



*Combinación granulométrica de material granular con agregados finos de arena de playa proveniente de la costa en la Provincia de Manabí para el mejoramiento de subbases*

*Granulometric combination of granular material with fine aggregates of beach sand from the coast in the Province of Manabí for the improvement of subbases*

*Combinação granulométrica de material granular com agregados finos de areia de praia do litoral da Província de Manabí para o melhoramento de sub-bases*

Giler García Vicente Alexander <sup>I</sup>

[vgiler1016@utm.edu.ec](mailto:vgiler1016@utm.edu.ec)

<https://orcid.org/0009-0004-3623-5714>

Eduardo Ortiz Hernández <sup>II</sup>

[eduardo.ortiz@utm.edu.ec](mailto:eduardo.ortiz@utm.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0002-1885-6005>

**Correspondencia:** [aibarra@uagraria.edu.ec](mailto:aibarra@uagraria.edu.ec)

Ciencias Técnica y Aplicadas

Artículo de Investigación

\* **Recibido:** 23 de abril de 2023 \* **Aceptado:** 12 de mayo de 2023 \* **Publicado:** 26 de junio de 2023

- I. Departamento de Construcciones Civiles y Arquitectura, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.
- II. Departamento de Construcciones Civiles y Arquitectura, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.



## Resumen

Las combinaciones realizadas a un material granular para pavimentos flexibles como la subbase con conglomerantes hidráulicos se ha convertido en una opción factible para el mejoramiento a la hora de aumentar la eficiencia y resistencia del diseño de este. Con la finalidad de verificar el criterio que ofrece este proceso, se ha seleccionado un material granular de subbase común de cantera y arena de playa de la zona costera de Manabí, con la finalidad de experimentar en laboratorio de suelos su comportamiento posterior a la combinación del agregado de arena de playa más cemento hidráulico. Con los ensayos realizados sin la combinación y con esta, se ha demostrado que las características naturales del material granular de subbase luego de la combinación aumentaron, siendo estas la densidad máxima y la resistencia a CBR. Todo esto utilizando el procedimiento de aplicación empírico-mecanicista de la Guía de Diseño AASTHO (American Association of State Highway and Transportation Officials) y ASTM (American Society for Testing and Materials), el cual puede demostrar el proceso que conlleva la realización de este experimento para una subbase estabilizada con arena y cemento hidráulico.

**Palabras Clave:** Material granular; subbase estabilizada; arena de playa; pavimento flexible; cemento hidráulico; resistencia a CBR.

## Abstract

The combinations made to a granular material for flexible pavements such as the subbase with hydraulic binders has become a feasible option for improvement when it comes to increasing the efficiency and resistance of its design. In order to verify the criteria offered by this process, a granular material of common quarry subbase and beach sand from the coastal area of Manabí has been selected, in order to experiment in a soil laboratory its behavior after the combination of beach sand aggregate plus hydraulic cement. With the tests carried out without the combination and with it, it has been shown that the natural characteristics of the subbase granular material after the combination increased, these being the maximum density and the resistance to CBR. All this using the empirical-mechanistic application procedure of the AASTHO (American Association of State Highway and Transportation Officials) and ASTM (American Society for Testing and Materials) Design Guide, which can demonstrate the process involved in carrying out this experiment. for a subbase stabilized with sand and hydraulic cement.

**Keywords:** Granular material; stabilized subbase; Beach sand; flexible pavement; hydraulic cement; CBR resistance.

## Resumo

A combinação de um material granulado para pavimentos flexíveis como a sub-base com ligantes hidráulicos tornou-se uma opção viável de melhoria no que diz respeito ao aumento da eficiência e resistência de seu projeto. Para verificar os critérios oferecidos por este processo, foi selecionado um material granulado de sub-base de pedra comum e areia de praia da zona costeira de Manabí, a fim de experimentar em um laboratório de solo seu comportamento após a combinação de areia de praia agregado de areia mais cimento hidráulico. Com os testes realizados sem a combinação e com ela, foi demonstrado que as características naturais do material granulado de sub-base após a combinação aumentaram, sendo elas a densidade máxima e a resistência ao CBR. Tudo isso usando o procedimento de aplicação empírico-mecanicista do guia de design da AASTHO (American Association of State Highway and Transportation Officials) e da ASTM (American Society for Testing and Materials), que pode demonstrar o processo envolvido na realização desse experimento. estabilizado com areia e cimento hidráulico.

**Palavras-chave:** Material granular; sub-base estabilizada; areia da praia; pavimento flexível; cimento hidráulico; Resistência CBR.

## Introducción

Los materiales granulares están presentes en diferentes ramas de la Ingeniería Civil, como en la construcción vial, la cual usa diferentes tipos de capas de este material ya estudiado y tratado, ya que dependiendo de este tipo de capas como lo son la base, subbase y subrasante, se van a tener en cuenta la calidad del proyecto vial (Cambou, 1998). Las especificaciones viales requieren ciertas propiedades para las bases, subbases y subrasantes de los pavimentos flexibles que les permitan soportar las altas cargas generadas por el tráfico pesado, asegurando así un buen desempeño en el tiempo de largo plazo bajo las condiciones más adversas (Zambrano Meza & Tejeda Piusseaut, Materiales granulares tratados con emulsión asfáltica para su empleo en bases o subbases de pavimentos flexibles., 2019).

El Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Sebelas Maret en Indonesia realizó una investigación que mencionan las propiedades que tiene la arena de mar la cual contiene

principalmente óxido de silicio ( $SiO_2$ ) y magnetita ( $Fe_3O_4$ ), La presencia de  $SiO_2$  y los compuestos cerámicos  $Fe_3O_4$  que permiten que la arena de mar forme compuestos con propiedades superiores (Ilham Akbar, Surojo, Ariawan, Rio Prabowo, & Imanullah, 2021). Además, que a través de un estudio realizado en China se pudo llegar a la conclusión que las arenas con gravas calcáreas aumentan la resistencia a la deformación (Shen, Wang, Cui, & Zhu, 2022).

Debido a una elevada solicitud de arena, las fuentes de extracción como canteras aluviales, ríos, lagos o depósitos volcánicos se están desgastando parcialmente, a lo que lleva a los investigadores a realizar estudios de cómo mejorar las especificaciones técnicas de cualquier material en combinación de un nuevo material que no se utiliza o se utiliza poco frecuente, como lo que puede ser la arena de playa, y teniendo en cuenta que Ecuador tiene una gran zona costera la cual abunda la arena de playa, y esta podría ser una opción considerable en alguna investigación para el mejoramiento de un material granular para un proyecto vial como lo es la subbase granular como lo propone la norma ecuatoriana MTOP que la considera óptima para una estabilización con arena. El cemento ha sido un importante material de construcción, tanto para viviendas como en obras viales, donde ha tenido un significativo uso (Carvajal De La Rosa & Pozo Tomalá, 2019). En Ecuador se usa el Cemento de moderado calor de hidratación Holcim Base Vial ECO Planet Tipo MH para proyectos viales, ya que este aporta características extras de mejoramiento a los diferentes tipos de capas de un pavimento como lo es la subbase.

Las mezclas granulares, debidas a múltiples mecanismos de mejoramiento de materiales que necesitan llevar una resistencia requerida, son medios comunes en que se aplican en la ingeniería civil. Por ejemplo, las mezclas de subbases con geotextiles, debidas al aumento de resistencia portante y mejoras en muchas vías, es una de las más representativas en este campo, es por esto que se va a experimentar la mejora de un material granular de subbase con arena de playa más cemento hidráulico para demostrar esta función con el material (Jian, Jun, & Liang, 2019).

El objetivo de la investigación es demostrar el incremento de la resistencia a CBR que experimenta un material granular, mediante la incorporación de arena de playa más el Cemento de moderado calor de hidratación Holcim Base Vial ECO Planet Tipo MH. Debido a que esta técnica amplía enormemente la aplicabilidad de casi todos los suelos, la combinación con cemento los mejorará capacidad de carga, es decir, mejora la capacidad de portante más ciclos con carga debido a la cantidad de transportes, además de manejar más ciclos lluvia que el suelo granular convencional (Carvajal De La Rosa & Pozo Tomalá, 2019).

## Métodos

Esta investigación se la planteó en realizar por medio del método investigativo y cuantitativo-experimental, en primer lugar, se acudió a recoger muestras de arena de playa en distintos sitios de la costa de Manabí tales que se localizan en:

- La playa de Manta en las coordenadas 532141.64 m E y 9894992.94 m S
- La playa de San Vicente en las coordenadas 565838.01 m E y 9933614.77 m S
- La playa de Crucita en las coordenadas 551476.13 m E y 9904690.43 m S

Después con un planteamiento científico se va a llevar a cabo la combinación granulométrica con el material granular obtenida de la cantera URUZCA tipo sub base y el Cemento de moderado calor de hidratación Holcim Base Vial ECO Planet Tipo MH basándonos en las normas ecuatorianas (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2002) que se aplican un estudio para subbase de pavimento flexible.

Sobre la humedad natural de cada muestra de los ensayos que se van a realizar, ya sea la energía de compactación del Proctor Modificado, el ensayo de CBR o el ensayo de gravedad específica de finos, se va a utilizar el mismo procedimiento basado en la norma (ASTM D2216, 2019), por lo que se tomara dos pequeñas muestras del material con la misma proporción de cada ensayo hecho, los cuales se pesan y se verifica que no excedan los 200 g y luego se los colocara en el horno de secado a temperaturas de  $110 \pm 5$  °C durante  $24 \pm 4$  horas.

La determinación de la granulometría en seco se obtuvo mediante la norma ecuatoriana (NTE INEN 696, 2011) y la (ASTM C136, 2020) para lo que sería el material más grueso donde se utiliza los tamices de 3", 2 ½", 2", 1,5", 1", ¾", ½", 3/8" y N°4, ya que para el material más fino se va a considerar el lavado estimando la norma ecuatoriana (NTE INEN 697, 2010) y la (ASTM C117, 2020) tal que se va a utilizar los tamices N°10, N°40 y N°200, y a pesar que se puede usar una máquina de vibrado se optó por realizarlo manualmente usando un tamiz individual durante un minuto golpeando fuerte un lado del tamiz y con un movimiento hacia arriba con la otra mano, este paso es importante para la especificación del porcentaje de contenido de arcilla y limo en los materiales.

Para la densidad del agregado fino se usa la norma (ASTM C128, 2023), la cual indica que la muestra del agregado se debe sumergir en agua durante  $24 \pm 4$  horas para su saturación, luego se quita el agua y se seca la muestra para después hacer 3 capas del material en un cono, a la primera



y segunda capa se dan 8 golpes con el pisón y a la última 9 golpes, dando un total de 25 golpes por lo consiguiente se levanta el cono y el material debe de tener un derrumbamiento para que esté listo. Para el ensayo se toma 500gr de muestra, los cuales se introducen en un picnómetro con agua a un nivel aproximado del 90% de este, al que se lo puede llevar a baño maría y se agita hasta que el material no contenga ninguna burbuja de vacío o se coloca en una bomba de vacíos en un lapso de tiempo de 5 – 10 min, y manualmente con un dedo tapa el picnómetro durante 15 – 20 minutos, por último se llena de agua hasta donde indique la marca de calibración del picnómetro con finalidad de pesarlo para después colocar el contenido en un recipiente y dejarlo secar en el horno durante  $24 \pm 4$  horas a  $110 \pm 5$  °C y luego volver a pesar esta muestra. (Sebastian David Lascano, 2010)

La subbase granular es un material conformado ya sea por suelos naturales o combinación con agregados obtenidos por proceso de trituración o de cribado (Zambrano Meza, Tejeda Piusseaut, & Alonso Aaenlle, Materiales granulares mejorados con emulsión asfáltica catiónica para subbases de pavimentos., 2020). Estos se rigen a cumplir ciertos parámetros de calidad, instaurando que la capacidad portante mínima sea de 30% y la cantidad de material que pase el tamiz N°40 se establece que debe tener un índice de plasticidad menor que 6 y un límite líquido máximo de 25 como lo indica (NTE INEN 691, 1982)/ (NTE INEN 692, 1982) y (ASTM D4318, 2018). El material de subbase granular tiene que estar libre de materias vegetales, basura, pedazos de arcilla o sustancias que ya complementadas en la capa de subbase granular puedan causar fallos en el pavimento. Aquellas especificaciones técnicas están establecidas en las normas ecuatorianas (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2002).

Según el MTOP las subbases granulares se clasifican en tres tipos. Las subbases de clase 1 que están construidas con agregados obtenidos por trituración de roca o gravas y graduados uniformemente dentro de los límites indicados para la granulometría Clase 1. Por lo menos el 30 % del agregado preparado deberá obtenerse por proceso de trituración. Las subbases de clase 2 que están construidas con agregados obtenidos mediante trituración o cribado en yacimientos de piedras fragmentadas naturalmente o de gravas y graduados uniformemente dentro de los límites indicados para la granulometría Clase 2. Y las subbases de clase 3 que están construidas con agregados naturales y que se hallen graduados uniformemente dentro de los límites indicados para la granulometría Clase 3 (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2002).

Para obtener la densidad seca máxima del material granular se tomó en cuenta la norma (ASTM D1557, 2021), la que establece que se debe tamizar y recoger el material que pasa el tamiz  $\frac{3}{4}$ ”,

luego este será colocado en un molde cilíndrico de 6 pulg. (152,4mm) de diámetro en 5 capas las cuales cada una será golpeada 56 veces por un pisón de 10 lbf (44,48 N) desde una altura de 18 pulgadas (457mm) sometiendo así al suelo a un esfuerzo aproximado de 56000 pie-lbf/pie<sup>3</sup> (2700 kN-m/m<sup>3</sup>). Después se toma el peso unitario, todo el proceso se vuelve a repetir con la finalidad de obtener una relación curvilínea conocida como curva de compactación con la cual se consiguen los valores de óptimo contenido de agua y máximo peso unitario seco modificado.

Luego de obtener el contenido de agua óptimo de cada muestra se procede a realizar el ensayo de CBR según la norma (ASTM D1883, 2021), cual apunta a utilizar más de 5 kg de muestra ya saturada por el porcentaje de agua óptimo por cada molde cilíndrico cuya dimensión de estos son de  $152,4 \pm 0,66$  mm ( $6 \pm 0,026$ "") de diámetro interior y  $177,8 \pm 0,46$  mm ( $7 \pm 0,018$ "") de altura y encima de este un collar de 50,8 mm (2") con una placa de base de 9,53 mm (3/8") de espesor, antes de colocar la muestra se coloca al fondo un disco espaciador de 150,8 mm (5 15/16") de diámetro exterior y de  $61,37 \pm 0,127$  mm ( $2,416 \pm 0,005$ "") de espesor, se colocaran 3 capas en 2 moldes, cada uno golpeado por un pisón igual al del ensayo de Proctor Modificado 61 veces para uno y el otro 27 veces, después se coloca un medidor de expansión y encima de este una o dos pesas anulares de  $4,54 \pm 0,02$  kg de masa y una pesa ranurada de  $2,27 \pm 0,02$  kg de masa, tales serán de metal, ya tomado todos los pesos los moldes se sumergen por completo en agua durante 96 horas (4 días) para luego tomar medidas con el deformímetro y llevar el molde a la prensa de carga para obtener la penetración y las cargas de las muestras.

Por ende, el ensayo de CBR puede ser apropiada para evaluar la resistencia en la mezcla, determinándose del mismo modo la resistencia conservada, hallando la diferencia porcentual de mejora entre el CBR de natural de la subbase y el CBR de la mezcla entre la subbase, arena de playa y el cemento hidráulico. Asimismo, compactando las muestras de la subbase natural con la energía de compactación del Proctor Modificado, para fijar el contenido de agua con el cual se debe compactar las mezclas (Zambrano Meza, Tejeda Piusseaut, & Alonso Aaenlle, Materiales granulares mejorados con emulsión asfáltica catiónica para subbases de pavimentos., 2020).

## **Desarrollo**

### **Caracterización de la Arena de mar**

La arena de playa y sus diferentes tamaños se determinan a través de la geomorfología costera, olas, transporte litoral, vientos, regímenes mareales, descargas fluviales cerca de la playa y la



composición de la arena, entre otros factores (Kasper-Zubillaga, Carranza-Edwards, & Morales-De la Garza, 2007), de modo que, se considera que las playas contienen una composición total de arena. A las arenas de playa que se escogió para este caso de estudio en primer lugar se les realizó un estudio granulométrico para descartar si su estructura es arcillosa o limoso tal como se indica en las tablas 1, 2 y 3, donde se tiene un resume de las propiedades granulométricas de serie fina obtenidas por medio del método de lavado que conforman las arenas de las tres diferentes zonas elegidas, las cuales son Manta, San Vicente y Crucita ubicadas en la costa de Manabí estudiadas bajo la norma (NTE INEN 697, 2010) / (ASTM C117, 2020).

<b>GRANULOMETRÍA (ASTM C117)</b>				
TAMIZ N°	DIAMETRO	P.RETENIDO	%	%
	mm	PARCIAL	RETENIDO	QUE PASA
<b>SERIE FINA (MANTA)</b>				
10	2	0	0,00	100,00
40	0,425	5,29	2,72	97,28
200	0,075	181,42	93,40	<b>( 3,88 )</b>
PASA N°200	<0,075	7,54	3,88	
TOTAL		194,25		

**Tabla 1:** Granulometría por lavado de arena de playa de Manta

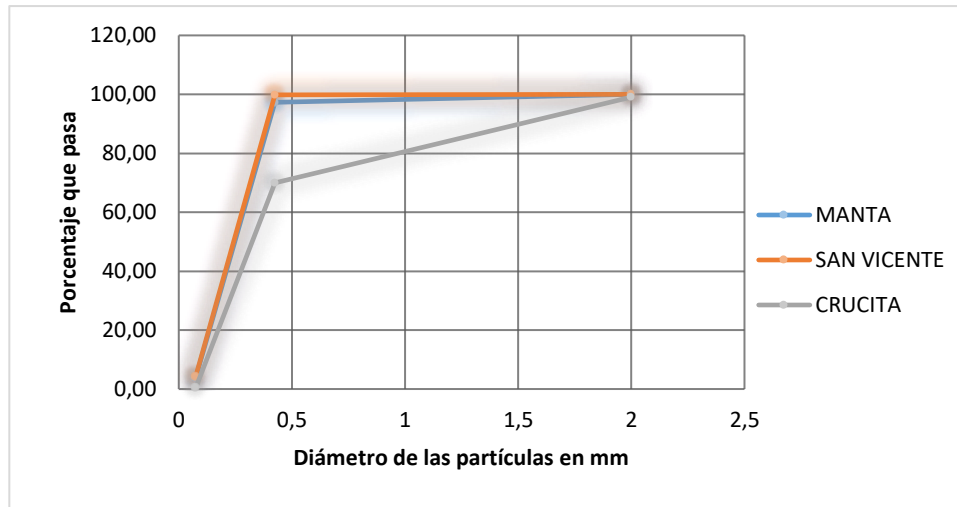
<b>GRANULOMETRÍA (ASTM C117)</b>				
TAMIZ N°	DIAMETRO	P.RETENIDO	%	%
	mm	PARCIAL	RETENIDO	QUE PASA
<b>SERIE FINA (SAN VICENTE)</b>				
10	2	0	0,00	100,00
40	0,425	0,25	0,13	99,87
200	0,075	187,44	95,58	<b>( 4,30 )</b>
PASA N°200	<0,075	8,43	4,30	
TOTAL		196,12		

**Tabla 2:** Granulometría por lavado de arena de playa de San Vicente

<b>GRANULOMETRÍA (ASTM C117)</b>				
TAMIZ N°	DIAMETRO	P.RETENIDO	%	%
	mm	PARCIAL	RETENIDO	QUE PASA
<b>SERIE FINA (CRUCITA)</b>				
10	2	1,85	0,94	99,06
40	0,425	57,34	29,05	70,01
200	0,075	137,39	69,60	<b>( 0,41 )</b>
PASA N°200	<0,075	0,81	0,41	
TOTAL		197,39		

**Tabla 3:** Granulometría por lavado de arena de playa de Crucita

En ninguna de las tres muestras de arenas en lo que pasa el tamiz No. 200 el material no supera más del 5% de contenido de fino por lo que se las considera como arenas limpias como se muestra en las tablas 1, 2 y 3. En el gráfico 1 se observa como la arena de la playa de San Vicente presenta una granulometría más fina, por lo que se la considero a previo diagnostico técnico que es la apropiada según las especificaciones granulométricas que se indican en las normas (NTE INEN 697, 2010)/ (ASTM C117, 2020).



**Gráfico**

**1:**

### Análisis granulométrico de arenas de playas de Manabí

Para tener datos de referencias y poder contar con una diferencia física entre las tres arenas examinadas se realizaron ensayos específicos con la ayuda didacta del laboratorio SUELCON & ASF. Para el índice de plasticidad en la arena se sabe por lo general que son consideradas no plásticas (NP) para los tres casos, al obtener su humedad natural de las muestras se tomó en consideración 200 gr para cada una, siendo la muestra de Manta con mayor contenido de humedad con un 5,92%, siguiendo con la gravedad específica bulk, se obtuvo con 500 gr de muestra de arena y tras el proceso con el picnómetro y el secado en el horno se puede considerar a la arena de San Vicente con el cociente de densidades de mayor gravedad específica con 2,588, y lo mismo con la gravedad específica bulk en condición saturada y superficialmente seca S.S.S. donde la muestra de San Vicente sigue con el cociente de densidades en el aire mejor con 2,664 y tenemos el porcentaje de absorción del agua entre los poros permeables del material donde las muestras de Manta y Crucita tienen un 2,99%. Y por lo tanto todos estos pasos que fueron aplicados se obtuvieron mediante la guía de las normas (ASTM D2216, 2019), y tal como se indica en la tabla 4, considerando todos los puntos experimentados la muestra de la arena de San Vicente al tener mejores características se puede llegar a ser una arena notablemente gradada para la investigación.

	ARENA DE PLAYA		
	Manta	San Vicente	Crucita
IP	NP	NP	NP
Humedad natural %	2,96	1,98	1,32
Gravedad específica de masa	2,502	2,588	2,511
Gravedad específica de S.S.S.	2,576	2,664	2,586
% Absorción	2,99	2,97	2,99

**Tabla 4:** Caracterización física de arenas de playas de Manabí

#### **Caracterización del Material granular de cantera (Uruzca) tipo subbase**

Alrededor de unos 25 km de distancia de la playa de Manta, en el kilómetro 12 de vía Portoviejo - Manta, se ubica la cantera URUZCA, la cual presenta material sedimentario de la Formación Río de Oro para uso general de construcciones civiles (Cedeño Cedeño, Chávez Chon Long, Macías Sánchez, & Ortiz Hernández, 2022). Para el desarrollo de los ensayos de laboratorio se trabajó con material de la cantera Uruzca designado por sus instalaciones como subbase Clase 3 triturada.

Con la ayuda del laboratorio SUELCON & ASF y de la Universidad técnica de Manabí se consiguió realizar todos los ensayos que se necesitan para obtener que tipo de características presentaba el material y en qué tipo de clasificación AASHTO se encuentra según la (ASTM D3282, 2016) y las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2002), para la granulometría se empleó una muestra con un peso aproximado de 24.00 kg y además 300 gr para el material fino como se ilustra en la tabla 5 la cual se cataloga a la subbase como buena.

<b>Características para clasificación de suelos según ASTM D 3282</b>	
Límite plástico	NP
Límite líquido	NP
% Que pasa el tamiz N°10	37.01
% Que pasa el tamiz N°40	28.05
% Que pasa el tamiz N°200	6.90
<b>Clasificación ASSHTO</b>	<b>A-1</b>

**Tabla 5:** Clasificación del material mediante sistema AASHTO

También la granulometría realizada en base a la norma (NTE INEN 696, 2011) / (ASTM C136, 2020) y (NTE INEN 697, 2010) / (ASTM C117, 2020) confirmó el tipo de clase 3 que pertenece a la subbase, al tener los porcentajes que pasan de material entre el 100% en el tamiz 3” siendo el 100% de la muestra, entre el 30% - 70% en el tamiz N° 4 siendo el 43,09% de la muestra y entre el 0% - 20% en el tamiz N° 200 siendo 6,90% de la muestra, tal como se indica en la norma referenciada en la tabla 6 y comparando los resultados granulométricos realizados y obtenidos que se indican en la tabla 7.

El análisis granulométrico del material granular se lo clasifica como un suelo bien gradado con presencia de arcilla y limos, también se observa en su mayoría mezcla de grava y arena. Además, el material granular tipo subbase es No plástico (NP) por la escasa presencia de finos (Rodríguez Rincón, Rondón Quintana, Vélez Pinzón, & Aguirre Aguirre, 2006; Holcim Ecuador S.A. (n.d.), 2023). Y para añadir una pequeña referencia más al material granular de subbase se optó en clasificarla por el método de la ASSHTO colocando a esta como A-1 teniendo en cuenta todos los datos previos.

Porcentajes en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada			
TAMIZ	CLASE 1	CLASE 2	CLASE 3
3" (76,2 mm.)	--	--	100
2" (50,4 mm.)	--	100	--
1 1/2 (38,1 mm.)	100	70 - 100	--
N° 4 (4,75 mm.)	30 - 70	30 - 70	30 - 70
N° 40 (0,425 mm.)	15 - 35	15 - 40	--
N° 200 (0,075 mm.)	0 - 15	0 - 20	0 - 20

**Tabla 6:** Clasificación granulométrica para material de subbase

Fuente: MTOPT 001-F-2002

GRANULOMETRÍA (ASTM C136)					
TAMIZ	P. RETENIDO PARCIAL	P. RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO	% QUE PASA	% ESP CFCD
<b>GRANULOMETRIA DE SUBBASE</b>					
4"				100,00	
3"	0		0,00	100,00	100
2 1/2"	2685		11,15	88,85	
2"	1335		5,54	83,31	
1 1/2"	1335		5,54	77,76	
1"	1595		6,62	71,14	
3/4"	960		3,99	67,15	
1/2"	1560		6,48	60,67	
3/8"	1265		5,25	55,42	
N°4	2970		12,33	43,09	30-70,
<b>PASA N°4</b>	10375		43,09		
10	42,32		6,08	37,01	
40	62,38		8,96	28,05	
200	147,3		21,15	<b>( 6,90 )</b>	0-20,
<b>TOTAL</b>	24080				

**Tabla 7:** Granulometría del material de subbase de la cantera Uruzca

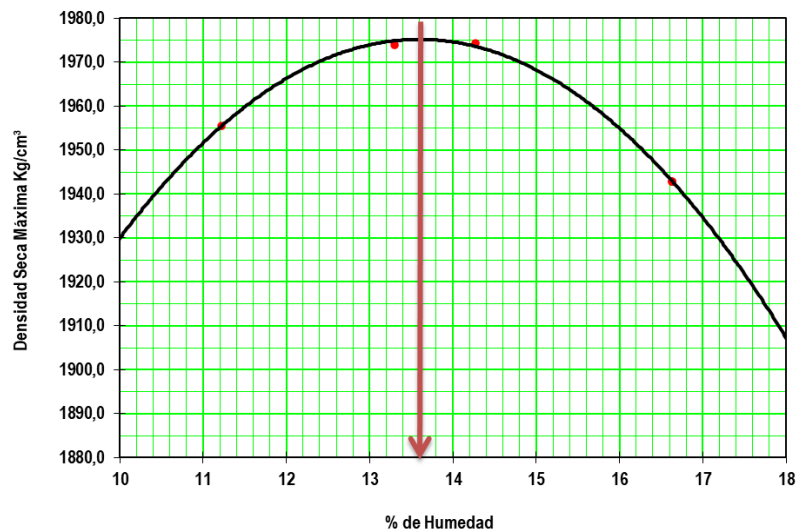
Para obtener la humedad natural del material nos basamos en la norma (ASTM D2216, 2019) la cual se obtuvo un promedio del 5,13% entre las dos muestras, y para tener en cuenta los requisitos de la INEN sobre los límites físicos del material, en la tabla 7 se muestra su respectiva comparación.



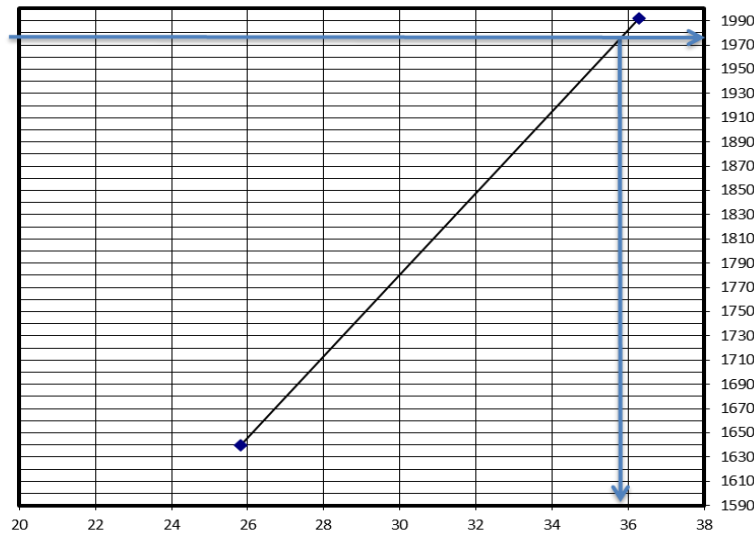
Característica	Norma	Requerido	Valor
Límite plástico	INEN 692	<6	NP
Límite líquido	INEN 691	<25	NP
Humedad natural	ASTM D 2216	-	5.13

**Tabla 8:** Característica del material granular tipo subbase de Cantera Uruzca

Ejecutando la norma (ASTM D1557, 2021), se realizó el ensayo de compactación, ejecutado con la Energía del Proctor Modificado con un peso de 6kg y una secuencia de 2% de contenido de agua equivalente a la muestra, es decir (120ml). Se obtuvo el porcentaje de humedad óptima del material granular el cual resultó tener el 13,60% y con una densidad seca máxima de 1975 kg/m<sup>3</sup> como se observa en el gráfico 2. Continuando con estos datos de acuerdo a la norma (ASTM D1883, 2021) se realizó el ensayo California Bearing Ratio: Ensayo de Relación de Soporte de California (CBR) se empleó un peso aproximado de 12kg el cual permitió conocer la capacidad de resistencia del material, tal como indica el gráfico 3 el material al 100% de su máxima densidad seca nos aporta un CBR del 35,8% con la humedad indicada aplicada.



**Gráfico 2:** Curva de compactación para relación Humedad-Densidad de material granular



**Gráfico 3:** Línea de compactación para relación CBR-Densidad de material granular

### Proceso de la Combinación Granulométrica

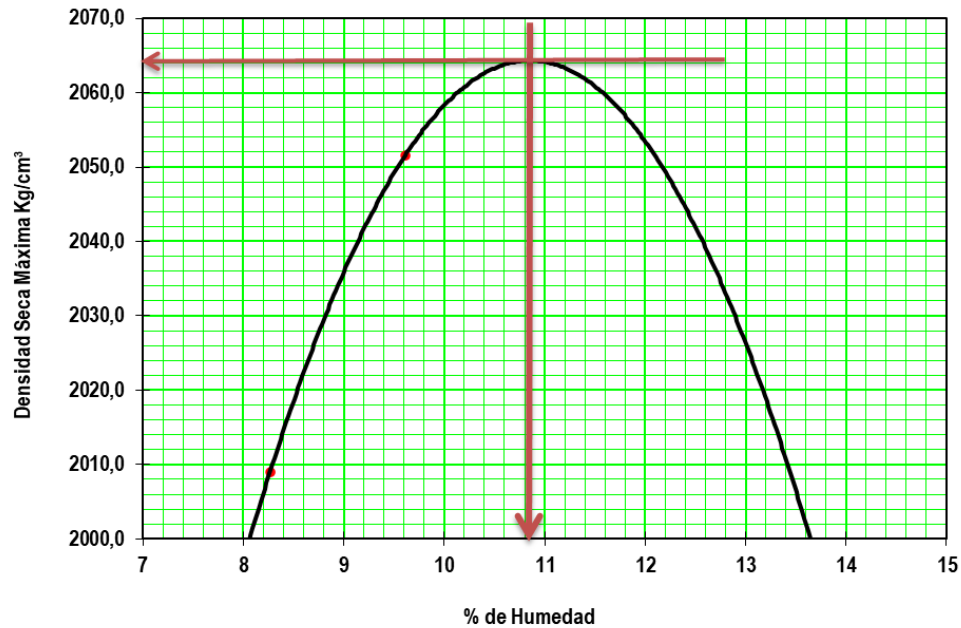
Al tener una subbase que llega a cumplir con las especificaciones que se requiere en la elaboración de un pavimento vial, pero al mismo tiempo hay resultados que se podrían mejorar, este material se puede estabilizar con la arena de las tres diferentes playas seleccionadas y Cemento de moderado calor de hidratación Holcim Base Vial ECO Planet Tipo MH el cual ofrece una mejor capacidad de resistencia portante por su bajo costo en el mercado. (Holcim Ecuador S.A. (n.d.), 2023)

Para un material de subbase tipo A-1-a la empresa Holcim Ecuador recomienda aplicar un porcentaje de 5% de cemento Holcim Base Vial Tipo MH para los ensayos de humedad y densidad, pero tomando en cuenta que la subbase ya contaba con un considerable porcentaje de material catalogado como grava con finos, y agregaremos un 5% de arena del peso total de la muestra, se consideró aplicar 1% de este cemento a la combinación experimental de las tres muestras.

Se ensayaron tres muestras las cuales cada una contenía 18 kg de material de subbase dividiéndola en dos siendo 6 kg para sus respectivos moldes, agregando 0,9kg de arena de playa siendo estos los 5% referenciados y 0,18kg de cemento Holcim Base Vial Tipo MH siendo este 1% que se referencia.

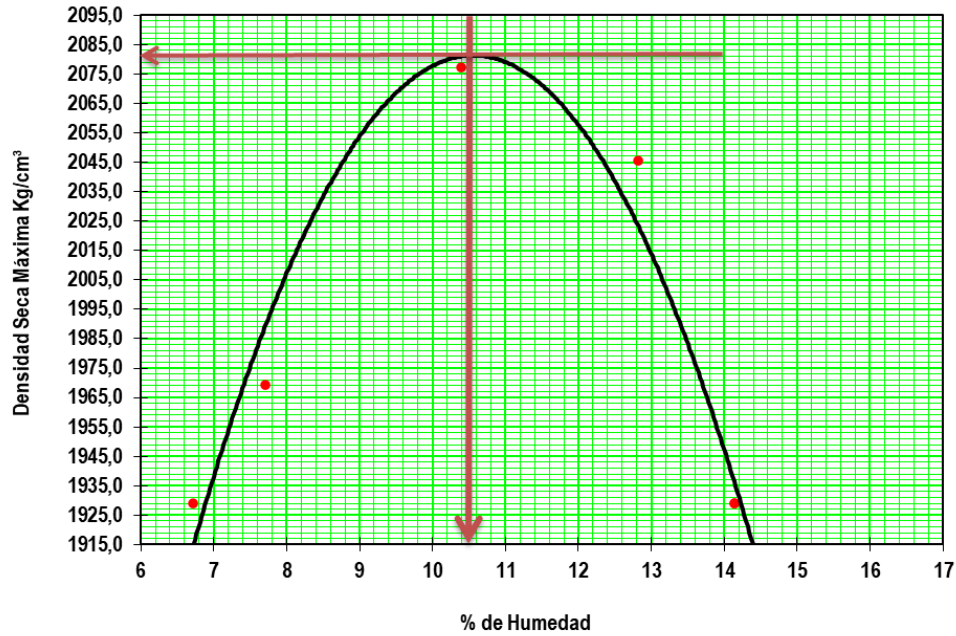
Aplicando la norma (ASTM D1557, 2021) se les realiza a las tres muestras estabilizadas el ensayo de compactación Proctor modificado con un peso de 6 kg, con la misma secuencia del aumento del 2% del material granular ya mencionada equivaliendo a la porción de agua (120ml), para la muestra de Manta resulto tener una humedad optima de 10,8% y una densidad seca máxima de 2064 kg/m<sup>3</sup>,

a continuación la muestra de San Vicente resulto con una humedad optima de 10,5% y una densidad seca máxima de 2080 kg/m<sup>3</sup> y por último la muestra de Crucita resulto una humedad optima de 9,20% y una densidad seca máxima de 2072 kg/m<sup>3</sup> tal como se refleja en los gráficos 4, 5 y 6.



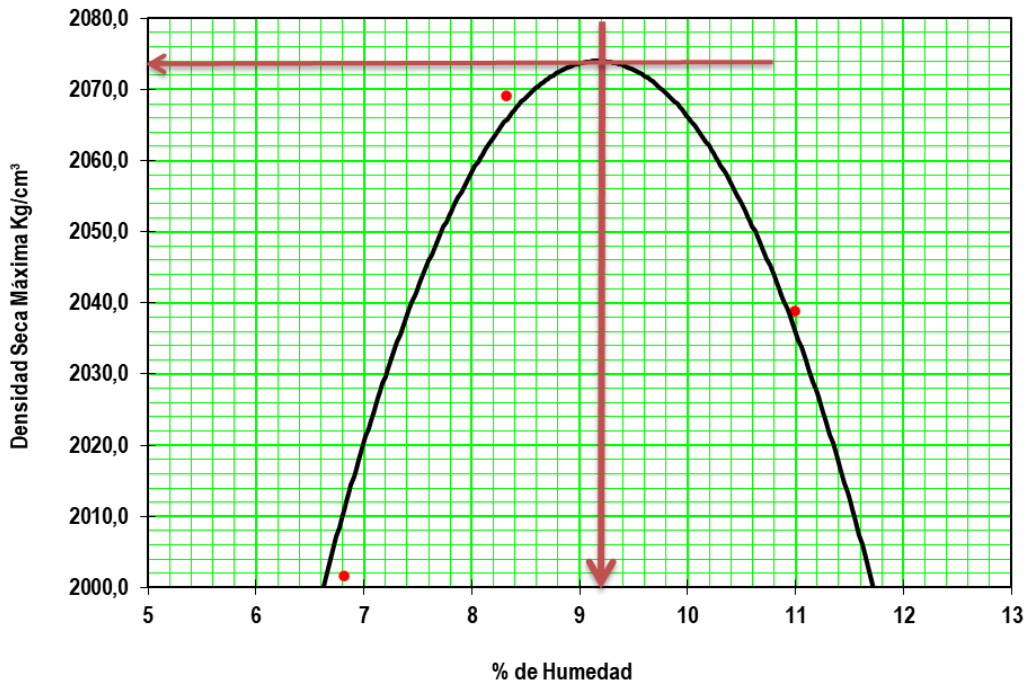
**Gráfico 4:** Curva de compactación para relación Humedad-Densidad de material granular estabilizado con arena de playa de Manta y cemento Holcim Base Vial Tipo MH

5:  
de



**Gráfico**  
Curva

compactación para relación Humedad-Densidad de material granular estabilizado con arena de playa de San Vicente y cemento Holcim Base Vial Tipo MH

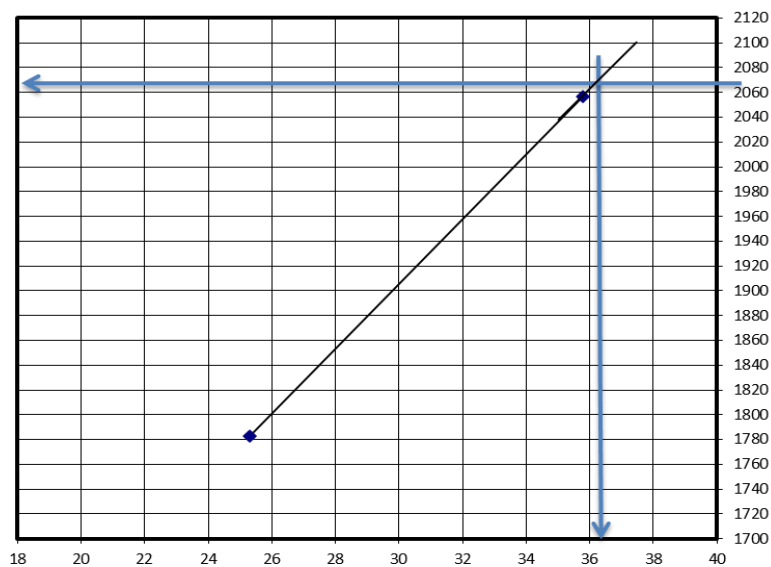


**Gráfico 6:** Curva de compactación para relación Humedad-Densidad de material granular estabilizado con arena de playa de Crucita y cemento Holcim Base Vial Tipo MH

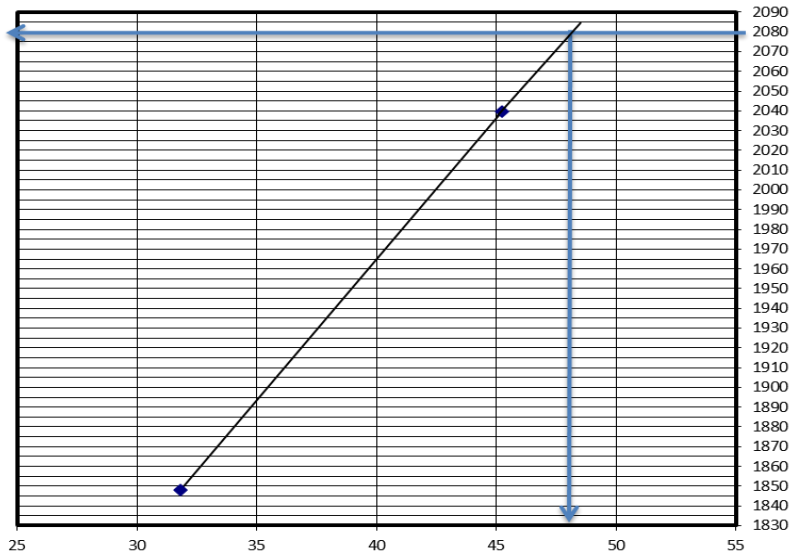
Tras obtener los resultados de los ensayos de compactación Proctor de las muestras estabilizadas proseguimos basándonos en las normas (ASTM D1883, 2021) para realizar el ensayo de CBR a las tres muestras de 12kg cada una. Tal que el material estabilizado con la muestra de arena de Manta en su máxima densidad seca tiene un CBR del 36,30% siendo la capacidad menor entre las tres muestras, ya que se puede asociar este resultado con la de la gravedad específica de esta arena.

La muestra con arena de San Vicente en su máxima densidad seca tiene un CBR del 47% siendo la capacidad portante mayor de las otras dos muestras, este resultado se pudo deducir desde que se comparó las propiedades físicas de las arenas y tomando en cuenta que la gravedad específica bulk es la mejor.

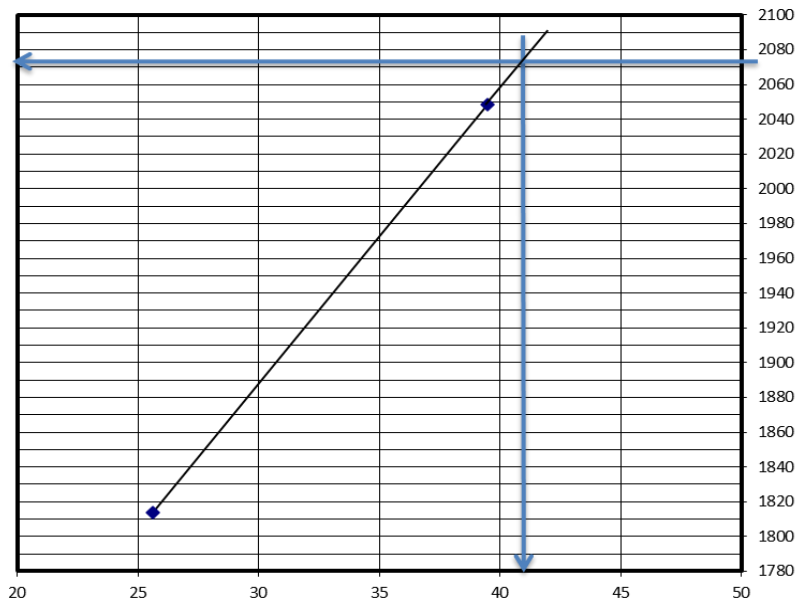
La muestra con arena de Crucita en su máxima densidad seca tiene un CBR del 41% tal como indica el grafico 7, 8 y 9, puesto a que la muestra con arena de San Vicente presenta un mejor CBR, es la que se considera con mayor capacidad portante y al combinar con el cemento Holcim Base Vial Tipo MH se pudo llegar a obtener este aumento de resistencia portante.



**Gráfico 7:** Línea de compactación para relación CBR-Densidad de material granular estabilizado con arena de playa de Manta y cemento Holcim Base Vial Tipo MH



**Gráfico 8:** Línea de compactación para relación CBR-Densidad de material granular estabilizado con arena de playa de San Vicente y cemento Holcim Base Vial Tipo M



**Gráfico 9:** Línea de compactación para relación CBR-Densidad de material granular estabilizado con arena de playa de Crucita y cemento Holcim Base Vial Tipo MH



A continuación, se podrá observar en la tabla 9 ilustra un resumen general de los resultados obtenidos tras la investigación realizada, obteniendo las propiedades físicas del material en su estado natural y estabilizado con los materiales agregados:

PROPIEDAD	SIN AGREGADOS	5% arena Manta + 1% cemento MH	5% arena San Vicente + 1% cemento MH	5% arena Crucita + 1% cemento MH
HUMEDAD OPTIMA %	13,60	10,80	10,50	9,20
DENSIDAD SECA MAXIMA (kg/m <sup>3</sup> )	1975,00	2064,00	2080,00	2072,00
HUMEDAD %	MUESTRA 1	12,85	11,13	11,65
	MUESTRA 2	12,16	12,71	10,91
PESO UNITARIO (kg/m <sup>3</sup> )	MUESTRA 1	1992,00	2057,00	2049,00
	MUESTRA 2	1639,00	1783,00	1814,00
CBR	35,80	37,20	47,00	41,00

**Tabla 9:** Resumen general de las propiedades físicas del material de subbase de todos los ensayos

## Conclusiones

Como resultado de la investigación experimental se llega a las siguientes conclusiones generales: La granulometría siendo unos de los primeros ensayos importantes realizados al material de subbase junto a la humedad natural, hizo que se identificara al material como Clase 3 tal y como indica la norma MTOP y en el caso de la arena se realizó un ensayo de lavado el cual demostró que su composición no conforma más del 5% del contenido de fino cumpliendo así con los requisitos para la investigación.

Las tres combinaciones realizadas aumentaron su densidad en el ensayo de Proctor considerablemente esto se debe a que el cemento hidráulico y la arena de playa tienden a presentar la peculiar relación entre sus partículas de unificar al no crear demasiados poros, y, por ende, se da una mejor compactación con el material granular de subbase dando a esa una aportación mayor de resistencia, tal y como pasa en un fraguado de hormigón.

La resistencia portante mejoro en todas las combinaciones, siendo la combinación con la arena de San Vicente la mejor es aspecto de resistencia, esto se debe a que la muestra de arena presente estadísticas mejores en densidad, haciendo que la muestra en combinación obtenga mejores resistencias tal que esta se convierte en una mezcla homogénea y más la humedad aplicada al

material tiende a solidificarse mejor con esta arena ya que se tiene en presente que a cada una de las muestra se le aplico el mismo porcentaje de cemento hidráulico por ensayo.

Tomando en cuenta el criterio económico puede resultar factible utilizar cierto porcentaje de arena de playa de San Vicente, ya que se demostró que con solo 1% de cemento hidráulico utilizado, más el 5% de arena de playa, la resistencia portante del material granular de subbase aumento en un 11.2% en el mejor resultado, considerando que se recomienda un 5% de cemento hidráulico para tipos de suelo A-1, y por el lado ambiental se tiene que estimar un límite de recolección de arena o zona precisas que estén evaluadas para esta acción, si se quisiera realizar algún mejoramiento de algún proyecto, para así tampoco no perjudicar el ecosistema elegido.

El material granular de subbase en general tras el mejoramiento con agregados cumple con las normas que pronuncia la MTOP para una subbase de clase 3, ya que el CBR en su estado no saturado del material y también en todas las muestras combinadas ensayadas supera el 30% de su capacidad portante, además sus propiedades granulométricas están dentro del intervalo que rige la norma y por ende sus propiedades físicas también cumple con estas.

## Referencias

1. ASTM C117. (2020). Standard Test Method for Materials Finer than 75- $\mu\text{m}$  (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing. West Conshohocken: ASTM International. doi:10.1520/C0117-17
2. ASTM C128. (2023). Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate. West Conshohocken: ASTM International. doi:10.1520/C0128-22
3. ASTM C136. (2020). Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. West Conshohocken: ASTM International. doi:10.1520/C0136\_C0136M-19
4. ASTM D1557. (2021). Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft<sup>3</sup> (2,700 kN-m/m<sup>3</sup>

5. ASTM D1883. (2021). Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils. West Conshohocken: ASTM International. doi:10.1520/D1883-21
6. ASTM D2216. (2019). Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass. West Conshohocken: ASTM International. doi:10.1520/D2216-19
7. ASTM D3282. (2016). Standard Practice for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes. West Conshohocken: ASTM International. doi:10.1520/D3282-15
8. ASTM D4318. (2018). Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils. West Conshohocken: ASTM International. doi:10.1520/D4318-17E01
9. Cambou, B. (1998). Behaviour of Granular Materials (Vol. 385). (S. Vienna, Ed.) New York: Springer-Verlag Wien. doi:<https://doi.org/10.1007/978-3-7091-2526-7>
10. Carvajal De La Rosa, E. F., & Pozo Tomalá, D. Á. (2019). Estudio de suelo, estabilización del material granular existente con cemento MH y diseño de pavimento flexible en las calles del sector La Milina, parroquia José Luís Tamayo, cantón Salinas, provincia de Santa Elena. Repositorio DSpace, La Libertad. Obtenido de <http://repositorio.upse.edu.ec:8080/jspui/handle/46000/4767>
11. Cedeño Cedeño, H. E., Chávez Chon Long, J. E., Macías Sánchez, L. K., & Ortiz Hernández, E. H. (2022). Combinación de mezclas de agregados gruesos y finos pertenecientes a la Cantera Uruzca para diferentes resistencias de hormigón. Revista Científica INGENIAR, 5(9 Ed. esp.), 23-28. doi:<https://doi.org/10.46296/ig.v5i9edespfeb.0055>
12. Holcim Ecuador S.A. (n.d.). (2023). HOLCIM Ecuador. Obtenido de <https://www.holcim.com.ec/base-vial>

13. Ilham Akbar, H., Surojo, E., Ariawan, D., Rio Prabowo, A., & Imanullah, F. (2021). Fabrication of AA6061-sea sand composite and analysis of its properties. *Heliyon*, 7(8). doi:<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07770>
14. Jian, G., Jun, L., & Liang, C. (2019). Shear behaviors of granular mixtures of gravel-shaped coarse and spherical fine particles investigated via discrete element method. *Powder Technology*, Volume 353, Pages 178-194. doi:<https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.05.016>
15. Kasper-Zubillaga, J., Carranza-Edwards, A., & Morales-De la Garza, E. (2007). Caracterización textural de la arena de playa del Golfo de California, México: Implicaciones para los procesos costeros y el relieve. *Ciencias Marinas*(1), 83-94. doi:<https://doi.org/10.7773/cm.v33i1.1018>
16. Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2002). Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes (MTOPT 001-F-2002). Obtenido de [https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/01/MPR\\_Chimborazo\\_Cumanda\\_Especificaciones-Tecnicas-MOP-001-F-2002.pdf](https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/01/MPR_Chimborazo_Cumanda_Especificaciones-Tecnicas-MOP-001-F-2002.pdf)
17. NTE INEN 691. (1982). DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO MÉTODO DE CASA GRANDE. Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/691.pdf>
18. NTE INEN 692. (1982). DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO. Obtenido de [https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte\\_inen\\_692.pdf](https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_692.pdf)
19. NTE INEN 696. (2011). ÁRIDOS. ANÁLISIS GRANOLUMÉTRICO EN LOS ÁRIDOS, FINO Y GRUESO. Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/696.pdf>
20. NTE INEN 697. (2010). ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DEL MATERIAL MÁS FINO QUE PASA EL TAMIZ CON ABERTURAS DE 75  $\mu\text{m}$  (No. 200), MEDIANTE LAVADO. Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/697-1.pdf>
21. Rodríguez Rincón, E., Rondón Quintana, H. A., Vélez Pinzón, D. M., & Aguirre Aguirre, L. C. (2006). Influencia de la inclusión de desecho de PVC sobre el CBR de un material

- granular tipo subbase. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, 5(9), 21-30. Obtenido de <https://revistas.udem.edu.co/index.php/ingenierias/article/view/232>
22. Sebastian David Lascano, L. A. (2010). Mejoramiento de la capacidad portante del CBR de una subbase granular con material proveniente de la provincia de Esmeraldas por medio de la adición de desechos PVC. [Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Repositorio de Tesis de Grado y Posgrado., Quito. Obtenido de <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/2662>
23. Shen, J., Wang, X., Cui, J., & Zhu, C. (2022). Shear characteristics of calcareous gravelly sand considering particle breakage. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 81(130). doi:10.1007/s10064-022-02603-4
24. Zambrano Meza, M. I., & Tejada Piusseaut, E. (2019). Materiales granulares tratados con emulsión asfáltica para su empleo en bases o subbases de pavimentos flexibles. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 13(3), 1-11. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193961007002>
25. Zambrano Meza, M. I., Tejada Piusseaut, E., & Alonso Aaenlle , A. (2020). Materiales granulares mejorados con emulsión asfáltica catiónica para subbases de pavimentos. *Infraestructura Vial*, 22(39), 29-42. doi:10.15517/iv.v22i39.41574