

Uso del Aceite Residual de Motor Diésel Para Mejorar las Propiedades Mecánicas de la Subrasante de un Pavimento

Using Residual Diesel Engine Oil to Improve the Mechanical Properties of a Pavement Subgrade

Didí Camacho  y Jhon Huamán 

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue evaluar el impacto de la adición de aceite residual de motor diésel en proporciones de 2%, 4%, 8% y 12% a muestras de suelo del Tramo Tablón – Perico (km 2+000), distrito de Chirinos, Provincia de San Ignacio, departamento de Cajamarca, para mejorar las propiedades mecánicas del suelo. La metodología abordó un enfoque experimental, mediante la realización de ensayos de laboratorio. Los resultados muestran que la incorporación de aceite residual de motor diésel mejoró las propiedades mecánicas del suelo. La adición del 12% presenta un impacto considerable en las variables evaluadas, mientras que la del 8% demuestra un efecto similar, con valores que no exhiben diferencias significativas, considerándose óptima, debido a su manejabilidad, aspecto económico y beneficios para su implementación en la subrasante. En conclusión, la aplicación de aceite residual de motor diésel representa una estrategia viable y optimizada para la estabilización de suelos en el contexto de subrasantes viales.

Palabras clave: Estabilización, Subrasante, Aceite Residual, CBR, Pavimento.

ABSTRACT

The objective of the research was to evaluate the impact of the addition of residual diesel engine oil in proportions of 2%, 4%, 8%, and 12% to soil samples of the Tablón - Perico section (km 2+000), district of Chirinos, Province of San Ignacio, department of Cajamarca, to improve the mechanical properties of the soil. The methodology used an experimental approach, through laboratory tests. The results show that the incorporation of residual diesel engine oil improves the mechanical properties of the soil. The addition of 12% presents a considerable impact on the evaluated variables, while that of 8% shows a similar effect, with values that do not show significant differences, being considered optimal, due to its manageability, economic aspect, and benefits for its implementation in the subgrade. In conclusion, the application of residual diesel engine oil represents a viable and optimized strategy for soil stabilization in the context of road subgrades.

Keywords: Stabilization, Subgrade, Residual Diesel, CBR, Pavement.

Recibido: 01/10/2023. Aceptado: 23/11/23

* Autor para correspondencia

1. Universidad Nacional de Jaén, Perú. Email: didi.camacho@est.unj.edu.pe

2. Universidad Nacional de Jaén, Perú. Email: jhon.huamán@est.unj.edu.pe

INTRODUCCIÓN

La construcción de pavimentos desempeña un papel crucial en el desarrollo de diversas actividades en los sectores industriales, que contribuyendo al progreso económico, social y cultural. Sin embargo, no todos los pavimentos mantienen su integridad a lo largo del tiempo, ya que muchos sufren asentamientos y deformaciones. Este conjunto de problemas se debe, en gran medida, a la baja calidad de los suelos que forman la subrasante de los pavimentos.

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014), a través del Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, establece que una subrasante inapropiada para la construcción de un pavimento se caracteriza por tener una capacidad de resistencia o capacidad de soporte del suelo inferior al 3% de su índice CBR. Además, se consideran otras propiedades como un alto índice de plasticidad, expansibilidad elevada, baja densidad natural y otras características que influyen en la resistencia del suelo. En casos de subrasantes no aptas, será necesario llevar a cabo un proceso de estabilización del suelo.

Para abordar la necesidad de mejorar las propiedades mecánicas de los suelos, se recurre a la estabilización, un proceso que utiliza productos químicos o sintéticos. Estas técnicas están establecidas en el Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sin embargo, para garantizar que los proyectos viales sean viables y no generen costos elevados, se sigue investigando nuevas alternativas de estabilización.

En este contexto, proponemos evaluar el efecto del aceite residual de motor diésel como una posible alternativa. Los aceites usados son una mezcla de hidrocarburos procedentes del petróleo, con restos de aditivos que se les añadieron para cumplir su función de lubricación. Además, pueden contener agua, disolventes y otros contaminantes adquiridos durante su uso (Arner, Barberán, & Mur, 2006). Investigaciones previas con objetivos diversos, abordando distintos tipos de suelos y diversas capas estructurales de pavimentos, han contribuido al corpus científico existente. Estas indagaciones han sido de utilidad como marco de referencia para contextualizar y analizar algunos de los resultados presentes. Orobio y Del Castillo (2020), se enfocó en la evaluación preliminar del comportamiento geotécnico de suelos finos de subrasante mediante la incorporación de aceite de motor usado (AMU). El AMU, siendo un residuo ambiental perjudicial, se mezcló en proporciones variables (4%, 8%, 12%, 16%). Los resultados obtenidos revelaron un aumento marginal de hasta un 7% en la densidad seca máxima con la adición de AMU, con humedad óptima experimentó una disminución significativa, alcanzando un 60% para el 16% de AMU. Estos hallazgos sugieren posibles beneficios en términos de densificación del suelo; no obstante, es imperativo destacar las implicaciones ambientales inherentes al empleo de AMU, subrayando así la necesidad de un análisis cuidadoso y equilibrado en la evaluación de alternativas geotécnicas.

Tuscano (2017), determinó la eficacia del aceite lubricante reciclado en la estabilización de la subrasante de una carretera. El suelo, clasificado como arcilla limosa (CL), fue sometido a pruebas con diferentes porcentajes de adición de aceite reciclado (2%, 4% y 6%). Los resultados iniciales revelaron que el suelo en su estado natural exhibía una humedad óptima de 11.85%, una densidad seca máxima de 1.817 g/cm³ y un índice CBR de 3.05%. Con la incorporación de 2%, 4% y 6% de aceite reciclado, se observaron alteraciones significativas en estos parámetros. Se evidenciaron aumentos en la humedad óptima, modificaciones en la densidad máxima seca y variaciones en el índice CBR. La conclusión principal derivada de estos hallazgos señala que la adición óptima de aceite para la estabilización de la subrasante es del 4%. Este porcentaje específico proporcionó un equilibrio notable entre las características de compactación del suelo, con incrementos sustanciales en la densidad seca y la humedad óptima, mientras que adiciones superiores al 4% demostraron efectos adversos en dichas propiedades. Estos resultados contribuyen significativamente al entendimiento de las prácticas de estabilización de subrasantes mediante el uso de aceites reciclados, destacando la importancia de la dosificación precisa para lograr mejoras sustanciales sin comprometer las propiedades geotécnicas del suelo.

Para el desarrollo de esta investigación se planteó la siguiente interrogante ¿Cuál es el efecto del uso del aceite residual de motor diésel en el mejoramiento del suelo de la subrasante de un pavimento?

El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto del aceite residual en las propiedades mecánicas de una subrasante inadecuada, mediante adiciones de 2%, 4%, 8% y 12%, con la finalidad de obtener propiedades adecuadas que puedan cumplir con las especificaciones establecidas en los manuales de carreteras.

Además, servirá como base para complementar y repetir estudios que involucren el uso de este tipo de estabilizador. Esto contribuirá a fortalecer la idea de estabilizar con aceite residual de motor diésel, con el objetivo de avanzar hacia una normalización y validar su aplicabilidad de manera más solidas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

Aceite residual de motor diésel

El aceite empleado para esta investigación se obtuvo de Oleo repuestos Leslie ubicada en la avenida Pakamuros de la ciudad de Jaén - distrito de Jaén – provincia de Jaén.

Suelos arcillosos (cohesivos y expansivos)

El material arcilloso utilizado fue obtenido del tramo de la carretera centro poblado Tablón – Centro Poblado Perico (km 2+000), lugares pertenecientes al distrito de Chirinos provincia de San Ignacio). Esto se inició con el programa de investigación preliminar para los estudios geotécnicos: recolectando

información existente en cartas geológicas, observación de los perfiles del subsuelo en trincheras y excavaciones adyacentes en el área de estudio; donde se planteó los tipos de suelos a encontrar, ubicación del punto de investigación, elección del método de exploración y muestreo. Luego se procedió con la etapa de campo a través de la exploración, mediante una calicata a una profundidad de 1.50 m, logrando la extracción de muestras representativas para su respectivo análisis en el laboratorio.

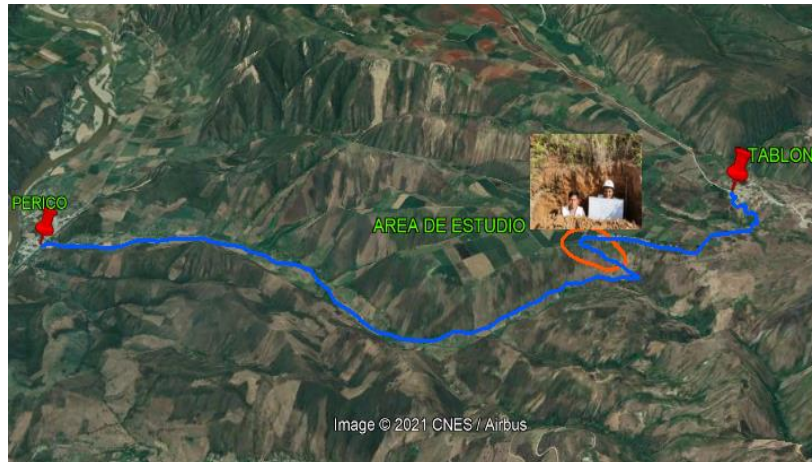


Figura 1. Ubicación de la extracción de muestras

Desarrollo de la investigación

La obtención de datos en el laboratorio se llevó a cabo siguiendo los protocolos establecidos por el Manual de Ensayo de Materiales. Este tiene como objetivo estandarizar los métodos y procedimientos utilizados en la ejecución de ensayos de laboratorio y de campo de los materiales empleados en proyectos de infraestructura vial (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016). La adhesión a dichos protocolos asegura la consistencia y confiabilidad de los datos recopilados, proporcionando una base metodológica robusta para la evaluación de las muestras recolectadas.

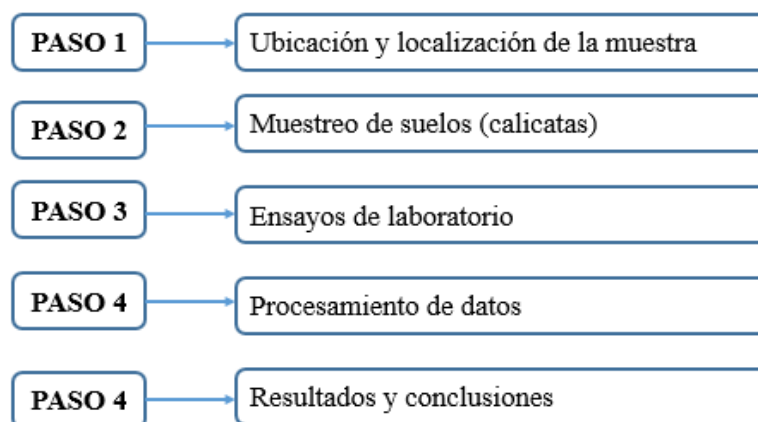


Figura 2. Esquema de la investigación

RESULTADOS

Caracterización de las propiedades mecánicas del suelo sin la adición de aceite residual

Análisis granulométrico

Se realizó mediante un tamizado manual en dos repeticiones siendo un material con una cantidad finos muy elevado y con muy poca presencia de grava. La Tabla 1 presenta los resultados de la distribución granulométrica de los diferentes materiales, expresados en porcentajes retenidos. En la fracción de grava, se observan valores de retención del 1.20% en la primera repetición y 0.49% en la segunda, con un promedio de 0.845%. Este rango estrecho de variación sugiere consistencia en la distribución granulométrica de la grava en ambas repeticiones. En el caso de la arena, los porcentajes retenidos son 5.90%, 5.91% y 5.91% en las repeticiones 1 y 2, y el promedio respectivamente. Estos resultados indican una relativa uniformidad en la retención de la arena entre ambas repeticiones, respaldando la consistencia en la composición granulométrica de este componente. El material fino, por su parte, exhibe porcentajes de retención más elevados, con valores del 92.90%, 93.60% y 93.25% en las repeticiones 1 y 2, y el promedio respectivamente. La variabilidad en estos valores podría indicar cierta variación en la distribución granulométrica del material fino entre las repeticiones.

Tabla 1. Resumen del análisis granulométrico

Material	% Retenido		% Retenido
	Repetición 1	Repetición 2	Promedio
Grava	1.20	0.49	0.845
Arena	5.90	5.91	5.905
Material fino	92.90	93.60	93.25

Límites de atterberg

En la siguiente Tabla 2 se muestran las cuatro repeticiones, correspondiente al ensayo de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad donde se puede apreciar que el límite líquido es mayor a 50 por lo tanto está dentro de la clasificación de limos y arcillas de alta plasticidad y de acuerdo con su índice de plasticidad el suelo presenta plasticidad alta – suelo muy arcilloso, debido a que posee un IP mayor a 20.

Tabla 2. Resumen de los resultados de los límites de Atterberg: Límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad

Repeticiones	Calicata	Profundidad (m)	LL (%)	LP (%)	IP (%)
1	C-1	0.15 – 1.50	72.549	34.898	37.651
2	C-1	0.15 – 1.50	71.880	34.445	37.435
3	C-1	0.15 – 1.50	71.692	34.730	36.962
4	C-1	0.15 – 1.50	72.268	34.512	37.756
Promedio			72.097	34.646	37.451

Proctor modificado

En la Tabla 3, se muestra las 4 repeticiones, correspondiente al ensayo de Proctor modificado, donde se puede apreciar que el óptimo contenido de humedad supera el 20% y que la máxima densidad seca es muy baja con valores inferiores a 1.55 gr/cm³. Se usó el ensayo Proctor modificado método A debido a que el material retenido en el tamiz N° 4 es menor que el 20%. Los especímenes del suelo para el ensayo se prepararon de acuerdo con el método de preparación seca.

Tabla 3. Resumen de los resultados del ensayo Proctor modificado

Repeticiones	Calicata	Profundidad (m)	% Humedad	Máxima densidad seca
			Óptima	(gr/cm ³)
1	C-1	0.15 – 1.50	23.40	1.534
2	C-1	0.15 – 1.50	23.40	1.521
3	C-1	0.15 – 1.50	22.78	1.529
4	C-1	0.15 – 1.50	22.20	1.519
Promedio			22.945	1.526

CBR de suelos (laboratorio)

En la Tabla 4 se muestran los resultados de las cuatro repeticiones correspondientes al ensayo de CBR. A partir de estos datos, se deduce que la resistencia del suelo al 95% de CBR es de 0.82%, 1.26%, 0.99% y 0.89%, respectivamente. Esta información indica que la subrasante en evaluación se clasifica como inadecuada según los criterios establecidos para las categorías de subrasante en el Manual de Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Tabla 4. Resumen de los resultados de las repeticiones CBR

Repeticiones	Calicata	Profundidad (m)	% CBR
1	C-1	0.15 – 1.50	0.82
2	C-1	0.15 – 1.50	1.26
3	C-1	0.15 – 1.50	0.99
4	C-1	0.15 – 1.50	0.89
Promedio			0.99

Caracterización y comparación de las propiedades mecánicas del suelo con adición y sin adición de aceite residual de motor diésel.

La Tabla 5 presenta los tratamientos de acuerdo con los porcentajes de aceite añadido (0%, 2%, 4%, 8%, 12%), y para cada tratamiento. En relación con los límites de Atterberg, específicamente el límite líquido (%), se observa una tendencia decreciente a medida que aumenta el porcentaje de aceite. Los valores varían en el rango de 65.080% a 72.549%, indicando una influencia significativa del aceite en la plasticidad del suelo. Similarmente, el índice de plasticidad (%) experimenta disminuciones correlativas con el incremento en el porcentaje de aceite, con valores oscilando entre 25.006% y

37.651%. En cuanto a las propiedades de compactación evaluadas mediante el Proctor modificado (gr/cm^3), se aprecia un aumento progresivo de la densidad del suelo a medida que se incrementa la adición de aceite. Los valores oscilan entre $1.519 \text{ gr}/\text{cm}^3$ y $1.773 \text{ gr}/\text{cm}^3$, evidenciando una relación directa entre la dosificación de aceite y la densificación del suelo. En el ensayo de CBR (%), se muestra un patrón creciente en la resistencia a la compresión no confinada con el aumento del porcentaje de aceite, mostrando valores que varían de 0.82% a 12.09%. Este comportamiento sugiere una mejora sustancial en la capacidad portante del suelo con mayores adiciones de aceite.

Tabla 5. Resumen de todos los resultados de la investigación

Variables de estudio	Tratamientos	Repeticiones	% aceite	Resultados			
Límites de Atterberg: límite líquido (%)	1	4	0%	72.549	71.880	71.692	72.268
	2	4	2%	71.190	71.888	71.458	70.966
	3	4	4%	70.913	70.168	70.122	70.777
	4	4	8%	67.973	67.875	67.339	67.153
	5	4	12%	65.080	65.232	64.973	64.860
Índice de plasticidad (%)	1	4	0%	37.651	37.435	36.962	37.756
	2	4	2%	28.808	29.227	29.522	29.406
	3	4	4%	27.841	29.025	28.822	28.171
	4	4	8%	27.948	27.637	27.564	27.391
	5	4	12%	25.006	24.756	24.904	25.355
Proctor modificado (gr/cm^3)	1	4	0%	1.534	1.521	1.529	1.519
	2	4	2%	1.585	1.572	1.579	1.560
	3	4	4%	1.585	1.579	1.596	1.604
	4	4	8%	1.740	1.739	1.750	1.745
	5	4	12%	1.760	1.762	1.773	1.770
CBR de suelos en laboratorio (%)	1	4	0%	0.82	1.26	0.99	0.89
	2	4	2%	1.29	1.40	1.32	1.19
	3	4	4%	2.13	2.38	2.81	3.05
	4	4	8%	9.35	8.44	8.89	8.05
	5	4	12%	11.35	11.86	12.09	11.60

Proctor modificado

La Tabla 6 se presenta el promedio de las cuatro repeticiones que se ha realizado a cada tratamiento. En cada tratamiento, se evaluaron el contenido óptimo de humedad, expresado en porcentaje, y la máxima densidad seca del suelo, medida en gramos por centímetro cúbico. En términos del contenido óptimo de humedad, se observa una tendencia decreciente a medida que aumenta el porcentaje de aceite. Los valores específicos varían desde 5.473% hasta 22.945%, indicando una influencia sustancial del aceite en la plasticidad y compactación del suelo. Este patrón sugiere que mayores adiciones de aceite están asociadas con una reducción en la cantidad óptima de agua requerida para obtener la máxima compactación del suelo.

Tabla 6. Promedios de las repeticiones de cada tratamiento

Variable	Tratamientos	% aceite	Óptimo contenido de humedad (%)	Máxima densidad seca (gr/cm ³)
Proctor modificado	1	0%	22.945	1.526
	2	2%	19.660	1.574
	3	4%	17.653	1.591
	4	8%	10.040	1.744
	5	12%	5.473	1.766

La Figura 3, se muestra las diferentes proporciones de aceite residual de motor diésel adicionado, comparado con la humedad óptima con la que el suelo alcanza su máxima densidad seca, asimismo se presencia que ha mayor cantidad de aceite la humedad óptima disminuye.

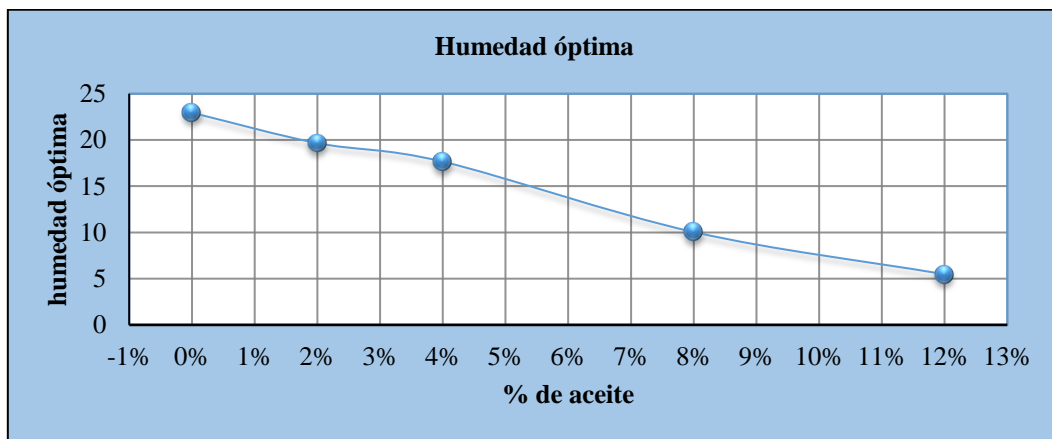


Figura 3. Relación entre el contenido de aceite residual y el contenido de humedad óptimo

En la Figura 4, se muestra los diferentes porcentajes de aceite residual de motor diésel adicionado, comparado con la máxima densidad seca con la que el suelo alcanza su máxima compactación, asimismo se presencia que ha mayor porcentaje adicionado la máxima densidad seca incrementa sus valores considerablemente con el porcentaje de 8%.

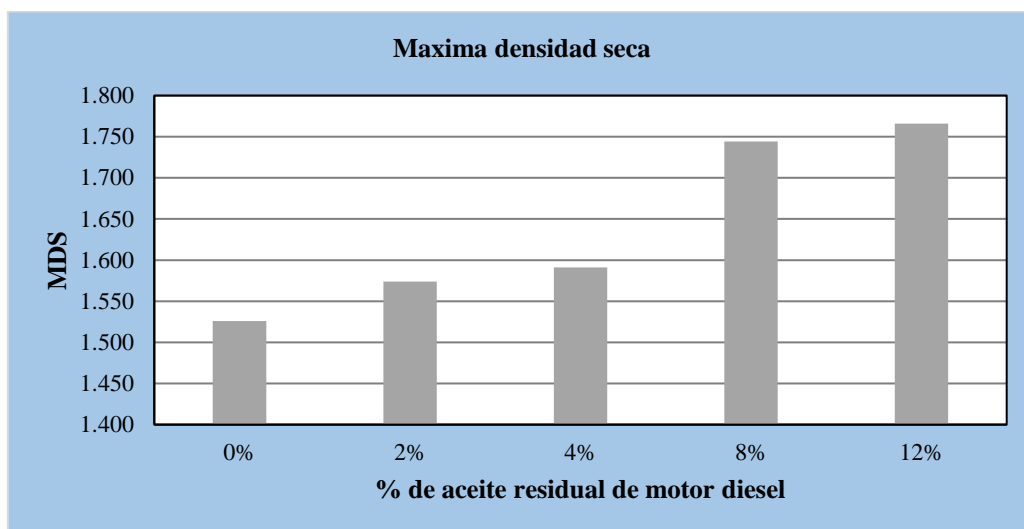


Figura 4. Relación entre el contenido de aceite residual y la máxima densidad seca

Límites de Atterberg: Límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad.

En la Tabla 7 se presentará el promedio de las cuatro repeticiones que se ha realizado a cada tratamiento. En relación al límite líquido, se evidencia una disminución progresiva con el incremento del porcentaje de aceite. Los valores, que oscilan desde 72.097% en la condición sin adición de aceite hasta 65.036% con un 12% de aceite, indican una influencia de este aditivo en la humedad del suelo en estado plástico a líquido. Este comportamiento puede atribuirse a la acción lubricante del aceite, reduciendo la cohesión entre las partículas del suelo.

Tabla 7. Promedios de las repeticiones de cada tratamiento

Variable	Tratamientos				
	0%	2%	4%	8%	12%
Límite líquido (%)	72.097	71.376	70.710	67.585	65.036
Límite plástico (%)	34.646	42.135	42.245	39.950	40.031
Índice de plasticidad (%)	37.451	29.241	28.375	27.635	25.005

En la Figura 5, se muestran los diferentes porcentajes de aceite residual de motor diésel adicionado, comparado el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad, asimismo se presencia que ha mayor porcentaje adicionado, el índice de plasticidad disminuye conforme se adiciona mayor porcentaje de aceite.

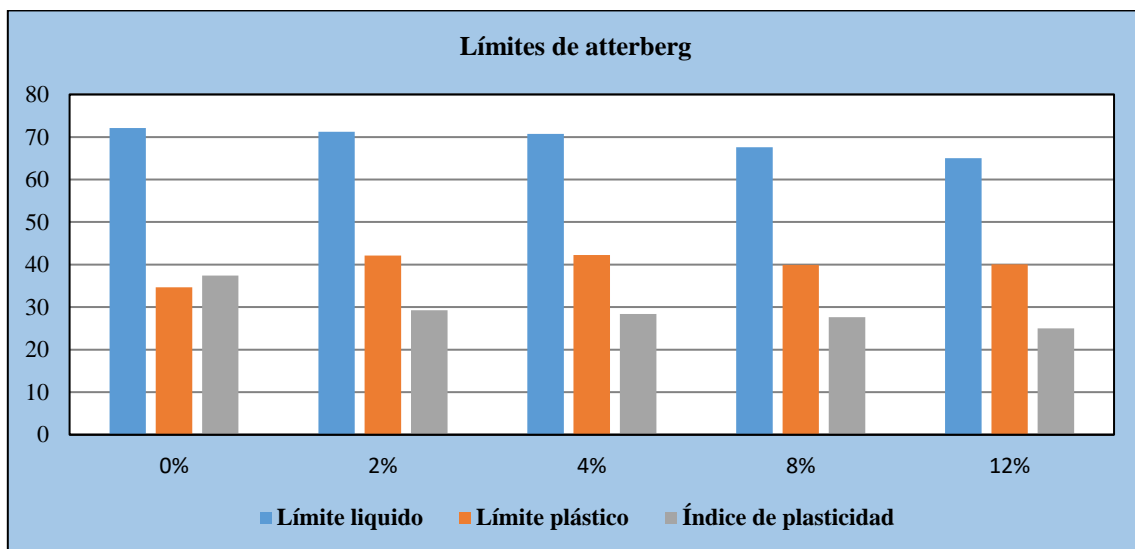


Figura 5. Relación entre el contenido de aceite residual con los límites de Atterberg

CBR

En la Tabla 8, se presentará el promedio de las 4 repeticiones que se ha realizado a cada tratamiento. Los valores de CBR varían desde 0.99% en la condición sin adición de aceite hasta 11.73% con un

12% de aceite, mejorando significativamente la resistencia a la compresión no confinada del suelo al incorporar aceite.

Tabla 8. Promedios de las repeticiones de cada tratamiento

Variable	Tratamientos	% aceite	% CBR
CBR de suelos (laboratorio)	1	0%	0.99
	2	2%	1.30
	3	4%	2.59
	4	8%	8.68
	5	12%	11.73

En la Figura 6, se muestran los distintos porcentajes de aceite residual de motor diésel añadidos, comparados con el valor de CBR patrón. Se observa que, a medida que se incrementa el porcentaje de adición, los valores del CBR experimentan un aumento significativo, destacando particularmente en la adición del 8%.

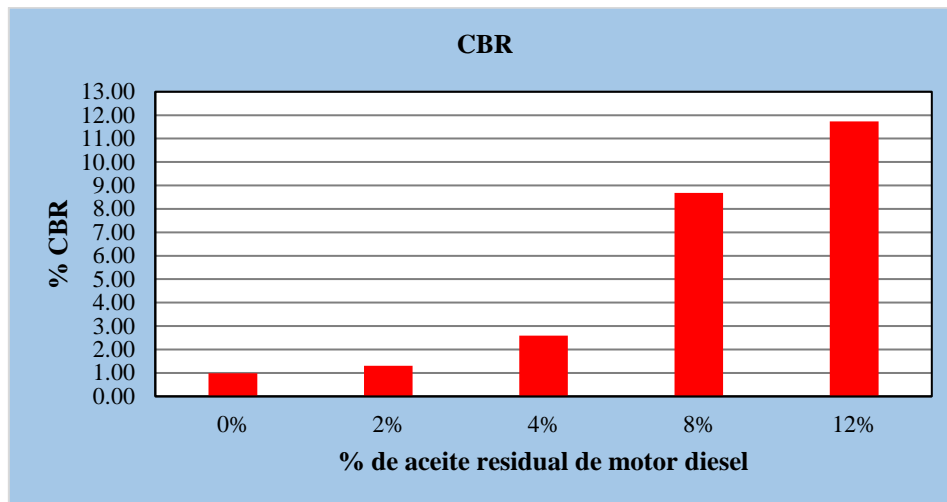


Figura 6. Relación entre el contenido de aceite residual con el porcentaje CBR

Tipos de subrasante

La Tabla 9 presenta los resultados promedio del ensayo CBR en suelos de laboratorio, considerando diferentes tratamientos con distintos porcentajes de adición de aceite. La variable "Tratamientos" identifica los niveles específicos de adición de aceite, que varían desde 0% hasta 12%. Además, se clasifica el tipo de subrasante correspondiente a cada tratamiento, según los valores promedio de CBR. Se observa un incremento progresivo en el CBR a medida que se incrementa el porcentaje de adición de aceite, destacando especialmente en el tratamiento con un 8% y 12% de aceite. La clasificación del tipo de subrasante varía desde "Subrasante Inadecuada" (S0) para el tratamiento con 0% de aceite hasta "Subrasante Buena" (S3) para el tratamiento con 12% de aceite.

Tabla 9. Tipos de Subrasante

Variable	Tratamientos	% aceite	% CBR Promedio	Tipo de subrasante
CBR de suelos (laboratorio)	1	0%	0.99	S ₀ : Sub rasante Inadecuada
	2	2%	1.30	S ₁ : Sub rasante insuficiente
	3	4%	2.59	S ₁ : Sub rasante insuficiente
	4	8%	8.68	S ₂ : Sub rasante Regular
	5	12%	11.73	S ₃ : Sub rasante Buena

Según los resultados para el primer tratamiento sin adición de aceite se logró una subrasante inadecuada no apta para la construcción de un pavimento, pero para el tratamiento 5 con 12 % de adición se logró una subrasante buena.

DISCUSIÓN

Realizado los ensayos de mecánica de suelos del material en estudio, se ha determinado que la granulometría está conformada por un 93.25% de finos; 5.905% de arena y 0.845% de grava, así mismo se tiene un límite líquido de 72.097%, un límite plástico de 34.646%, y un índice de plasticidad de 37.451%, clasificando al suelo según AASHTO como A-7-5 (32) y en el sistema SUCS como CH, con un CBR de 0.990% al 95% de la densidad seca máxima. En correspondencia con los parámetros del manual de carreteras MTC. Este suelo según su CBR corresponde a una subrasante inadecuada (SO) y según su IP se clasifica como plasticidad alta. Según Moncayo (2018) obtuvo como resultados, que el suelo sin adicionar aceite tiende a pasar mas del 50% por la malla N°200, con limites liquido 65.12% y plástico 32.45% obteniendo un limo de alta plasticidad MH, con CBR del 4.70%. Además, Tuscano (2017), obtuvo como resultado del suelo natural de un suelo arcilloso de baja plasticidad (CL), teniendo un CBR de 3.05%.

Límite líquido

El límite líquido de la muestra inicial tiene un valor promedio de 72.097%, comparándose en la carta de Casagrande, corresponde a un suelo arcilloso de alta plasticidad, en el tratamiento 2 con un valor promedio de 71.236% y una adición del 2% de aceite residual de motor diésel, la variable se ve afectada en una disminución lenta manteniéndose en ese ritmo hasta el tratamiento 3, con un valor promedio de 70.710% y una adición del 4%. En los tratamientos 4 y 5 con valores promedios de 67.585% y 65.036% presentan una mayor disminución comparado con el tratamiento 1, pero no es suficiente para alcanzar un suelo de baja plasticidad. Según el análisis estadístico en los tratamientos si existe una varianza estadísticamente significativa, entendiéndose que adicionando aceite residual de motor diésel al suelo se tiene un efecto en el límite líquido.

Índice de plasticidad

El índice de plasticidad de la muestra inicial tiene un valor promedio de 37.451%, comparándose con los valores que se establecen en el manual de carreteras sección suelos y pavimentos, le corresponde un suelo arcilloso de alta plasticidad, en el tratamiento 2 con un valor promedio de 29.241% y una adición del 2% de aceite residual de motor diésel, la variable se ve afectada en una disminución muy diferenciada respecto al tratamiento de control, pero manteniendo una disminución lenta hacia el tratamiento 3 con un valor promedio de 28.375% y una adición del 4%. En los tratamientos 4 y 5 con valores promedios de 27.635% y 25.005% se presenta una mayor disminución comparado con el tratamiento 1, pero no cumplen con los valores que delimitan un suelo de baja plasticidad o mediana plasticidad en la tabla del manual de carreteras. Según el análisis estadístico en los tratamientos si existe una varianza estadísticamente significativa, entendiéndose que adicionando aceite residual de motor diésel al suelo se tiene un efecto en el índice de plasticidad.

Proctor modificado

La máxima densidad seca de la muestra inicial tiene un valor promedio de 1.526 gr/cm³, con una humedad optima promedio de 22.945% comparándose con los valores del tratamiento 5 cuyos valores son 1.766 gr/cm³ de la máxima densidad seca y 5.473% de su optimo contenido de humedad, se puede apreciar que la máxima densidad seca tuvo un incremento considerablemente, pero la humedad optima ha disminuido de tal forma, que el trabajo en laboratorio para esta adición fue muy dificultosa debido a que la humedad optima del suelo fue muy baja, llevando consigo un trabajo cuidadoso en la humedad inicial del suelo, debido a que tuvo que secarse en la estufa hasta que la humedad inicial del suelo sea 0%, pero la humedad ambiental nos jugaba en contra, después de muchas repeticiones se logró realizar este tratamiento. En los tratamientos 4 y 5 con valores promedios de 1.744 gr/cm³ y 1.766 gr/cm³ se presenta una mayor disminución comparado con el tratamiento 1. Según el análisis estadístico en los tratamientos si existe una varianza estadísticamente significativa, entendiéndose que adicionando aceite residual de motor diésel al suelo se tiene un efecto en la máxima densidad seca del ensayo Proctor modificado.

CBR de suelos (laboratorio)

En el manual de carreteras, sección suelos y pavimentos del Ministerio de Transportes y comunicaciones dice que, para mejorar la capa de la subrasante, esta debe ser menor al 6% el porcentaje de CBR, en esta investigación se obtuvo un valor promedio de 0.99% del tratamiento 1 sin adición de aceite. Los tratamientos 2, 3, 4 y 5 con 2%, 4%, 8% y 12% mejoran la resistencia del suelo, siendo el más adecuado el tratamiento 4 con un valor promedio de CBR de 8.68% siendo adecuado para la subrasante de un pavimento. El tratamiento 4 tiene un incremento considerable con los tratamientos 1, 2, 3 pero menor al tratamiento 5 con un valor promedio de CBR de 11.73%, lo cual indica que el aumento de incorporación de aceite es directamente proporcional con el valor de

CBR. Por lo tanto, el aumento de dosificación de aceite tanto en el laboratorio como en campo debido a su baja humedad óptima que es menor a la humedad natural del suelo imposibilitando su ejecución. Según Moncayo Basante (2018), evaluó las adiciones del 0%, 4%, 8%, 12% y 16%, concluyendo que para la adición del 0% obtuvo un CBR de 4.70%, y que su máximo valor de CBR fue alcanzado con la adición del 16%, obteniendo un resultado de 7.10 %. Tuscano (2017), investiga el efecto del aceite lubricante reciclado en la estabilización de la subrasante, compuesta por un suelo arcilloso de baja plasticidad (CL), en la cual obtuvo como resultado que el CBR en estado natural es de 3.05%, adicionado 2% ,5.31%, 4% y 8.51% (llegando a su estado óptimo) y con 6% es de 1.79%.

CONCLUSIONES

El suelo utilizado para la investigación presenta propiedades inadecuadas para la subrasante de un pavimento, presentando un límite líquido superior al 50%, un índice de plasticidad de 37.451%, un 93.25% de finos, un valor de 0.99% de CBR y una máxima densidad seca de 1.526%.

Se determinó que la adición apta para la estabilización del suelo es del 8% de aceite residual, presentando un valor de Índice de Plasticidad de 27.635% y un valor de CBR de 8.68%, llegando a tener una excelente variación respecto a la muestra patrón. El aceite residual de motor diésel al suelo en estudio, mejora sus propiedades mecánicas, pero a la vez se vuelve no trabajable volviéndose dificultoso para su análisis, por lo tanto, no es posible determinar el punto máximo de inflexión en adición para este estabilizante. La aplicabilidad del aceite residual de motor diésel en el ensayo de Proctor modificado, conforme se adiciona un mayor porcentaje de aceite a la muestra de suelo, reduce la humedad óptima con la que se alcanza su máxima seca. El hinchamiento medido con el deformímetro en el ensayo de CBR, conforme se adiciona un mayor porcentaje de aceite, los valores medidos se reducen marcando una gran diferencia con los valores calculados de la muestra patrón. Se determinó que el efecto del aceite residual de motor diésel en el ensayo del límite líquido y límite plástico, es beneficioso ya tiene a reducir el límite líquido y aumentar el límite plástico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ander-Egg, E. (1995). *Técnicas de investigación social* (24a. ed.). Lumen.
- Arner, A., Barberán, R., & Mur, J. (2006). La política de gestión de residuos: Los aceites usados. *Revista de economía aplicada*, 81-100. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=96917230003>
- Educación M - Definista. (8 de Febrero de 2014). *ConceptodeDefinición.de*. Obtenido de <https://conceptodefinicion.de/metodo-inductivo/>

- Delia, G., & Femenia, P. (2018). *Metodología de investigación para estudiantes de posgrado en ingeniería*.
- Ministerio de transportes y comunicaciones. (2014). *Suelos, geología, geotecnia y pavimentos*. Lima, Lima, Lima.
- Ministerio de transportes y comunicaciones. (2016). *Manual de ensayos de materiales*. Lima, Lima, Lima.
- Moncayo Basante, J. D. (2018). *Estudio del efecto del aceite de motor usado, en la resistencia a corte y CBR de los suelos finos (MH) en la ciudad de Cali [Tesis de Pregrado, Universidad del Valle]*. Repositorio de la Univeridad del Valle, Facultad de Ingeniería, Santiago de Cali. Obtenido de <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/handle/10893/16331>
- Orobio, A., & Del Castillo, R. (2020). Investigación exploratoria sobre el efecto del aceite de motor usado en un suelo fino de subrasante. *Informes de la Construcción*, 72 (558), 8. doi:10.3989/ic
- Romero Romero, R. M., & Sañac Vilca, C. (2016). Evaluación comparativa mediante la capacidad de soporte y densidad máxima de un suelo adicionado con polímero adhesivo natural en porcentajes de 0.5%, 1%, 2% y 3% frente a un suelo natural para sub rasante de pavimento rígido de la Urb. San Judas Chico—Cusco. *Universidad Andina del Cusco*. <http://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/721>
- Tuscano Perez, M. (2017). *Estabilización de subrasante mediante el uso de aceite reciclado en carretera, circuito cruz de paz palian - el tambo – Huancayo 2017 [Tesis de Pregrado, Universidad Alas Peruanas]*. Repositorio de la Universidad Alas Peruanas, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Huancayo. Obtenido de <https://repositorio.uap.edu.pe/handle/20.500.12990/7027>