	36 - 64 (±6)	36 - 74 (±6)
0,425 mm (N°. 40)	-	12 - 26 (±4)	12 - 26 (±4)
75 µm (N°. 200)	4,0 - 7,0 (±3)	4,0 - 7,0 (±3)	4,0 - 7,0 (±3)

Fuente: (CR-2020)

### Propiedades físicas

Los agregados para base granular deben tener forma angular o subangular que mejora la estabilidad, así como una textura rugosa que ayuda a la adherencia entre partículas.

### Propiedades mecánicas

Los agregados para base granular, al igual para la subbase granular, deben poseer resistencia al desgaste, estabilidad para resistir deformaciones debido a la carga del tráfico vehicular y deben poseer la capacidad de compactarse fácilmente hasta alcanzar la densidad máxima requerida, lo que asegura la estabilidad de la infraestructura.

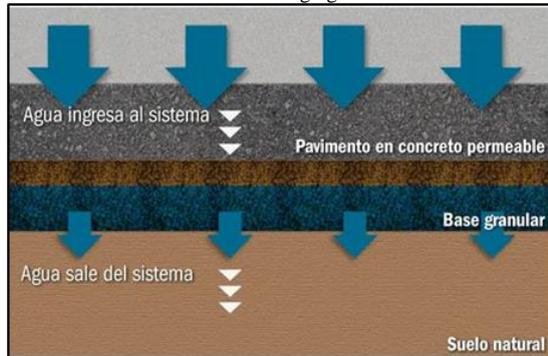
### Propiedades hidráulicas

Dichos agregados, al igual que los de subbase granular, deben contar con una permeabilidad adecuada y controlada ya que se debe asegurar el flujo de agua y líquido por la capa sin afectar los agregados finos dentro de ella. Así mismo, se debe tomar en consideración que los agregados finos, no deben ser plásticos ya que esto afecta la capacidad de drenaje, lo que a su vez aumenta la probabilidad de deformación.

### Permeabilidad

La permeabilidad es la propiedad que determina la capacidad que posee el agregado que un líquido atraviese su estructura sin alterarla y comprometerla a futuras afectaciones.

Ilustración 9. Permeabilidad de un agregado



Fuente: 360 EN CONCRETO (2022)

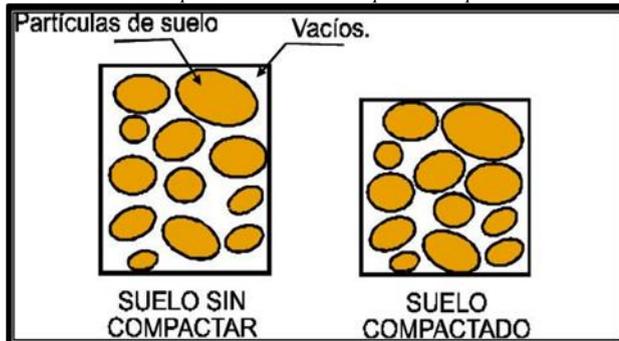
### Plasticidad

Según, Comunicaciones (2014) la plasticidad "Es la propiedad de estabilidad que representa los suelos hasta cierto límite sin disgregarse..." por lo que, si hablamos de los agregados que la contienen, se puede concluir que la plasticidad no solo depende de los agregados finos sino también de los agregados gruesos.

### Compactación

Se entiende por compactación al proceso en el cual se ejerce presión al suelo y agregado, con el fin de mejorar sus propiedades mecánicas, mediante la reducción de aire en los vacíos inter-particulares del material, obteniendo así, una mayor resistencia, estabilidad y permeabilidad del material.

Ilustración 10. Comportamiento del suelo por la compactación



Fuente: (UNAM, 2021)

### MÉTODOS DE ENSAYO

#### AASHTO:

La asociación estadounidense de funcionarios estatales de carreteras y transporte, la cual en el idioma inglés se le denomina "American Association of State Highway and Transportation Officials" conforman las siglas AASHTO, la cual es una organización profesional cuya función es establecer los estándares técnicos para el diseño, la construcción y el mantenimiento de infraestructuras viales, tales como carreteras, puentes, entre otros.

### Ensayo de compactación Proctor

En 1933, el ingeniero estadounidense Ralph Roscoe Proctor desarrolla un ensayo de compactación con el fin de determinar la humedad óptima a la cual un suelo alcanza su máxima densidad seca, lo que brindaría información crucial para terminar el nivel de compactación que requiere un terreno para alcanzar la estabilidad y dureza para resistir las cargas de una infraestructura civil. Es así como el ensayo lleva el nombre de "Proctor" en honor a Ralph Roscoe, además, dicho ensayo presenta dos variantes importantes:

#### Ensayo Proctor Estándar (AASHTO T-99):

El Proctor Estándar fue el método experimental original propuesto por Ralph Roscoe para determinar la relación densidad – humedad de un suelo.

#### Ensayo Proctor Modificado (AASHTO T-180):

Dicho ensayo fue desarrollado por los ingenieros del ejército de los Estados Unidos, durante la Segunda Guerra Mundial, debido a la necesidad de adaptar la compactación del terreno en donde se encontraban las infraestructuras militares, especialmente las pistas de aterrizaje, debido a cargas elevadas que dicho terreno debía soportar. En comparación al Proctor principal, este presenta una compactación aproximadamente 4.5 veces mayor que el Proctor Estándar, por otro lado, el Proctor modificado presenta una variación en el método de desarrollo, tal como lo muestra la Tabla 3.

Por último, el Proctor modificado, requiere de implementos mucho más grandes, según su normativa (AASHTO T180) para realizar los ensayos, tal cual lo muestra la Ilustración 14.

Tabla 3. Diferencia en el desarrollo del ensayo entre Proctor Estándar y Proctor Modificado

	Proctor Estándar		Proctor Modificado
Peso del Martillo	2.5 kg.	Peso del Martillo	5 kg.
Altura de caída	300 mm (30cm)	Altura de caída	450 mm (45cm)
Número de golpes	25	Número de golpes	50
Capas de suelo	3	Capas de suelo	5

Fuente: Propia (2025)

Ilustración 14. Diferencia de moldes y martillo para cada ensayo de Proctor



Fuente: Utest (2025)

### DISCUSIÓN Y RESULTADOS

El ensayo de compactación tipo Proctor Estándar (AASHTO T-99) aplicado a materiales provenientes de diferentes tajos permitió observar diferencias significativas en cuanto a la densidad máxima seca y el contenido óptimo de humedad de agregados tanto pétreos como meteorizados. Los materiales fuera del alcance granulométrico establecido por la especificación CR-2020, en particular, exhibieron variaciones en los resultados que pueden atribuirse a su distribución de partículas y propiedades físicas. Estas diferencias inciden directamente en la forma en que estos materiales responden a los procesos de compactación, lo que repercute en la calidad y durabilidad de las obras civiles construidas con ellos.

En los resultados obtenidos para la granulometría y absorción de los agregados, se evidenció que los materiales con mayor fracción de partículas finas tienden a requerir un mayor contenido de humedad para alcanzar compactaciones óptimas. Por el contrario, los materiales gruesos y angulares, pese a estar fuera de la especificación granulométrica convencional, demostraron que pueden alcanzar densidades aceptables bajo condiciones de compactación controladas. Este hallazgo abre la posibilidad de utilizar estos materiales en obras viales, siempre y cuando se apliquen restricciones y controles de calidad adecuados durante la construcción.

El análisis de los resultados también evidenció que los materiales meteorizados presentan un comportamiento diferente comparado con los pétreos. Los primeros, al absorber mayor cantidad de agua, pueden ocasionar variaciones en el contenido óptimo de humedad y en la estabilidad mecánica posterior a la compactación. Esto reflexiona sobre la necesidad de ajustar las prácticas constructivas y de control de calidad si se opta por incorporar materiales fuera de

especificación, considerando además el ambiente donde serán usados y el tipo de estructura a construir.

La comparación con los parámetros exigidos por la especificación CR-2020 evidenció que numerosos agregados fuera del alcance granulométrico no cumplen íntegramente con los rangos recomendados, sin embargo, algunos alcanzan un desempeño aceptable bajo criterio de densificación. Esto resalta la importancia de complementar los criterios granulométricos con pruebas de desempeño mecánico y de comportamiento in situ antes de su aceptación para obras civiles, especialmente en capas estructurales críticas como base y subbase vial.

### CONSIDERACIONES FINALES

El estudio demuestra que, si bien la especificación granulométrica CR-2020 está diseñada para garantizar la calidad y el buen desempeño de los materiales en obra civil, existen materiales fuera de este rango que, bajo un manejo controlado y pruebas complementarias, podrían ser empleados sin comprometer la estabilidad y durabilidad de la estructura. Sin embargo, esto requiere una evaluación minuciosa de cada lote y la adaptación de procedimientos constructivos que consideren las particularidades del material, así como un monitoreo estricto durante y después de la compactación.

En conclusión, el ensayo de compactación debe ser considerado como una herramienta fundamental de evaluación, no solo de control, al analizar materiales que no cumplen estrictamente con las especificaciones granulométricas. La combinación de pruebas de laboratorio y criterios técnicos permite una mejor toma de decisiones en obra y posibilita ampliar el aprovechamiento de fuentes de agregados locales, conservando la seguridad y funcionalidad de la infraestructura vial.

### REFERENCIAS CITADAS Y CONSULTADAS

- Andrea, S. (27 de Septiembre de 2021). Agregados para La Construcción. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/527729932/AGREGADOS-PARA-LA-CONSTRUCCION-1>
- Araya, R. C. (agosto de 2005). Universidad de Costa Rica . Obtenido de Informe de trabajo de graduacion : <https://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr/server/api/content/bitstreams/baac4675-a3b6-4501-9c57-565174df5fa1/content>
- Arias, M., Mata, R., & Alvarado, A. (2014). Arcillas

- identificadas en suelos de Costa Rica a nivel generalizado durante el período 1931-2014. *Agronomía Costarricense*, 38(1), 75-106.
- Arias, E. R. (Febrero de 2009). *Crisol*. Obtenido de *Suplemento de Ciencia y Tecnología* : <https://odi.ucr.ac.cr/medios/documentos/suplemento-crisol/Crisol221.pdf>
- Chauca, Y. K. (2024). Estudio del mejoramiento de una base granular mediante la aplicación de emulsión asfáltica CSS-1h. Obtenido de <https://www.scielo.cl/pdf/oyp/n36/0718-2813-oyp-36-0059.pdf>
- comunicaciones, M. d. (09 de Abril de 2014). Portal MTC. Obtenido de [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-05-14%20Seccion%20Suelos%20y%20Pavimentos\\_Manual\\_de\\_Carreteras\\_OK.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-05-14%20Seccion%20Suelos%20y%20Pavimentos_Manual_de_Carreteras_OK.pdf)
- CONSTRUCCION, M. D. (s.f.). UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA. Obtenido de *DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO*: <https://www.uca.edu.sv/mecanica-estructural/materias/materialesCostruccion/guidasLab/ensayoAgregados/Densidad%20gravedad%20especifica%20y%20absorcion%20de%20agregados%20finos.pdf>
- Comunicación Institucional. (2020). ¿Qué es la investigación aplicada y cuáles son sus principales características? <https://blogposgrados.tijuana.iberomx/investigacion-aplicada/>
- Deacero. (2019). Deacero. Obtenido de <https://blog.deacero.com/construye-con-pavimento-sustentable-deacero>
- Estructurales, L. N. (s.f.). Determinación. Obtenido de <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/images/ensayos/5-geotecnia/5.04.pdf>
- Estructurales, L. N. (s.f.). Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales. Obtenido de <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/images/ensayos/5-geotecnia/5.04.pdf>
- Fidelitas, U. (09 de junio de 2023). Universidad Fidelitas. Obtenido de <https://www.studocu.com/latam/document/universidad-fidelitas/materiales-de-construccion/informe-densidad-relativa-gravedad-especifica-y-absorcion-de-agregado-grueso/67168340>
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación*. México D.F: McGraw-Hill.
- Leiton, A. U. (Mayo de 2012). Universidad de Costa Rica. Obtenido de *Efectos de la sobre compactacion en la resistencia y deformabilidad de suelos cohesivos* : <https://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr/server/api/core/bitstreams/0c5990bd-d9c5-41bf-ac6a-3c908051962a/content>
- LÓPEZ, G. A. (Abril de 2020). Repositoriotec. Obtenido de [https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/11355/Proyecto\\_Graduaci%C3%B3n\\_Gabriel\\_Molina\\_L%C3%B3pez.pdf](https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/11355/Proyecto_Graduaci%C3%B3n_Gabriel_Molina_L%C3%B3pez.pdf)
- López, G. M. (Mayo de 2020). Repositorio TEC. Obtenido de [https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/11355/Proyecto\\_Graduaci%C3%B3n\\_Gabriel\\_Molina\\_L%C3%B3pez.pdf](https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/11355/Proyecto_Graduaci%C3%B3n_Gabriel_Molina_L%C3%B3pez.pdf)
- Medina, Eduardo. *Compactación y Estabilización de Suelos* Universidad Iberoamericana A.C, México, 2000.
- Ministerio de Obras Publicas y Transportes. (2020). *Manual de especificaciones generales para la construccion de carreteras, caminos y puentes*. Obtenido de <https://www.mopt.go.cr/sites/default/files/destacados/planificacion-sectorial/normativa/cr-2020/cr-2020.pdf>
- Obando, V. (2023). *Manual de prácticas de laboratorio de diseño de pavimentos*. <http://ufidelitas.ac.cr/tesis/Libros/B0439.pdf>
- Porrás, C. Y. (01 de julio de 2015). Universidad de Costa Rica. Obtenido de *Trabajo de graduacion* : <https://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr/server/api/core/bitstreams/d052f569-3e27-41de-8758-24715f284dbe/content>
- Proctor, R. R. (1933). *Fundamental principles of soil compaction*. *Engineering News-Record*, 111(9), 245-248.
- Tabash, C. (2001). *Constructora Tabash*. Obtenido de <https://construtoratabash.com/mantenimiento-de-caminos-en-lastre-en-coto-brus-zona-sur/>
- Transportes, M. d. (2020). *Manual de especificaciones generales para la construccion de carreteras, caminos y puentes*. Obtenido de <https://www.mopt.go.cr/sites/default/files/destacados/planificacion-sectorial/normativa/cr-2020/cr-2020.pdf>

2020/cr-2020.pdf

UNAM. (2021). Ingeniería y construcción . Obtenido de [https://www.ingenieria.unam.mx/luiscr/licenciatura\\_ic/1608\\_mt/1608\\_material/2.9\\_Compactacion.pdf](https://www.ingenieria.unam.mx/luiscr/licenciatura_ic/1608_mt/1608_material/2.9_Compactacion.pdf)

Valencia, U. P. (s.f.). Ensayos de compactación en carreteras: Proctor Normal y Modificado . Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/139866/L%20Ensayos%20de%20compactaci%20en%20carreteras%20Proctor%20Normal%20y%20Modificado.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Victory, Y. (2021, marzo 10). El ensayo que inventó Ralph R. Proctor, ¿por qué es tan importante?. Blog de la Universidad Politécnica de Valencia.