

# 5

## *Efecto En La Resistencia A CBR De Un Material Granular Por La Contaminación Con Un Suelo Arcilloso*

*Effect On The CBR Resistance Of A Granular  
Material Due To Contamination With A Clay  
Soil*

### **Autores**

**Aida Ivanna Maldonado López**

Estudiante de la carrera de Ingeniería Civil, Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Portoviejo, Manabí, Ecuador,

[amaldonado5756@utm.edu.ec](mailto:amaldonado5756@utm.edu.ec) ; <https://orcid.org/0009-0007-5058-5421>

**Carla Gisell Sandoval Arteaga**

Estudiante de la carrera de Ingeniería Civil, Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Portoviejo, Manabí, Ecuador,

[csandoval5947@utm.edu.ec](mailto:csandoval5947@utm.edu.ec) ; <https://orcid.org/0009-0006-6630-6274>

**Eduardo Tejeda Piusseaut**

Ingeniero Civil, Docente en Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Portoviejo, Manabí, Ecuador,

[eduardo.tejeda@utm.edu.ec](mailto:eduardo.tejeda@utm.edu.ec) ; <https://orcid.org/0000-0002-0589-9989>

# 5

## Efecto En La Resistencia A CBR De Un Material Granular Por La Contaminación Con Un Suelo Arcilloso

### RESUMEN

La presencia de suelos cohesivos, especialmente los de alta plasticidad, impacta negativamente las propiedades mecánicas de materiales granulares, lo que pone en riesgo la estabilidad y durabilidad de las estructuras viales. El material granular estudiado fue sometido a ensayos físicos y mecánicos, confirmando su idoneidad para su uso en subbases. Se verificó que es no plástico, con un límite líquido inferior al 25 % y un CBR superior al 30 %. Como contaminante, se empleó un suelo limo-arcilloso de alta plasticidad, clasificado según la metodología AASHTO como tipo A-7-6, caracterizado por su bajo valor de CBR y elevada plasticidad. La metodología implicó mezclar el material granular con distintas proporciones de suelo cohesivo y evaluar su resistencia mediante pruebas de CBR. Los resultados evidenciaron que el incremento del suelo cohesivo en las mezclas aumenta la cantidad de partículas finas retenidas en el tamiz No. 40 y, en consecuencia, la plasticidad del material. Esto ocasiona una disminución significativa en los valores de CBR, lo que implica una pérdida de capacidad de soporte. En conclusión, la contaminación por suelos cohesivos, especialmente aquellos con alta plasticidad, reduce la capacidad de carga de los materiales granulares, afectando la durabilidad de los pavimentos. Por tanto, es esencial controlar dicha contaminación para garantizar el buen desempeño de las capas estructurales.

**Palabras claves:** contaminación de materiales granulares, materiales de bases y subbases, pavimentos asfálticos, resistencia a CBR

### ABSTRACT

The presence of cohesive soils, especially those with high plasticity, negatively impacts the mechanical properties of granular materials, posing a risk to the stability and durability of road structures. The studied granular material was subjected to physical and mechanical tests, confirming its suitability for use in subbases. It was verified to be non-plastic, with a liquid limit below 25% and a CBR value above 30%. As a contaminant, a high-plasticity silty clay soil was used, classified according to the AASHTO methodology as type A-7-6, characterized by its low CBR value and high plasticity. The methodology involved mixing the granular material with different proportions of cohesive soil and evaluating its strength through CBR tests. Two contamination levels were established, varying the amount of cohesive soil as the independent variable and considering the CBR value as the dependent variable. The results showed that increasing the proportion of cohesive soil in the mixtures raises the amount of fine particles retained on the No. 40 sieve, thereby increasing the material's plasticity. This leads to a significant reduction in CBR values, implying a loss in load-bearing capacity. In conclusion, contamination by cohesive soils, particularly those with high plasticity, reduces the load-bearing capacity of granular materials, affecting pavement durability. Therefore, it is essential to control such contamination to ensure the proper performance of structural layers.

**Keywords:** asphalt pavements, base and subbase materials, CBR resistance, contamination of granular materials

**Nota Editorial: Recibido: Noviembre 2024 Aceptado: Febrero 2025**

## 1. INTRODUCCIÓN

Los materiales contaminantes en pavimentos son aquellos que, al mezclarse o infiltrarse en los materiales de construcción, alteran negativamente sus propiedades físicas y mecánicas. Estos contaminantes pueden afectar la capacidad de soporte, la durabilidad y el comportamiento de las capas de pavimento, lo que puede resultar en fallos prematuros o en la necesidad de un mantenimiento más frecuente [1].

Entre los contaminantes se incluyen materiales orgánicos como restos vegetales, raíces y otros residuos biológicos, que, al descomponerse, debilitan la estructura del material granular [2]. Otros contaminantes, como polvo, arenas muy finas o materiales que no cumplen con las especificaciones granulométricas, pueden reducir la capacidad de carga y drenaje [3]. Asimismo, residuos de aceites, combustibles o productos químicos industriales pueden comprometer la cohesión, durabilidad y resistencia del material granular. Aunque el agua no es un contaminante por sí misma, su presencia excesiva puede transportar contaminantes o causar problemas de compactación y estabilidad [4].

Sin embargo, el contaminante más común que afecta a los materiales triturados, especialmente los producidos en cantera, son las partículas finas, como arcillas y limos en exceso, que interfieren significativamente con la cohesión y estabilidad de los agregados en la capa base. Las arcillas y limos como contaminantes de los materiales granulares pueden tener varias consecuencias negativas, según López et al. [5], algunas son:

- Reducción de resistencia: la presencia de estas partículas puede disminuir la resistencia del material granular, afectando su capacidad para soportar cargas de tráfico y provocando mayores deformaciones bajo carga, lo que genera asentamientos no deseados en la estructura del pavimento.
- Hinchamiento y contracción: la arcilla en presencia de agua puede hincharse, y al secarse, contraerse, lo que resulta en fisuras y pérdida de integridad estructural.
- Dificultades en el drenaje: los materiales finos y arcillosos pueden dificultar el drenaje al reducir la permeabilidad del material granular, aumentando la susceptibilidad al daño por acumulación de agua. La retención de humedad debido a la presencia de arcilla puede mantener el material granular en un estado de saturación, disminuyendo su capacidad de soporte.
- Complicaciones en la compactación: la presencia de materiales arcillosos puede dificultar la compactación, impidiendo que se alcance la densidad y cohesión necesarias para una base sólida. Esto puede causar variaciones en la densidad del tramo compactado, resultando en una base no uniforme y susceptible a fallos localizados.
- Disminución de la calidad del material: la presencia de estos contaminantes reduce la calidad del material granular, acelerando el proceso de fatiga bajo cargas repetidas de tráfico, disminuyendo la vida útil del pavimento, y debilitando la unión entre partículas, lo que facilita la formación y propagación de fisuras en la capa base.
- Deterioro acelerado del pavimento: los efectos acumulativos de estos contaminantes pueden llevar a un deterioro más rápido del pavimento, requiriendo reparaciones y mantenimientos más frecuentes y costosos.

Estos efectos destacan la importancia de controlar la calidad del material granular utilizado en la capa base de los pavimentos, asegurándose de que esté libre de contaminantes para garantizar un comportamiento óptimo y una mayor vida útil de la estructura. Por ello, para asegurar la durabilidad y el desempeño adecuado de los pavimentos asfálticos, los materiales de base y subbase deben cumplir con especificaciones técnicas estrictas, conforme a lo establecido por la Norma del Ministerio de Transporte y Obras Públicas NEVI-12- MTOP, que define los requisitos mínimos que deben cumplir estos materiales para asegurar la calidad de las infraestructuras viales [6].

El uso de materiales granulares en capas de pavimentos es clave para garantizar la capacidad de carga y durabilidad de las vías. Sin embargo, la contaminación con suelos arcillosos puede afectar sus propiedades físicas y químicas, reduciendo su compactación, estabilidad y resistencia, medida mediante el ensayo CBR. Como caso de estudio, se analiza un material granular triturado mezclado con distintos porcentajes de suelo limo-arcilloso de alta plasticidad, evaluando el impacto de esta contaminación en su resistencia CBR tras ser sometido a inmersión.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2. 1. Caracterización Del Material Granular

Zapata et al. definen un pavimento como una estructura compuesta por diversas capas granulares y una capa de rodadura, que se apoya sobre la subrasante [7]. Los pavimentos flexibles se caracterizan por una capa asfáltica que descansa sobre capas granulares de menor rigidez. Estas capas disipan los esfuerzos generados por el tránsito, transmitiéndolos a la subrasante, la cual debe poseer una capacidad mecánica suficiente para evitar deformaciones que afecten la durabilidad y funcionalidad de la vía. Además, las capas deben resistir las influencias ambientales para garantizar el desempeño adecuado del pavimento [8].

La capa de base, ubicada directamente bajo la capa asfáltica, tiene como función distribuir los esfuerzos hacia las capas inferiores, facilitando una transición controlada de las cargas hasta la subrasante. Está compuesta por materiales granulares como piedra triturada, grava, arena y suelo natural, cuyas propiedades, como la gradación, densidad relativa, fricción interna y cohesión, determinan su estabilidad. La forma y el contenido de finos en el material de base juegan un papel clave en su comportamiento estructural [9].

Por su parte, la capa de subbase se construye con materiales más económicos que los utilizados en las capas superiores, y su principal función es facilitar el drenaje del agua que pueda infiltrarse por la superficie o ascender por capilaridad [8]. Además, proporciona un soporte adecuado para distribuir las cargas que se transmiten desde las capas superiores. La subrasante, puede consistir en el terreno natural, aunque en algunos casos requiere estabilización para mejorar sus características y garantizar su capacidad de soportar las cargas sin sufrir deformaciones [10].

Para asegurar el buen desempeño de los materiales granulares, es fundamental que estos cumplan con las especificaciones de gradación y calidad establecidas por normas como AASHTO T-27 y T-11. Entre los requisitos claves se incluyen la calidad y el comportamiento adecuado de los materiales utilizados en cada capa del pavimento, lo que contribuye a la longevidad y funcionalidad de la estructura [6].

El conjunto de requisitos establecidos para los materiales de base y de subbases de los pavimentos, asegura la calidad y el desempeño adecuado de estos materiales, contribuyendo a la durabilidad y funcionalidad de la estructura.

En la Figura 1 se presenta la distribución granulométrica del material granular seleccionado para la investigación, obtenida a partir de ensayos realizados según las normas INEN 696 y 697 (equivalentes a AASHTO T-11 y T-27). Este material fue elegido debido a su pureza, índice de plasticidad, desgaste por abrasión, tamaño de partículas, equivalente de arena y material de relleno adicional.

En la gráfica se compara la granulometría del material con el huso granulométrico de la Clase 1-A, observándose que los porcentajes de material que pasan por cada tamiz cumplen con estas especificaciones, aunque se encuentran cercanos a los límites superiores establecidos.

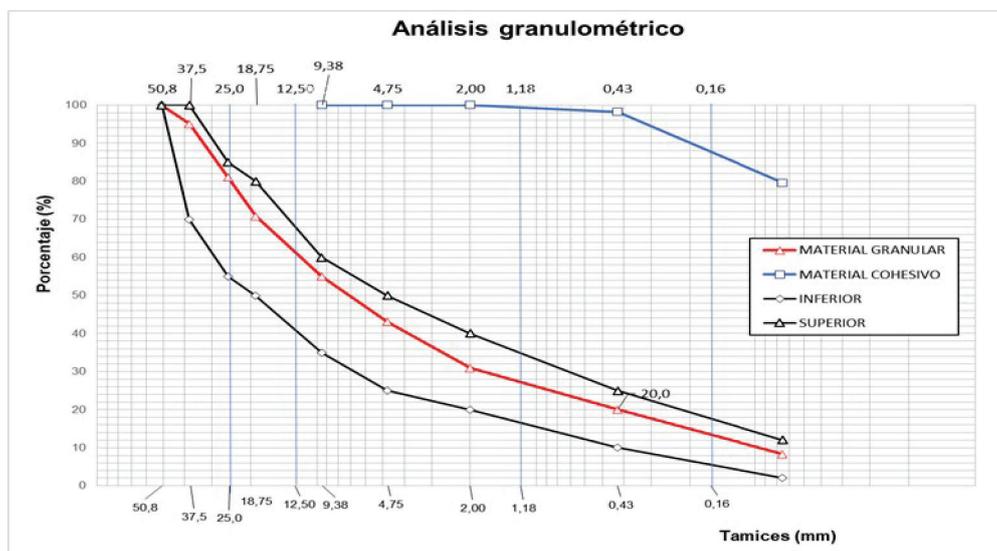
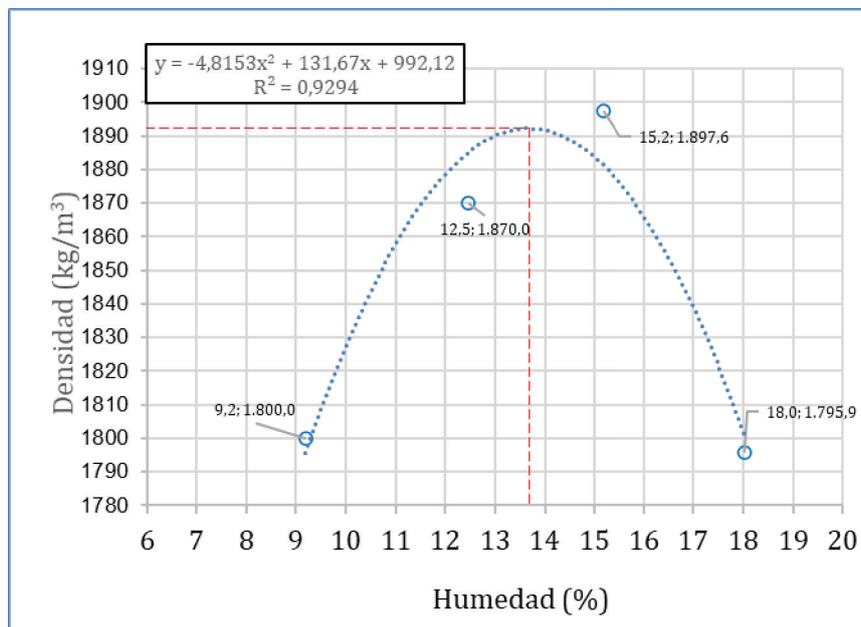


Figura 1. Ensayo de granulometría del material granular, con la norma AASTHO T-88

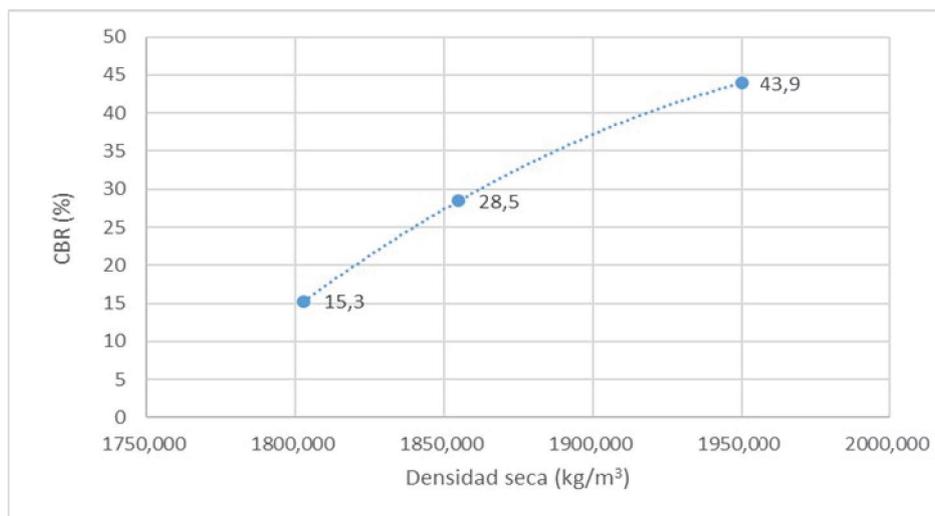
A través de los ensayos realizados, se determinó que el material presenta un comportamiento no plástico, dado que el límite líquido es inferior al 25 % y el índice de plasticidad es menor a 6 %.

En la Figura 2 se presentan los resultados del ensayo de compactación Proctor modificado. Los resultados muestran una densidad seca máxima de 1892,2 kg/m<sup>3</sup> y un contenido de humedad óptimo del 13,7%.

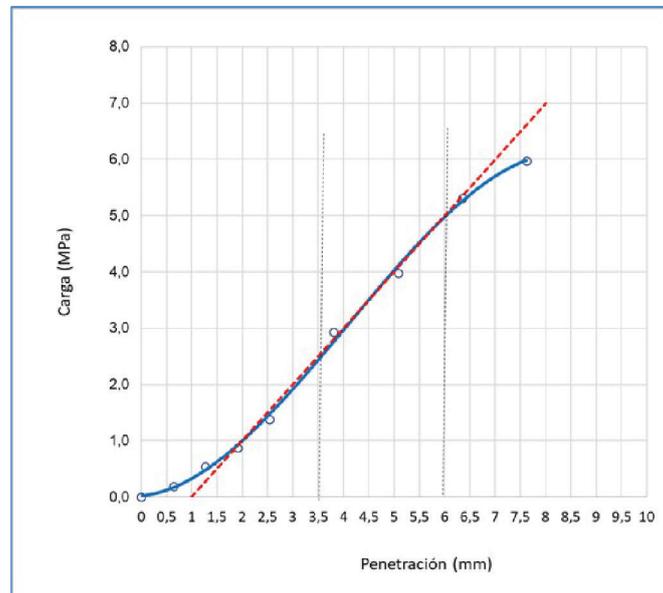


**Figura 2.** Gráfico del ensayo Proctor, realizado con la energía del Proctor Modificado

El ensayo CBR del material se realizó conforme a la norma AASHTO T-193, aplicando tres niveles de energía diferentes al variar el número de golpes por capa: 61 golpes por capa para simular la energía del Proctor Modificado, 27 golpes para una energía Intermedia y 25 golpes para la energía Estándar. Todas las muestras se compactaron utilizando el contenido de humedad óptimo obtenido en el ensayo Modificado, que es del 13,7 %. Los resultados se presentan en la Figura 3, donde se observa que los valores de resistencia a CBR son superiores al especificado por el MTOP para una capa de subbase, con el material compactado al 100% del ensayo Proctor Modificado.



**Figura 3.** Variación del CBR con la densidad seca para muestras preparadas con la humedad óptima del ensayo Modificado



**Figura 4.** Gráfico de Carga (MPa) vs Penetración (mm) obtenido del ensayo de CBR saturado para el material granular

La Figura 4 muestra el gráfico de carga versus penetración obtenido en el ensayo de CBR, específicamente en la modalidad de CBR tras inmersión por cuatro días, que simula las condiciones de diseño para una capa de base o subbase. En general, este ensayo produce una curva ascendente que inicia en el origen, con una concavidad hacia abajo, hasta alcanzar una leve disminución de la pendiente. Esto indica que el pistón requiere una carga menor para continuar su avance en la penetración. Sin embargo, el gráfico obtenido muestra inicialmente un cambio en la concavidad, evidenciando que la penetración progresa sin un aumento significativo en la carga aplicada.

Para interpretar correctamente los resultados se definieron las cargas correspondientes a las penetraciones de 2,54 mm y 5,08 mm del pistón. Esta corrección consiste en trasladar el origen del eje de penetración mediante el trazo de una línea recta que coincida con la sección más lineal del gráfico, la cual se extiende hasta el eje de las ordenadas (x) para establecer un nuevo punto de origen.

Con las mediciones ajustadas, se obtuvo que la carga necesaria para alcanzar una penetración de 2,54 mm es de 1373,69 kN/m<sup>2</sup>, y para 5,08 mm es de 3976,78 kN/m<sup>2</sup>, resultando en valores de CBR del 36,2 % y 48,5 % respectivamente. Así, el valor de CBR representativo para el material granular en condiciones de inmersión, y al 100 % de la densidad máxima del Proctor Modificado, es del 48,5%.

## 2.2. Caracterización Del Suelo Limo-Arcilloso

El suelo se define como un agregado no cementado de granos minerales, con cierto contenido de materia orgánica en estado de descomposición. Los suelos también contienen líquidos y gases que ocupan los espacios vacíos entre las partículas sólidas [11].

La cohesión, definida como la atracción entre moléculas en partículas del suelo, es la principal característica que distingue a los suelos arcillosos [12]. Según Molina [13], este tipo de suelo es típico de zonas cálidas y húmedas (tropicales), donde la evapotranspiración supera a la precipitación, aunque también puede encontrarse en áreas frías o secas. Chen et al., [14] afirman que un suelo con al menos un 20% de material arcilloso y un contenido adecuado de humedad se comporta como cohesivo.

Desde el punto de vista químico, los suelos limo arcillosos presentan un alto contenido de materia orgánica y una considerable capacidad de intercambio catiónico (CIC), lo que permite una mayor disponibilidad de nutrientes esenciales para las plantas. Sin embargo, su manejo puede ser complicado debido a su tendencia a la compactación y la formación de costras superficiales cuando se secan, lo que limita la infiltración de agua y el intercambio gaseoso [15]. Por ello, estos suelos requieren prácticas de manejo específicas para evitar problemas de compactación y erosión.

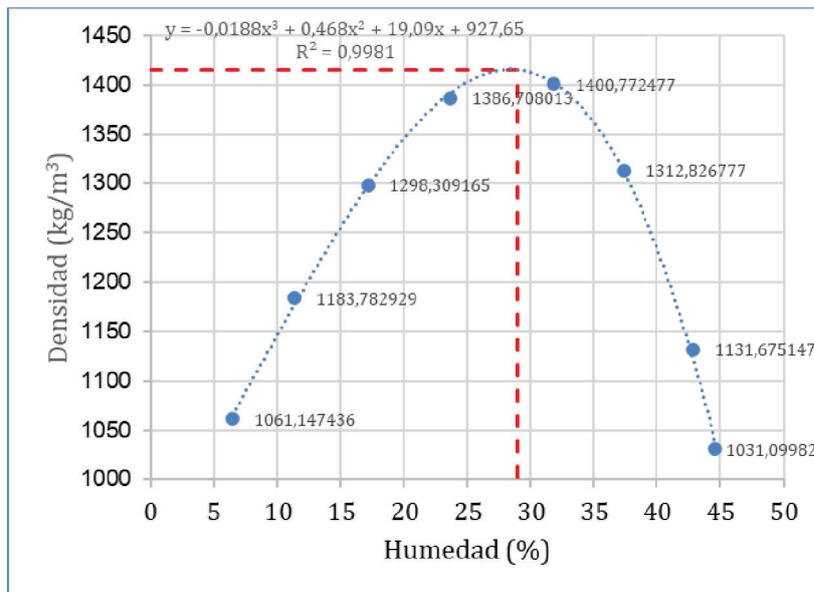
En la tabla 1 se muestra el resultado del análisis granulométrico efectuado al suelo cohesivo. Este suelo presenta un porcentaje pasado por el tamiz No. 200 igual a 79% por, lo que se puede clasificar como un material limo-arcilloso, según el Sistema de clasificación AASTHO, ya que se supera el 35%. Presenta además un elevado porcentaje de partículas que son menores al tamiz No. 40, por lo que es obvio que prácticamente todo el material interviene en la plasticidad del suelo.

**Tabla 1.** Resultados el análisis granulométrico del suelo cohesivo

| Tamices | Peso retenido parcial (g) | Peso retenido acumulado (g) | % Retenido | % Pasado |
|---------|---------------------------|-----------------------------|------------|----------|
| N°4     | -                         |                             |            |          |
| N°10    | 0                         | 0                           | 0          | 100      |
| N°40    | 5,16                      | 5,16                        | 1,81       | 98,19    |
| N°200   | 55,13                     | 60,29                       | 21,18      | 78,82    |

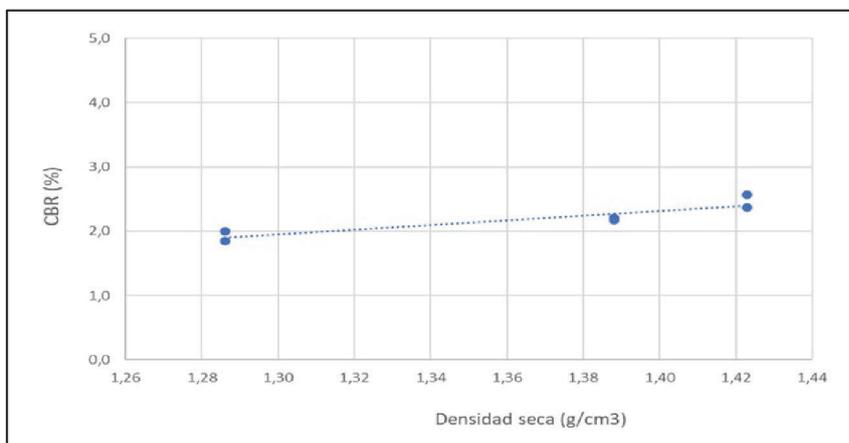
Los ensayos de los límites de consistencia realizados al suelo dieron como resultado un límite líquido (LL) de 78% y un límite plástico (LP) de 26,72%. El Índice de plasticidad (IP) es elevado, igual a 51,28%. Como el IP es mayor que la diferencia entre el LL-30, el suelo puede clasificarse dentro del subgrupo A-7-6.

La Figura 5 muestra los resultados obtenidos del ensayo de compactación realizado sobre el suelo, empleando la energía correspondiente al Proctor Modificado. Los resultados muestran una densidad seca máxima de 1415 kg/m<sup>3</sup> y un contenido de humedad óptimo del 29%.



**Figura 5.** Gráfico del ensayo Proctor Modificado.

Se aplicó también el ensayo CBR al suelo conforme a la norma AASHTO T-193, utilizando tres niveles de energía al variar el número de golpes por capa. De igual manera, las muestras fueron compactadas con el contenido de humedad óptimo obtenido en el ensayo Modificado, que para el suelo es del 29%. Los resultados se presentan en la Figura 6, donde se observa que los valores de resistencia CBR son muy bajos en condiciones de saturación, tras mantener las muestras en inmersión durante cuatro días. Los resultados de la prueba demuestran que la densidad seca ejerce una influencia mínima en el aumento de resistencia, dado que se obtuvieron valores muy similares en las mediciones realizadas.



**Figura 6.** Variación del CBR con la densidad seca para muestras del suelo preparadas con la humedad óptima del ensayo Modificado

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

La Tabla 2 presenta la granulometría del material granular, del suelo cohesivo y de las mezclas obtenidas al combinar ambos en dos proporciones distintas: a) con un 5% de material cohesivo y b) con un 3% de material cohesivo. En la tabla, la mezcla a) se identifica como 95-5 y la mezcla b) como 97-3.

**Tabla 2.** Granulometría de los materiales: granular, cohesivo y las mezclas de ambos

| TAMIZ #  | TAMIZ (mm) | MATERIAL GRANULAR | MATERIAL COHESIVO | MATERIAL GRANULAR |     | 95          | 97          |
|----------|------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----|-------------|-------------|
|          |            |                   |                   | SUELO COHESIVO    |     | 5           | 3           |
|          |            |                   |                   | Tipo A            |     | MEZCLA 95-5 | MEZCLA 97-3 |
| INFERIOR | SUPERIOR   |                   |                   |                   |     |             |             |
| 2"       | 50,8       | 100,0             | 100,0             | 100               | 100 | 100         | 100         |
| 1 1/2"   | 38,1       | 95,0              | 100,0             | 70                | 100 | 95          | 95          |
| 1"       | 25,4       | 81,0              | 100,0             | 55                | 85  | 82          | 82          |
| 3/4"     | 19,0       | 70,8              | 100,0             | 50                | 80  | 72          | 72          |
| 3/8"     | 9,50       | 55,0              | 100,0             | 35                | 60  | 57          | 56          |
| No. 4    | 4,76       | 43,0              | 100,0             | 25                | 50  | 46          | 45          |
| No. 10   | 2,00       | 30,9              | 100,0             | 20                | 40  | 34          | 33          |
| No. 40   | 0,43       | 20,0              | 98,3              | 10                | 25  | 24          | 22          |
| No. 200  | 0,075      | 8,3               | 79,6              | 2                 | 12  | 12          | 10          |

Los límites de consistencia se determinan en función del contenido de material que pasa por el tamiz No. 40, por lo que es fundamental analizar este porcentaje para evaluar cómo esta fracción afecta los resultados de la mezcla. Como se observa en la tabla 2, el material granular tiene solo un 20% de partículas que pasan por el tamiz No. 40, mientras que en el suelo cohesivo este valor es del 98,3%, es decir, casi la totalidad del material es menor a este tamaño. Así, al agregar un 5% de suelo cohesivo al material granular, el porcentaje de material pasado por el tamiz No. 40 en la mezcla apenas varía, alcanzando un 24%. Con una adición del 3% de suelo cohesivo, este porcentaje se reduce ligeramente al 22%. Esto indica que la incorporación de suelo cohesivo en el material granular debe influir significativamente en la plasticidad de la mezcla.

La tabla 3 contiene el resultado de los cálculos de los límites de consistencia para las mezclas formadas con el material granular y el 5% y 3% de suelo cohesivo añadido. El material granular es no plástico (NP) por lo que no aporta plasticidad en las mezclas, mientras que el material cohesivo tiene una alta plasticidad, con un IP del 50,9%.

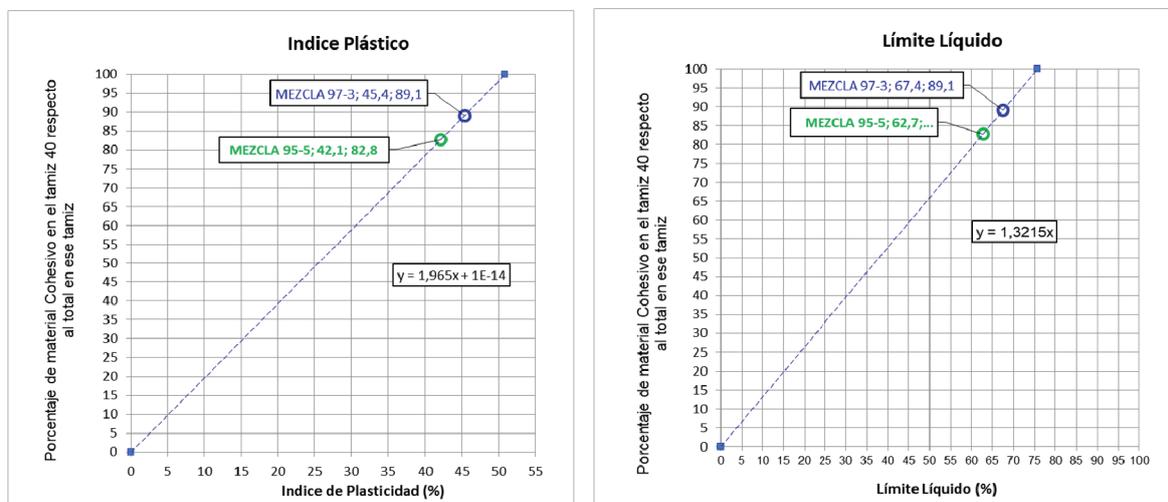
Conociendo la contribución de cada material al tamiz No. 40 y los resultados del Límite Líquido y Límite Plástico, es posible estimar los valores correspondientes en las mezclas. Por ejemplo, al incorporar un 5% de suelo cohesivo al material granular, en una mezcla total de 1000 g, esta estará compuesta por 950 g de material granular y 50 g de suelo cohesivo. Dado que el material granular presenta un paso de partículas del 24,9% por el tamiz No. 40, su contribución específica será de 236,6 g. Por otro lado, el suelo cohesivo, con un porcentaje pasado del 98,3%, aportará 49,1 g a dicho tamiz. Al expresar estos aportes en términos porcentuales, se obtiene que el material granular contribuye con un 82,8% y el suelo cohesivo con un 17,2% en el tamiz No. 40. De manera similar, se pueden calcular los aportes porcentuales en una mezcla que contenga un 97% de material granular y un 3% de suelo cohesivo. Este procedimiento permite predecir cómo cada componente influye en las propiedades de la mezcla, especialmente en lo referente a los límites de consistencia y el comportamiento del material ante diferentes condiciones.

Los resultados de la incorporación del suelo cohesivo al material granular son los siguientes: para la mezcla 95%-5%, el Límite Líquido es de 62,7% y el Índice Plástico es de 42,1%; mientras que para la mezcla 97%-3%, el Límite Líquido es de 67,4% y el Índice Plástico es de 45,4%. Por lo tanto, aunque ambas mezclas poseen un alto porcentaje de material granular, el suelo cohesivo tiene un efecto significativo en el comportamiento de la mezcla, reduciendo de manera sustancial la resistencia del material granular (Tabla 3).

**Tabla 3. Límite Líquido e Índice Plástico de las mezclas**

| Mezcla 97-3       |    |      |      |            |                    |       |      |           |            |      |           |            |      |
|-------------------|----|------|------|------------|--------------------|-------|------|-----------|------------|------|-----------|------------|------|
|                   | %  | IP   | LL   | % Tamiz 40 | En 100 g de mezcla | g     | En % | Pendiente | Intercepto | IP   | Pendiente | Intercepto | IP   |
| Material Granular | 97 | 0,0  | 0,0  | 24,9       | 970                | 241,6 | 89,1 | 1,97      | 0          | 45,4 | 1,32      | 0          | 67,4 |
| Material Cohesivo | 3  | 50,9 | 75,7 | 98,3       | 30                 | 29,5  | 10,9 |           |            |      |           |            |      |
| <b>Total</b>      |    |      |      |            | 1000               | 271,1 | 100  |           |            |      |           |            |      |
| Mezcla 95-5       |    |      |      |            |                    |       |      |           |            |      |           |            |      |
|                   | %  | IP   | LL   | % Tamiz 40 | En 100 g de mezcla | g     | En % | Pendiente | Intercepto | IP   | Pendiente | Intercepto | IP   |
| Material Granular | 95 | 0,0  | 0,0  | 24,9       | 950                | 236,6 | 82,8 | 1,97      | 0          | 42,1 | 1,32      | 0          | 62,7 |
| Material Cohesivo | 5  | 50,9 | 75,7 | 98,3       | 50                 | 49,1  | 17,2 |           |            |      |           |            |      |
| <b>Total</b>      |    |      |      |            | 1000               | 285,8 | 100  |           |            |      |           |            |      |

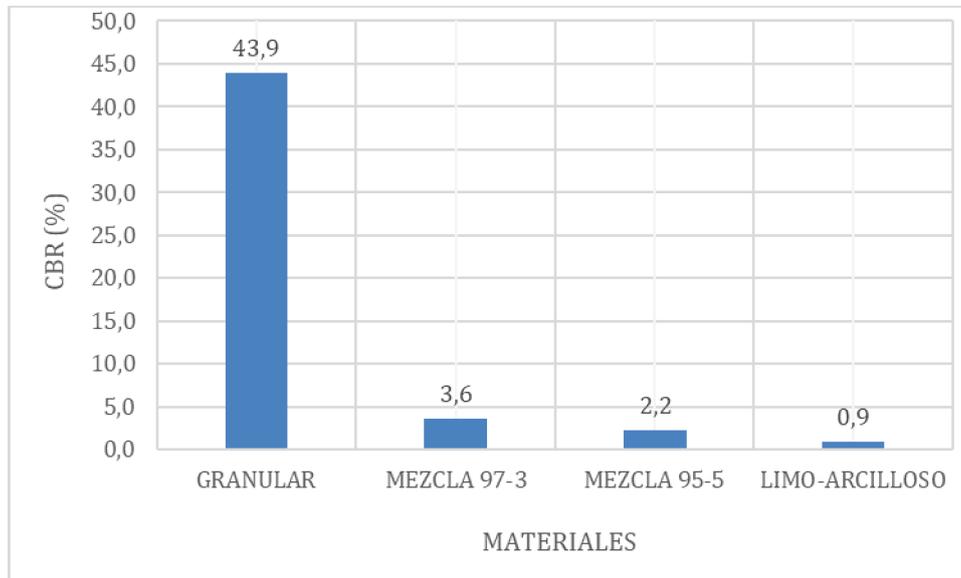
Para facilitar la comprensión de los resultados de las mezclas, se han elaborado los gráficos de la Figura 7.



**Figura 7. Gráficos del límite líquido e Índice Plástico de las mezclas.**

En el eje de las abscisas (x) se presentan los valores del Índice de Plasticidad y del Límite Líquido, mientras que en el eje de las ordenadas (y) se muestran los porcentajes de material granular en la mezcla, los cuales van desde el valor mínimo, correspondiente al material granular, hasta el máximo, que representa el suelo cohesivo. Estos gráficos ilustran las variaciones en el Límite Líquido y el Índice de Plasticidad de las mezclas, a medida que aumenta el porcentaje de material granular que pasa por el tamiz No. 40 y disminuye el porcentaje de suelo cohesivo en dicho tamiz, lo que tiende a provocar cambios significativos en las propiedades de consistencia del suelo.

El gráfico de la Figura 8 muestra los resultados del CBR tanto para los materiales originales (granular y cohesivo) como para las mezclas de ambos.



**Figura 8.** Resumen de los resultados del CBR de los materiales.

Se observa que el material granular con un CBR inicial del 44%, incorporando pequeñas cantidades de suelo limo-arcilloso, el cual posee solo un 1% de CBR, después de cuatro días de inmersión, reduce notablemente su resistencia. Incluso con porcentajes bajos de suelo cohesivo (3% y 5%), la resistencia del material granular disminuye de forma significativa. Esto indica que la posible contaminación de un suelo granular con un suelo de alta plasticidad, como el utilizado en estas pruebas, puede causar importantes reducciones en resistencia y en el comportamiento del material frente a los efectos de la humedad.

#### 4. CONCLUSIONES

Los análisis granulométricos y los ensayos de límites de consistencia mostraron que el suelo cohesivo, utilizado para contaminar al material granular, tiene un índice de plasticidad elevado y un alto contenido de partículas finas (fracción que pasa por el tamiz N° 40). Estas características incrementan la susceptibilidad a la deformación y reducen la estabilidad del material granular, disminuyendo así su resistencia a CBR y su capacidad para soportar cargas vehiculares.

La incorporación de pequeñas proporciones (3% a 5%) de suelo cohesivo de alta plasticidad, clasificado como limo-arcilloso (A-7-6 según AASHTO), provocó una disminución significativa en los valores de resistencia CBR del material granular. Esta pérdida de capacidad portante evidencia que la presencia de suelos cohesivos compromete la resistencia estructural de las capas de pavimento, especialmente bajo condiciones de humedad.

La disminución en la resistencia CBR del material granular contaminado pone de manifiesto la importancia de asegurar que los materiales empleados en las capas de pavimento cumplan con los estándares de gradación y calidad establecidos. Prevenir la incorporación de suelos cohesivos es crucial para garantizar la durabilidad de la infraestructura vial y preservar la capacidad estructural del pavimento frente a las cargas del tránsito y las condiciones ambientales adversas.

- [1] J. O. Bendezu-Ibazeta and J. L. Neyra-Torres, "Aplicación de materiales contaminantes para potenciar la estabilización de suelos, Lima - 2023," 2023. doi: 10.18687/leird2023.1.1.460.
- [2] H. A. Van Der Sloot, R. N. J. Comans, and O. Hjelmar, "Similarities in the leaching behaviour of trace contaminants from waste, stabilized waste, construction materials and soils," *Science of the Total Environment*, vol. 178, no. 1–3, 1996, doi: 10.1016/0048-9697(95)04803-0.
- [3] S. Pallewatta, M. Weerasooriyagedara, S. Bordoloi, A. K. Sarmah, and M. Vithanage, "Reprocessed construction and demolition waste as an adsorbent: An appraisal," 2023. doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.163340.
- [4] M. Bortali, M. Rabouli, M. Yessari, and A. Hajjaji, "Assessment of harbor sediment contamination for a path to valorize dredged material," *Arabian Journal of Chemistry*, vol. 16, no. 11, 2023, doi: 10.1016/j.arabjc.2023.105208.
- [5] C. López-Niño, E. Guevara, V. León, and D. López-Hernández, "Arcillas expansivas del Norte de Venezuela: Caracterización mediante el uso de los límites de Atterberg, índices de consistencia y ensayos de expansión," *Obras y Proyectos*, no. 34, 2023, doi: 10.21703/0718-2813.2023.34.2451.
- [6] (MTO) Ministerio de Transporte y Obras Públicas, "Norma ecuatoriana vial NEVI-12-MTOP Conservacion Vial," *Nevi-12 - Mtop*, vol. 6, 2013. [https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013\\_Manual\\_NEVI-12\\_VOLUMEN\\_6.pdf](https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013_Manual_NEVI-12_VOLUMEN_6.pdf)
- [7] I. Zapata Ferrero, J. Rivera, and G. Botasso Campagno, "Análisis del ciclo de vida en pavimentos: actualidad y perspectiva," *Ingenio Tecnológico*, ISSN-e 2618-4931, No. 3, 2021, no. 3, 2021. <https://portal.amelica.org/ameli/journal/266/2662024009/>
- [8] M. Sanchez, D. Pavon, and E. Tejada, "Propuesta de espesores mínimos de superficie y coeficientes de equivalencia de espesores para el diseño de pavimentos flexibles," *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, vol. 14, no. 2020, 2020. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7635753>
- [9] A. Montejo Fonseca, *Ingeniería de pavimentos*, Universidad Católica de Colombia Bogotá, ISBN 978-958-976179—3, 2006. [https://www.academia.edu/22782711/Ingenieria\\_de\\_pavimentos\\_Alfonso\\_Montejo\\_Fonseca](https://www.academia.edu/22782711/Ingenieria_de_pavimentos_Alfonso_Montejo_Fonseca)
- [10] E. A. Basante-Bolaños, M. A. Villacrés-Martínez, and L. G. Cruz-Velasco, "Simulación numérica 2D subrasantes de baja resistencia, estabilizadas con material granular de sobretamaño (rajón)," *Revista UIS Ingenierías*, vol. 20, no. 3, 2021, doi: 10.18273/revuin.v20n3-2021004.
- [11] B. M. Alejandra, "Influencia del cloruro de magnesio en comparación con el cloruro de calcio en la estabilización de suelos arcillosos para afirmados," UPN, 2017. <https://hdl.handle.net/11537/14071>
- [12] J. camilo Cordero Vargas, J. S. Manrique Paredes, and O. D. Moreno Quijano, "Influencia de las características físicas en el comportamiento mecánico de los suelos granulares," *INVENTUM*, vol. 17, no. 32, 2022, doi: 10.26620/uniminuto.inventum.17.32.2022.57-67.
- [13] A. Molina Villalobos, "Determinación de parámetros de resistencia efectivos para arcillas expansivas," *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, vol. 4, no. 3, 2023, doi: 10.56712/latam.v4i3.1174.
- [14] T. Chen, Y. Yuan, Y. Zhao, F. Rao, and S. Song, "Effect of layer charges on exfoliation of montmorillonite in aqueous solutions," *Colloids Surf A Physicochem Eng Asp*, vol. 548, 2018, doi: 10.1016/j.colsurfa.2018.03.066.
- [16] J. Wang et al., "Remote sensing of soil degradation: Progress and perspective," 2023. doi: 10.1016/j.iswcr.2023.03.002.