

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**CORRELACIÓN DEL VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)  
SATURADO Y NO SATURADO PARA DISTINTOS TIPOS DE SUELO**

**Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil**

**AUTOR:**

Diego Leonardo Puente Quisca

**ASESOR:**

Guillermo José Zavala Rosell

Lima, 2026

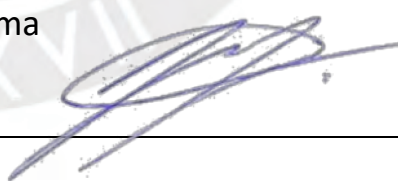
## Informe de Similitud

Yo, **Guillermo José Zavala Rosell**, docente de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor(a) de la tesis titulada **CORRELACIÓN DEL VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) SATURADO Y NO SATURADO PARA DISTINTOS TIPOS DE SUELO**, del autor **Diego Leonardo Puente Quisca**, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 25%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 02/10/2025.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis, y no se advierte indicios de plagio. En la revisión del reporte se identificó que hay terminología de ensayos utilizada habitualmente en documentos académicos similares, la cual no puede ser expresada de una forma distinta. Esta situación ha contribuido a aumentar el índice de similitud sin tratarse de un plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha:

Lima, 2 de octubre de 2025

Apellidos y nombres del asesor: <b>Zavala Rosell, Guillermo José</b>	
DNI: <b>07885623</b>	Firma
ORCID: <b>0000-0002-2077-5001</b>	

## **Agradecimientos**

En primer lugar, agradezco a Dios por darme la vida, fortaleza y perseverancia necesarias para superar cada reto en este camino académico.

Expreso también mi más sincero agradecimiento a mis padres, cuyo apoyo incondicional y constante aliento fueron fundamentales a lo largo de mi formación académica y personal. Gracias por su sacrificio, su amor infinito y por enseñarme con el ejemplo el valor del esfuerzo, responsabilidad y humildad. Este logro no solo me pertenece, sino que es fruto de todo lo que me han brindado.

Asimismo, extiendo mi gratitud al ingeniero Guillermo Zavala, por su guía, paciencia y valiosas observaciones, que contribuyeron significativamente al desarrollo y culminación de este trabajo de investigación.

También, agradezco a la empresa Mota-Engil Perú S.A., por brindarme la oportunidad y las herramientas necesarias para llevar a cabo esta investigación en las instalaciones de su laboratorio central. El acceso a sus recursos, equipos y soporte técnico fue esencial para el desarrollo de los ensayos y la obtención de los resultados que sustentan este trabajo.

Por último, quiero agradecer y rendir un sentido homenaje al ingeniero David Canelas, cuya valiosa orientación y apoyo fueron fundamentales para el desarrollo de esta investigación. Su liderazgo y vocación de servicio no solo contribuyeron al éxito de este trabajo, sino que también dejaron una huella profunda en mi formación académica y profesional. Más allá de su rol como jefe de laboratorio, se distinguió por su calidad humana, su paciencia y su dedicación a la excelencia. Su legado de integridad y compromiso permanecerá como una inspiración constante en mi vida y en la de quienes tuvimos el privilegio de conocerlo y trabajar con él.

## Resumen

La evaluación de la relación de soporte del suelo mediante el ensayo CBR es fundamental en el diseño y construcción de proyectos de infraestructura vial. Sin embargo, el procedimiento de ensayo incluye un periodo de inmersión de 04 días, lo que prolonga el tiempo de ensayo. En este contexto, la presente investigación analiza la correlación entre el CBR saturado, el CBR no saturado, la máxima densidad seca y el contenido de finos, con el objetivo de desarrollar modelos estadísticos que permitan estimar el CBR sin necesidad de la inmersión.

Se realizaron ensayos de laboratorio en 12 muestras de suelos granulares y finos provenientes de distintas regiones del país, siguiendo los lineamientos de las normativas vigentes. Posteriormente, se aplicó un análisis de regresión lineal múltiple para desarrollar modelos predictivos y se validó su significancia mediante el análisis de varianza (ANOVA).

Los resultados muestran que el CBR no saturado es generalmente mayor que el CBR saturado, siendo esta diferencia más pronunciada en suelos finos y arenosos. La ausencia del periodo de inmersión incrementa el valor del CBR, afectando en mayor proporción a los suelos con mayor contenido de finos. Los modelos obtenidos presentan coeficientes de determinación ( $R^2$ ) superiores a 0.8, lo que confirma su alta confiabilidad para estimar el CBR saturado. Además, el análisis de varianza valida la significancia estadística de la mayoría de los modelos.

En conclusión, el CBR no saturado es una alternativa viable para predecir la relación de soporte del suelo sin necesidad del periodo de inmersión, optimizando el tiempo de ejecución del ensayo CBR. Se recomienda ampliar el estudio con más muestras y evaluar su aplicación en campo para futuras normativas nacionales.

Palabras clave: Correlación, relación de soporte, CBR saturado, CBR no saturado, regresión múltiple, periodo de inmersión.

## Abstract

The California Bearing Ratio (CBR) test is a fundamental method for evaluating soil bearing capacity in the design and construction of road infrastructure projects. However, the standard test procedure requires a four-day soaking period, which extends the overall testing time. This study investigates the correlation between soaked CBR, unsoaked CBR, maximum dry density, and fine content to develop statistical models capable of reliably estimating CBR without the need of soaking period.

Laboratory tests were conducted on 12 granular and fine soil samples from various regions of the country, following established testing standards. Multiple linear regression analysis was employed to develop predictive models, which were subsequently validated through analysis of variance (ANOVA).

The findings indicate that unsoaked CBR values are generally higher than soaked CBR values, with the difference being more pronounced in fine and sandy soils. The absence of the soaking period leads to an increase in the CBR value, with a more significant effect on soils with higher fines content. The proposed models exhibit coefficients of determination ( $R^2$ ) exceeding 0.8, demonstrating their reliability in estimating soaked CBR. Additionally, ANOVA results confirm the statistical significance of most models.

In conclusion, unsoaked CBR proves to be a viable alternative for predicting soil bearing capacity while eliminating the need for a prolonged soaking period, thereby optimizing test efficiency. Further research incorporating a larger dataset and field validation is recommended to support the development of future national regulations.

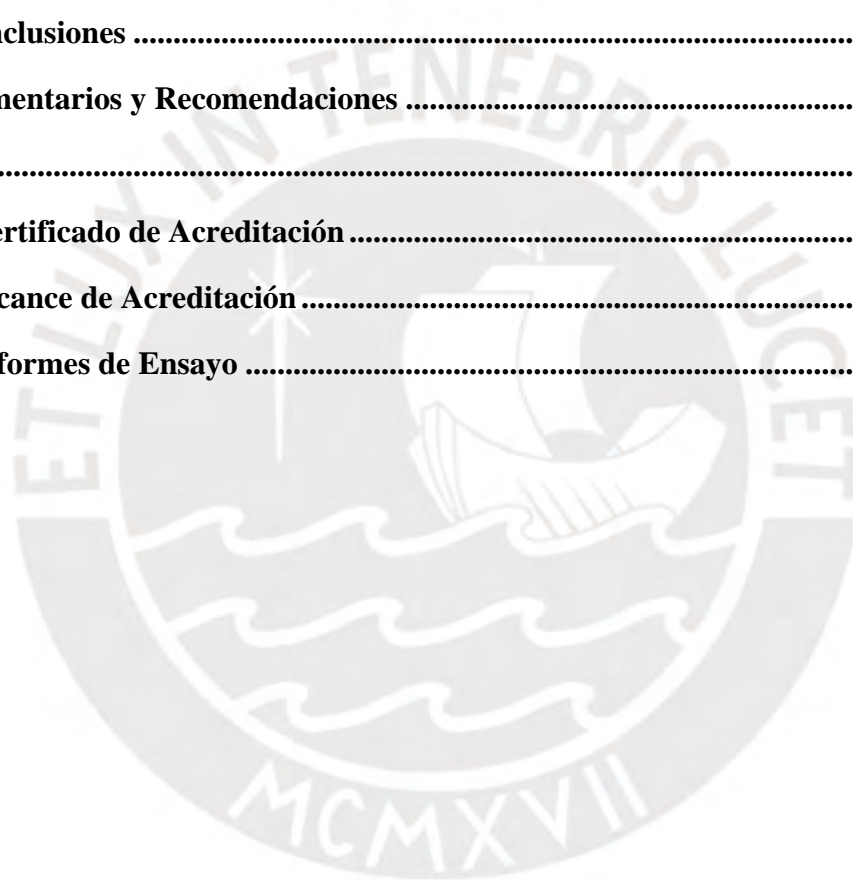
**Keywords:** Correlation, bearing capacity, soaked CBR, unsoaked CBR, multiple regression, soaking period.

## Tabla de Contenidos

<b>Resumen.....</b>	<b>i</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>ii</b>
<b>Tabla de Contenidos .....</b>	<b>iii</b>
<b>Índice de Tablas .....</b>	<b>vi</b>
<b>Índice de Figuras.....</b>	<b>vii</b>
<b>Glosario.....</b>	<b>x</b>
<b>Capítulo I: Generalidades .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. Objetivos .....</b>	<b>2</b>
<b>1.3. Preguntas de Investigación.....</b>	<b>2</b>
<b>1.4. Justificación .....</b>	<b>3</b>
<b>1.5. Hipótesis .....</b>	<b>4</b>
<b>1.6. Alcance y Limitaciones .....</b>	<b>4</b>
<b>Capítulo II: Marco Teórico.....</b>	<b>6</b>
<b>2.1. Conceptos y Definiciones .....</b>	<b>6</b>
2.1.1. Suelos.....	6
2.1.2. Análisis granulométrico por tamizado .....	6
2.1.3. Límites de consistencia.....	7
2.1.4. Clasificación de los suelos.....	11
2.1.5. Compactación de los suelos .....	14
2.1.6. Relación de soporte de California.....	15
2.1.7. Análisis de regresión.....	19
<b>2.2. Revisión de la Literatura .....</b>	<b>22</b>
2.2.1. Contexto nacional .....	22
2.2.2. Contexto internacional .....	24

<b>2.3. Modelos Estadísticos .....</b>	<b>29</b>
2.3.1. Análisis de regresión simple .....	29
2.3.2. Análisis de regresión múltiple .....	30
2.3.3. Redes neuronales artificiales.....	31
<b>Capítulo III: Metodología Experimental .....</b>	<b>32</b>
<b>3.1. Enfoque de la Investigación.....</b>	<b>32</b>
<b>3.2. Diseño de la Investigación.....</b>	<b>32</b>
<b>3.3. Población .....</b>	<b>33</b>
<b>3.4. Variables .....</b>	<b>33</b>
<b>3.5. Operacionalización.....</b>	<b>33</b>
<b>3.6. Materiales.....</b>	<b>36</b>
<b>3.7. Equipos.....</b>	<b>37</b>
<b>3.8. Procedimiento de Recolección de Datos .....</b>	<b>38</b>
3.8.1. Localización y muestreo de material .....	39
3.8.2. Recepción y registro de las muestras en GESLAB.....	41
3.8.3. Preparación de los especímenes de ensayo .....	42
3.8.4. Ejecución de los ensayos de laboratorio previos .....	43
3.8.5. Clasificación del suelo de acuerdo a SUCS y AASHTO.....	46
3.8.6. Ejecución de los ensayos CBR de laboratorio .....	46
3.8.7. Tratamiento de datos y emisión de informes de ensayo .....	48
<b>Capítulo IV: Resultados .....</b>	<b>49</b>
<b>4.1. Ensayos de Laboratorio .....</b>	<b>49</b>
4.1.1. Análisis granulométrico por tamizado .....	49
4.1.2. Límites de consistencia .....	52
4.1.3. Clasificación de los suelos .....	54
4.1.4. Gravedad específica de los sólidos del suelo y del agregado grueso.....	55
4.1.5. Ensayo de compactación Proctor modificado.....	57

4.1.6. Ensayos CBR .....	63
<b>4.2. Análisis de Resultados.....</b>	<b>80</b>
4.2.1. Comparación del CBR saturado y CBR no saturado .....	80
4.2.2. Análisis descriptivo.....	84
4.2.3. Análisis de regresión.....	88
4.2.4. Análisis de varianza .....	98
<b>Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones.....</b>	<b>103</b>
5.1. Conclusiones .....	103
5.2. Comentarios y Recomendaciones .....	104
<b>Referencias.....</b>	<b>106</b>
<b>Anexo A: Certificado de Acreditación .....</b>	<b>111</b>
<b>Anexo B: Alcance de Acreditación .....</b>	<b>112</b>
<b>Anexo C: Informes de Ensayo .....</b>	<b>116</b>



## Índice de Tablas

<b>Tabla 1</b> Criterios del sistema de clasificación SUCS.....	12
<b>Tabla 2</b> Criterios del sistema de clasificación AASHTO .....	13
<b>Tabla 3</b> Modelos de regresión simple .....	29
<b>Tabla 4</b> Modelos de regresión múltiple.....	30
<b>Tabla 5</b> Modelos de redes neuronales artificiales .....	31
<b>Tabla 6</b> Operacionalización de las variables de la investigación.....	34
<b>Tabla 7</b> Información de las muestras de suelo .....	36
<b>Tabla 8</b> Resultados del análisis granulométrico por tamizado.....	50
<b>Tabla 9</b> Resultados del método de ensayo ASTM D4318 .....	53
<b>Tabla 10</b> Clasificación de los suelos de acuerdo a SUCS y AASHTO.....	54
<b>Tabla 11</b> Resultados de los métodos de ensayo ASTM D584 y C127 .....	56
<b>Tabla 12</b> Resultados del ensayo Proctor modificado .....	58
<b>Tabla 13</b> Resultados del ensayo CBR con inmersión .....	64
<b>Tabla 14</b> CBR saturado para el 100% y 95% de la máxima densidad seca.....	70
<b>Tabla 15</b> Resultados del ensayo CBR sin inmersión .....	71
<b>Tabla 16</b> CBR no saturado para el 100% y 95% de la máxima densidad seca.....	76
<b>Tabla 17</b> Resumen de los resultados de los ensayos de laboratorio.....	78
<b>Tabla 18</b> Comparativa de los valores del CBR saturado y CBR no saturado.....	80
<b>Tabla 19</b> Medidas estadísticas de las variables de los suelos granulares.....	84
<b>Tabla 20</b> Medidas estadísticas de las variables de los suelos finos .....	85
<b>Tabla 21</b> Modelos estadísticos considerados en la investigación .....	89
<b>Tabla 22</b> Modelos estadísticos obtenidos del análisis de regresión múltiple.....	95
<b>Tabla 23</b> Análisis de varianza ANOVA aplicado a los modelos de la investigación .....	99

## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b> Curva de distribución de tamaño de partícula .....	7
<b>Figura 2</b> Límites de consistencia de Atterberg .....	8
<b>Figura 3</b> Copa de Casagrande .....	9
<b>Figura 4</b> Curva de flujo para la determinación del límite líquido.....	9
<b>Figura 5</b> Fisuras en los rollos del suelo.....	10
<b>Figura 6</b> Carta de plasticidad .....	12
<b>Figura 7</b> Curva de compactación típica de una arcilla limosa .....	15
<b>Figura 8</b> Prensa de carga Multispeed.....	17
<b>Figura 9</b> Corrección de las curvas esfuerzo-deformación .....	18
<b>Figura 10</b> Método de mínimos cuadrados y recta de regresión .....	20
<b>Figura 11</b> Diagrama de flujo del procedimiento de recolección de datos .....	39
<b>Figura 12</b> Muestreo de material de cantera.....	40
<b>Figura 13</b> Muestreo de material de corte .....	40
<b>Figura 14</b> Recepción y verificación de muestra de suelo .....	41
<b>Figura 15</b> Registro de muestra en plataforma GESLAB .....	42
<b>Figura 16</b> Cuarteo de muestra de suelo.....	42
<b>Figura 17</b> Proceso de tamizado del suelo según ASTM D422 .....	43
<b>Figura 18</b> Determinación del límite líquido según ASTM D4318 .....	44
<b>Figura 19</b> Determinación del límite plástico según ASTM D4318 .....	44
<b>Figura 20</b> Ejecución del ensayo de gravedad específica de suelos según ASTM D854 .....	45
<b>Figura 21</b> Equipamiento utilizado en el ensayo Proctor Modificado según ASTM D1557 ...	45
<b>Figura 22</b> Compactación del suelo mediante pisón manual según ASTM D1557 .....	46
<b>Figura 23</b> Preparación de espécimen de ensayo en molde CBR según ASTM D1883 .....	47
<b>Figura 24</b> Inmersión del ensayo CBR según ASTM D1883 .....	47
<b>Figura 25</b> Penetración del espécimen de ensayo según ASTM D1883 .....	48
<b>Figura 26</b> Curvas granulométricas de las muestras de matriz gravosa .....	51
<b>Figura 27</b> Curvas granulométricas de las muestras de matriz arenosa .....	51
<b>Figura 28</b> Curvas granulométricas de las muestras de matriz fina .....	52
<b>Figura 29</b> Curvas de compactación y saturación de las muestras de matriz gravosa A0154/22 y A0226/22.....	59
<b>Figura 30</b> Curvas de compactación y saturación de las muestras de matriz gravosa A0223/22 y A0250/22.....	60

<b>Figura 31</b> Curvas de compactación y saturación de la muestra de matriz gravosa A0224/2260	
<b>Figura 32</b> Curvas de compactación y saturación de las muestras de matriz arenosa A0155/22 y A0247/22.....	61
<b>Figura 33</b> Curvas de compactación y saturación de las muestras de matriz arenosa A0246/22 y A0249/22.....	61
<b>Figura 34</b> Curvas de compactación y saturación de las muestras de matriz fina A0517/22 y A0573/22.....	62
<b>Figura 35</b> Curvas de compactación y saturación de la muestra de matriz fina A0494/22.....	62
<b>Figura 36</b> Curvas densidad seca vs CBR saturado de las muestras de matriz gravosa A0154/22 y A0224/22.....	65
<b>Figura 37</b> Curvas densidad seca vs CBR saturado de las muestras de matriz gravosa A0226/22 y A0250/22.....	66
<b>Figura 38</b> Curvas densidad seca vs CBR saturado de las muestras de matriz gravosa A0223/22.....	66
<b>Figura 39</b> Curvas densidad seca vs CBR saturado de las muestras de matriz arenosa A0155/22 y A0246/22.....	67
<b>Figura 40</b> Curvas densidad seca vs CBR saturado de las muestras de matriz arenosa A0247/22 y A0249/22.....	67
<b>Figura 41</b> Curvas densidad seca vs CBR saturado de las muestras de matriz fina A0494/22 y A0517/22.....	68
<b>Figura 42</b> Curvas densidad seca vs CBR saturado de las muestras de matriz fina A0573/22 68	
<b>Figura 43</b> Curvas densidad seca vs CBR no saturado de las muestras de matriz gravosa A0154/22 y A0224/22.....	72
<b>Figura 44</b> Curvas densidad seca vs CBR no saturado de las muestras de matriz gravosa A0226/22 y A0250/22.....	73
<b>Figura 45</b> Curvas densidad seca vs CBR no saturado de la muestra de matriz gravosa A0223/22.....	73
<b>Figura 46</b> Curvas densidad seca vs CBR no saturado de las muestras de matriz arenosa A0155/22 y A0246/22.....	74
<b>Figura 47</b> Curvas densidad seca vs CBR no saturado de las muestras de matriz arenosa A0247/22 y A0249/22.....	74
<b>Figura 48</b> Curvas densidad seca vs CBR no saturado de las muestras de matriz fina A0494/22 y A0517/22.....	75
<b>Figura 49</b> Curvas densidad seca vs CBR no saturado de la muestra de matriz fina A0573/22.....	75
<b>Figura 50</b> Variación del CBR para el 100% de la máxima densidad seca.....	81
<b>Figura 51</b> Variación del CBR para el 95% de la máxima densidad seca.....	82
<b>Figura 52</b> CBR estimado vs CBR laboratorio del modelo 1 para el 100% de la MDS .....	91

<b>Figura 53</b> CBR estimado vs CBR laboratorio del modelo 1 para el 95% de la MDS .....	91
<b>Figura 54</b> CBR estimado vs CBR laboratorio del modelo 2 para el 100% de la MDS .....	92
<b>Figura 55</b> CBR estimado vs CBR laboratorio del modelo 2 para el 95% de la MDS .....	92
<b>Figura 56</b> CBR estimado vs CBR laboratorio del modelo 3 para el 100% de la MDS .....	93
<b>Figura 57</b> CBR estimado vs CBR laboratorio del modelo 3 para el 95% de la MDS .....	93
<b>Figura 58</b> CBR estimado vs CBR laboratorio del modelo 4 para el 100% de la MDS .....	94
<b>Figura 59</b> CBR estimado vs CBR laboratorio del modelo 4 para el 95% de la MDS .....	94



## Glosario

$PP_{\#}$  – Porcentaje de material que pasa el tamiz #

$D_{10}$  – Diámetro correspondiente al 10% más fino en la curva granulométrica o tamaño efectivo

$D_{30}$  – Diámetro correspondiente al 30% más fino en la curva granulométrica

$D_{60}$  – Diámetro correspondiente al 60% más fino en la curva granulométrica

$C_u$  – Coeficiente de uniformidad

$C_c$  – Coeficiente de gradación

$LL$  – Límite líquido

$LP$  – Límite plástico

$IP$  – Índice de plasticidad

$G_s$  – Gravedad específica de los sólidos del suelo

$OD$  – Gravedad específica del agregado grueso en estado seco al horno

$OCH$  – Óptimo contenido de humedad

$OCHC$  – Óptimo contenido de humedad corregido

$MDS$  – Máxima densidad seca

$MDSC$  – Máxima densidad seca corregida

$CBR_s$  – Relación de soporte de California saturado o con inmersión

$CBR_{ns}$  – Relación de soporte de California no saturado o sin inmersión

## Capítulo I: Generalidades

### 1.1. Introducción

La relación o valor de soporte de California (CBR) es una propiedad que expresa la calidad y resistencia de suelos y materiales granulares no consolidados empleados en la construcción de carreteras, presas de tierra y pistas de aterrizaje de aeropuertos (Hassan et al., 2021). Para determinar este parámetro se realiza el ensayo CBR que “es una prueba de resistencia que compara la relación de soporte del material ensayado con la de una piedra triturada estándar bien gradada” (Alawi & Rajab, 2013, p. 212), y puede tomar al menos 4 días en completarse debido, principalmente, al periodo de inmersión requerido por la normas ASTM D1883 y NF P 94-078. Sin embargo, existe una variante de este ensayo en donde se excluye la inmersión y se obtiene una relación de soporte conocida como CBR no saturado o CBR *unsoaked*.

El presente estudio tiene como objetivo central establecer una correlación entre el CBR (también conocido como CBR saturado o CBR *soaked*) y ciertas propiedades de los suelos como son la máxima densidad seca, el contenido de finos (porcentaje de suelo que pasa por el tamiz No. 200) y el CBR no saturado. Para ello, se desarrollarán modelos estadísticos que permitirán estimar de forma confiable y en menor tiempo el CBR de distintos tipos de suelos para los grados de compactación del 100% y 95%, a partir de un análisis de regresión con los datos de las propiedades mencionadas anteriormente. La investigación tendrá un enfoque cuantitativo y un diseño no experimental de tipo transversal, en donde las variables del estudio se medirán y cuantificarán a partir de los datos de los ensayos que se ejecutarán en el laboratorio central de la empresa Mota-Engil Perú S.A. (LABMEP). Se utilizarán 12 muestras de suelo de distintas características granulométricas, desde arcillas hasta gravas, procedentes de Lima, Callao y algunas regiones del interior del país (San Martín, Apurímac y Cajamarca).

## 1.2. Objetivos

### Objetivo General:

Determinar una correlación entre el valor de soporte de California (CBR) y las propiedades propuestas (máxima densidad seca, contenido de finos y CBR no saturado) para los grados de compactación del 100% y 95% en distintos tipos de suelo

### Objetivos Específicos:

1. Obtener y comparar los valores del CBR saturado y CBR no saturado de los distintos tipos de suelo de la investigación.
2. Evaluar la variación del CBR al omitir el periodo de inmersión.
3. Desarrollar modelos estadísticos para estimar el CBR y determinar su grado de confiabilidad.

## 1.3. Preguntas de Investigación

### Pregunta General:

¿Qué correlación existe entre el valor de soporte de California (CBR) y las propiedades propuestas (máxima densidad seca, contenido de finos y CBR no saturado) para los grados de compactación del 100% y 95% en distintos tipos de suelo?

### Preguntas Específicas:

1. ¿Cómo se comportan los valores del CBR saturado y CBR no saturado de los distintos tipos de suelo de la investigación?
2. ¿Cómo se comporta el valor del CBR al omitir el periodo de inmersión?
3. ¿Cuáles son los modelos estadísticos que permiten estimar el CBR, y qué grado de confiabilidad presentan?

#### 1.4. Justificación

De acuerdo con Al Hadithi (2018), una de las siete causas de los retrasos en los proyectos de construcción de carreteras en Irak, es la demora en la ejecución de los ensayos de materiales y la obtención de resultados. En esta relación se incluye el ensayo CBR que, según ASTM International (2021c), necesita de por lo menos 04 días para cumplir con el periodo de inmersión y determinar la expansión del material. Hassan et al. (2021) argumentan que este periodo ralentiza el avance de cualquier proyecto en un margen significativo y, además, agregan que cada megaproyecto necesita una gran cantidad de ensayos CBR todos los días, lo que supone una carga importante para los laboratorios de ensayo de materiales. Taha et al. (2019) añaden que a pesar de la importancia del ensayo CBR en el diseño ingenieril de pavimentos, este tarda un tiempo considerable en su ejecución, lo que puede provocar retrasos injustificados en el cronograma del proyecto y, por lo tanto, aumentar el costo de este.

La presente investigación contribuirá a generar modelos estadísticos que permitan estimar el CBR a partir de los valores de la máxima densidad seca, contenido de finos y CBR no saturado de distintos tipos de suelo para los grados de compactación del 100% y 95%. Con esta metodología, se pretende reducir el tiempo de ejecución del ensayo CBR y lograr, con su práctica, una mayor productividad en el desarrollo de los proyectos viales. Por otro lado, la investigación permitirá introducir en el Perú la metodología que concierne al cálculo y aplicación del CBR no saturado; además, sus resultados servirán para conocer el comportamiento de la relación de soporte del suelo en ausencia del periodo de inmersión y como primer marco de referencia del estudio de esta metodología en nuestro país.

### **1.5. Hipótesis**

1. El CBR no saturado es mayor al CBR saturado, puesto que este último valor trata de simular la peor condición a la que va a estar sometida el suelo y, por tanto, tendrá teóricamente un menor valor.
2. La omisión del periodo de inmersión en el ensayo CBR genera un incremento significativo en la relación de soporte del suelo, particularmente en suelos cohesivos con alto contenido de finos. Este efecto se atribuye a la reducción del grado de saturación, que limita la pérdida de cohesión y deformabilidad de este tipo de suelos. En suelos granulares, la variación del CBR ante la omisión del periodo de inmersión es menos significativa debido a su baja susceptibilidad al cambio de su contenido de humedad.
3. Un modelo estadístico que incorpore una corrección por el periodo de inmersión (CBR no saturado) y considere propiedades del suelo como la máxima densidad seca y el contenido de finos permite estimar el CBR con suma precisión. Este modelo presenta un coeficiente de determinación elevado, es decir, tiene un alto grado de confiabilidad.

### **1.6. Alcance y Limitaciones**

La investigación tiene un alcance tanto descriptivo como correlacional. Por un lado, el alcance descriptivo abarca la medición y recopilación de datos clave del CBR saturado (variable dependiente), el CBR no saturado, la máxima densidad seca y el contenido de finos (variables independientes), a través de ensayos de laboratorio realizados en distintos tipos de suelos. Por otro lado, el alcance correlacional se centra en analizar la relación y el grado de asociación entre estas variables con el fin de obtener modelos estadísticos capaces de estimar el CBR saturado a partir de las propiedades del suelo.

En cuanto a las limitaciones, uno de los principales retos fue la falta de estudios nacionales sobre el CBR no saturado, lo que llevó a utilizar referencias internacionales, como la norma francesa NF P 94-078, para su cálculo y aplicación. Además, el gran volumen de suelo necesario para los ensayos (entre 120 y 300 kg por muestra), sumado a los recursos de tiempo y costo, limitó la cantidad de muestras a 12. A pesar de esta limitación, se logró incluir una variedad de suelos, desde gravas y arenas hasta limos y arcillas. Debido al número reducido de muestras, no fue posible desarrollar modelos estadísticos individuales para cada tipo de suelo. En su lugar, se optó por modelos generales que abarcan todas las muestras, así como modelos específicos que agrupan los suelos con contenido de finos mayor y menor al 35%, en concordancia con la clasificación AASHTO, que distingue entre suelos granulares y finos.

Finalmente, se espera que los modelos obtenidos sean aplicables a suelos procedentes de canteras, cortes y terrenos naturales, con propiedades granulométricas y contenido de finos similares a los estudiados. Esto permitirá estimar el CBR saturado de manera confiable en futuras aplicaciones prácticas, especialmente en obras de infraestructura vial y movimientos de tierra.

## Capítulo II: Marco Teórico

En este capítulo se desarrolla la perspectiva teórica de la investigación. En general, se realiza un repaso de los principales términos, procedimientos y metodologías que involucran los ensayos de laboratorio, se presentan los estudios previos que servirán como marco de referencia de la investigación y se detallan los modelos estadísticos de investigaciones pasadas. Por último, se muestra el glosario con los términos más importantes del presente estudio.

### 2.1. Conceptos y Definiciones

#### 2.1.1. Suelos

Los suelos son una combinación de partículas de varias formas y tamaños. Esta combinación contiene “sedimentos u otras acumulaciones no consolidadas de partículas sólidas producidas por la desintegración física y química de las rocas, que pueden contener o no materia orgánica” (ASTM International, 2021a, p. 38).

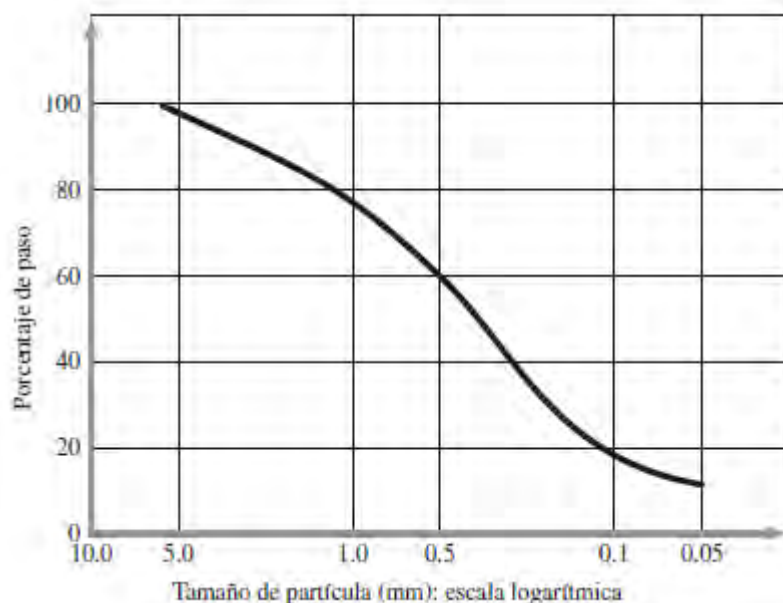
#### 2.1.2. Análisis granulométrico por tamizado

El análisis granulométrico por tamizado es un procedimiento de ensayo empleado para determinar la distribución del tamaño de partículas de un material. La metodología del ensayo “consiste en agitar la muestra de suelo a través de un conjunto de tamices estándar que tienen aberturas más pequeñas progresivamente” (Das, 2015, p. 33). De acuerdo con ASTM International (2017), el análisis granulométrico por tamizado se utiliza para separar las partículas de una muestra de suelo en rangos de tamaño. Se registra la masa de las partículas retenidas en cada rango, desde el tamiz de 3 pulgadas (75 mm) hasta el tamiz No. 200 (75  $\mu$ m), para determinar la distribución granulométrica o gradación de un suelo. Los resultados pueden presentarse en una gráfica denominada curva granulométrica, como se observa en la figura 1, donde se tabulan los datos del porcentaje de la fracción pasante frente al logaritmo del tamaño

de los tamices en milímetros. Para el realizar el análisis granulométrico por tamizado se toma como referencia a las normas ASTM D422 y D6913.

### Figura 1

*Curva de distribución de tamaño de partícula*



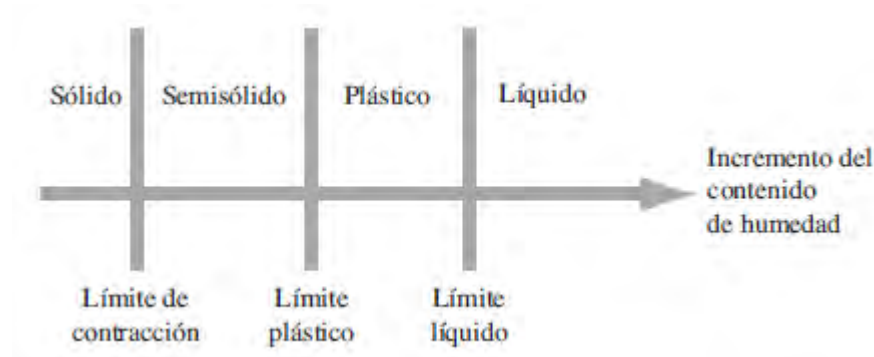
*Nota.* Tomado de Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, de Das, 2015.

#### 2.1.3. Límites de consistencia

Los límites de consistencia fueron desarrollados a principios del siglo XX por el científico sueco Albert Atterberg. Más tarde, a fines de los 1920s, K. Terzaghi y A. Casagrande, estandarizaron los límites de Atterberg con el fin de que pudieran utilizarse fácilmente en la clasificación de los suelos. De acuerdo con ASTM International (2018), los límites de consistencia, en el uso actual de la ingeniería, generalmente se refieren a los límites líquido y plástico. Estos, son puntos de transición entre los estados sólido, semisólido y plástico del suelo y dependen de la variación del contenido de humedad, como se muestra en la figura 2. El procedimiento de ensayo para calcular el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad se detalla en la norma ASTM D4318.

**Figura 2**

*Límites de consistencia de Atterberg*



*Nota.* Tomado de Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Das, 2015.

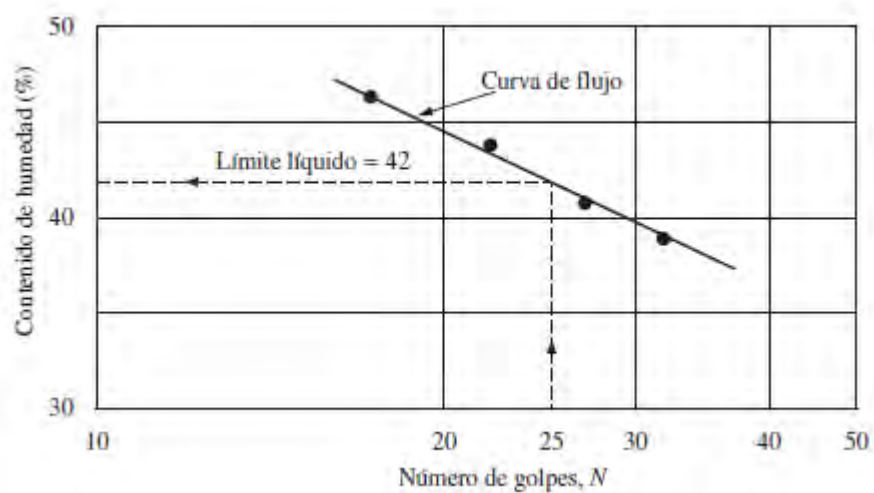
El límite líquido es el “contenido de agua, en porcentaje, de un suelo en límite arbitrariamente definido entre los estados semilíquido y plástico” (ASTM International, 2018, p. 2).

Atterberg definió el límite líquido como el contenido de agua en el que un corte, en una muestra de suelo preparada, se cerrará a una distancia de 13 mm (1/2 pulgada) con 25 golpes de una copa de bronce. [...] Casagrande descubrió que si se trazan los valores del contenido de agua frente al logaritmo del número de golpes, se obtiene una curva, la cual denominó curva de flujo. Por lo tanto, el límite líquido puede ser definido, también, como el contenido de agua donde la curva de flujo cruza 25 golpes. (Holtz et al., 2011, p. 43)

Las figuras 3 y 4 muestran, respectivamente, la copa de Casagrande y curva de flujo empleados para determinar el límite líquido de acuerdo a los lineamientos de la norma ASTM D4318.

**Figura 3***Copa de Casagrande*

*Nota.* Equipo del laboratorio de Mota-Engil Perú S.A.

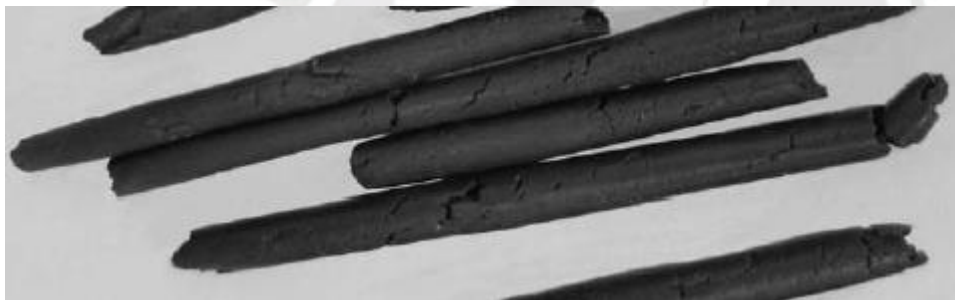
**Figura 4***Curva de flujo para la determinación del límite líquido*

*Nota.* Tomado de Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, de Das, 2015.

El límite plástico es el “contenido de humedad, en porcentaje, de un suelo en el límite entre los estados plástico y semisólido” (ASTM International, 2018, p. 2). Según Budhu (2010), el límite plástico se determina, primero, enrollando una pequeña porción de la muestra en hilos finos de aproximadamente 3.2 mm (1/8 pulgada) de diámetro y, después, registrando el contenido de humedad en el momento en el que estos rollos comienzan a agrietarse, es decir, cuando se observen fisuras como las que se muestra en la figura 5. Por último, se hacen dos o más registros y el contenido de humedad promedio se reporta como el límite plástico. La metodología para determinar el límite plástico del suelo se detalla en la norma ASTM D4318.

### Figura 5

*Fisuras en los rollos del suelo*



*Nota.* Tomado de *Soil Mechanics and Foundations*, de Budhu, 2010.

De acuerdo con ASTM International (2018), el índice de plasticidad es el rango de contenido de agua sobre el cual un suelo se comporta plásticamente. Numéricamente, es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico ( $IP = LL - LP$ ). Según Holtz et al. (2011), el índice de plasticidad es útil para la clasificación de los suelos finos (arcillas y limos), y se ha encontrado que muchas propiedades ingenieriles del suelo se correlacionan empíricamente con el valor de este índice.

#### 2.1.4. Clasificación de los suelos

Según Das (2015), los suelos pueden clasificarse en grupos y subgrupos de acuerdo a sus características mecánicas y su comportamiento ingenieril. En la actualidad, existen dos sistemas de clasificación que son lo más utilizados en las distintas ramas de la ingeniería civil. Estos son el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS) y *American Association of State Highway Officials* (AASHTO) que emplean la información de la granulometría y los límites de consistencia de los suelos para poder clasificarlos.

ASTM International (2020) sostiene que el sistema de clasificación SUCS, como se ilustra en la tabla 1, identifica tres divisiones principales: suelos de grano grueso, suelos de grano fino y suelos altamente orgánicos. Estas tres divisiones se subdividen de acuerdo al tamaño de las partículas y la plasticidad del suelo para hacer un total de 15 grupos. Budhu (2010) menciona que este sistema utiliza los símbolos G (grava) y S (arena) para identificar los suelos de grano grueso y los símbolos M (limo) y C (arcilla) para los suelos de grano fino. Para caracterizar la gradación de los suelos de grano grueso se utilizan los símbolos W (bien gradado) y P (mal gradado), mientras que los símbolos H (alta plasticidad) y L (baja plasticidad) se emplean para expresar la plasticidad de los suelos de grano fino de acuerdo al gráfico que se presenta en la figura 6. Por último, el símbolo O indica la presencia de material orgánico y el símbolo Pt se utiliza para la turba. En la actualidad, este sistema de clasificación es ampliamente utilizado en la ingeniería y los lineamientos específicos para su desarrollo se proporcionan en la norma ASTM D2487.

Tabla 1

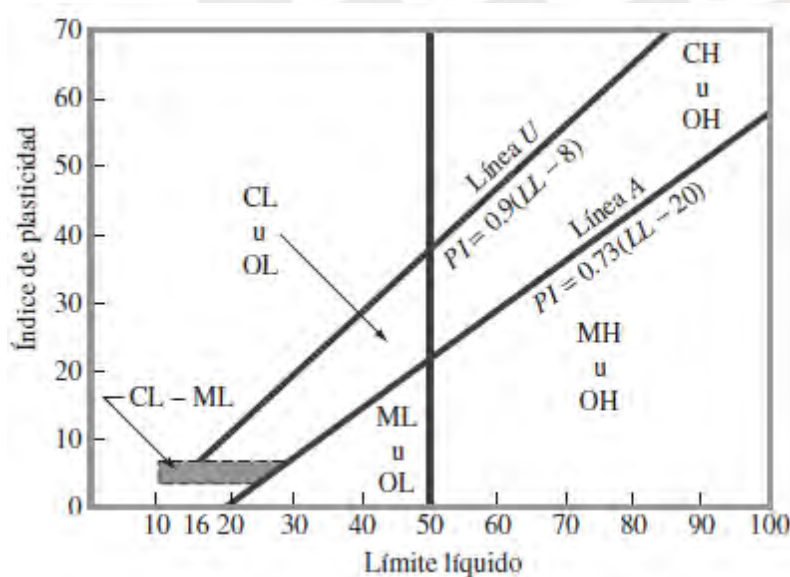
## Criterios del sistema de clasificación SUCS

Criterio para la asignación de símbolos de grupo				Símbolos de grupo
Suelos de grano grueso Más de 50% retenido en el tamiz núm. 200	Gravas Más de 50% de fracción gruesa retenida en el tamiz núm. 4	Gravas limpias	$C_u \geq 4$ y $1 \leq C_c \leq 3^c$	GW
		Menos de 5% finos <sup>a</sup>	$C_u < 4$ y/o $1 > C_c > 3^c$	GP
	Arenas 50% o más de la fracción gruesa pasa tamiz núm. 4	Gravas con finos	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2)	GM
		Más de 12% finos <sup>a,d</sup>	$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	GC
	Limos y arcillas Límite líquido menor que 50	Inorgánico	$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2) <sup>e</sup>	CL
		Orgánico	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2) <sup>e</sup>	ML
Suelos de grano fino 50% o más pasa a través del tamiz núm. 200	Limos y arcillas Límite líquido 50 o más	Inorgánico	$\frac{\text{Límite líquido: secado}}{\text{Límite líquido: no secado}} < 0.75$ ; vea la figura 4.2; zona OL	OL
		Orgánico	Gráficos $PI$ en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	CH
	Limos y arcillas Límite líquido 50 o más	Inorgánico	Gráficos $PI$ por debajo de "A" línea (figura 4.2)	MH
		Orgánico	$\frac{\text{Límite líquido: secado}}{\text{Límite líquido: no secado}} < 0.75$ ; vea la figura 4.2; zona OH	OH
Suelos altamente orgánicos Materia orgánica principalmente, color oscuro y orgánico				Pt

Nota. Tomado de Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, de Das, 2015.

Figura 6

## Carta de plasticidad



Nota. Tomado de Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, de Das, 2015.

De acuerdo con Budhu (2010), el sistema de clasificación AASHTO separa los suelos en siete grupos, del A-1 al A-7, con varios subgrupos, como se muestra en la tabla 2.

Los suelos que clasifican en los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales granulares, donde el 35% o menos de las partículas pasan a través del tamiz No. 200. Los suelos donde más de 35% pasa a través del tamiz No. 200 se clasifican en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7. Éstos son principalmente limo y materiales del tipo de arcilla. (Das, 2015, p. 78)

**Tabla 2**

*Criterios del sistema de clasificación AASHTO*

General Classification	Granular Materials (35% or less passing No. 200)							Silt-Clay Materials (More than 35% passing No. 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Sieve analysis, % passing											
No. 10 (2.00 mm)	50 max	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 40 (425 μm)	30 max	50 max	51 min	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 200 (75 μm)	15 max	25 max	10 max	35 max	35 max	35 max	35 max	36 min	36 min	36 min	35 min
Characteristics of fraction passing No. 40 (425 μm)											
Liquid limit		...	...	40 max	41 max	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min
Plasticity index		6 max	N.P.	10 max	10 max	11 min	11 min	10 max	10 max	11 min	11 min <sup>a</sup>
Usual types of significant constituent materials	Stone Fragments, Gravel and Sand		Fine Sand	Silty or Clayey Gravel and Sand				Silty Soils		Clayey Soils	
General rating as subgrade	Excellent to Good						Fair to Poor				

*Nota.* Tomado de *Soil Mechanics and Foundations*, de Budhu, 2010.

El índice de grupo (IG) se utiliza para evaluar los suelos dentro de cada grupo del sistema AASHTO y se calcula a través de la siguiente fórmula empírica:

$$IG = (F - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + [0.01(F - 15)(IP - 10)]$$

Donde F es el porcentaje que pasa la malla No. 200, LL el límite líquido e IP el índice de plasticidad. Los lineamientos para aplicar este sistema se detallan en el estándar ASTM D3282.

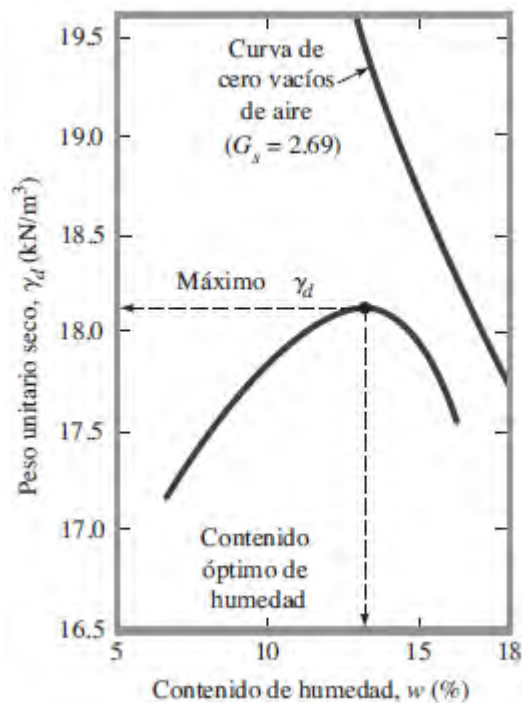
### 2.1.5. Compactación de los suelos

De acuerdo con Budhu (2010), la compactación del suelo es la densificación del material a través de la expulsión de aire, es decir, se produce una reducción de la relación de vacíos. Esto normalmente se logra mediante el uso de compactadores mecánicos, rodillos y apisonadores con la adición de agua. Das (2015) añade que la compactación aumenta la resistencia de los suelos y produce el incremento de la relación de soporte de las zapatas construidas sobre los suelos compactados. Los ensayos de compactación más comunes son los ensayos Proctor estándar y modificado, cuya metodología de ensayo se explica en las normas ASTM D698 y D1557, respectivamente. Estos ensayos determinan el óptimo contenido de humedad y la máxima densidad seca del material compactado.

Según ASTM International (2021b), el procedimiento para realizar el ensayo Proctor modificado empieza con la compactación de una muestra de suelo, en cinco capas, en un molde de 4 o 6 pulgadas de diámetro. Cada capa será compactada por 25 o 56 golpes, dependiendo del método seleccionado (A, B y C), mediante un pisón de 10 lbf (44.48 N) que se deja caer desde una distancia de 18 pulgadas (457.2 mm), sometiendo al suelo a un esfuerzo de compactación de aproximadamente de 56 000 ft-lbf/ft<sup>3</sup> (2700 kN-m/m<sup>3</sup>). El procedimiento se repite variando el contenido de humedad de la muestra con el fin de establecer una relación entre la densidad seca y el contenido de humedad. Esta relación, una vez representada gráficamente, se conoce como curva de compactación, en donde su punto más alto representa el valor del óptimo contenido de humedad y la máxima densidad seca del material compactado, tal como se muestra en la figura 7.

**Figura 7**

*Curva de compactación típica de una arcilla limosa*



*Nota.* Tomado de Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, por Das, 2015.

Es importante destacar que si el espécimen de ensayo contiene más del 5% en masa de la fracción sobredimensionada o gruesa (porcentaje retenido en el tamiz de  $\frac{3}{4}$  de pulgada) y dicha fracción no será incluida en el ensayo, se deben aplicar correcciones al óptimo contenido de humedad y a la máxima densidad seca siguiendo las directrices de la norma ASTM D4718.

### **2.1.6. Relación de soporte de California**

La relación de soporte de California o *California Bearing Ratio* (CBR) es un parámetro ampliamente utilizado en el diseño de pavimentos flexibles, ya que influye en la determinación del espesor del pavimento (Katte et al., 2019). Según ASTM International (2021c), este parámetro evalúa la resistencia de un suelo compactado a la aplicación de una carga de penetración de un pistón circular a velocidad constante. El CBR se expresa como la relación

entre la carga del pistón necesaria para producir una penetración de 0.1 y 0.2 pulgadas (2.5 y 5.0 mm) en el material compactado y la carga estándar de penetración aplicada a un material de referencia (roca triturada bien gradada). La determinación del CBR de especímenes compactados de laboratorio se realiza de acuerdo a las directrices de las normas ASTM D1883 y NF P 94-078.

Según Bowles (1981), el ensayo CBR fue desarrollado por la División de Carreteras de California en 1929, con el objetivo de medir la relación de soporte de un suelo para su uso como material de base o subrasante en la construcción de carreteras. Luego, durante la Segunda Guerra Mundial, el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos adoptó este ensayo para emplearlo en la construcción de las pistas de aterrizaje de los aeropuertos. Según ASTM International (2021c), este método de ensayo evalúa la resistencia de suelos, materiales rocosos y productos industriales que tienen un tamaño máximo inferior a  $\frac{3}{4}$  de pulgada (19 mm). AFNOR (1997) añade que el ensayo CBR, también, aplica a estos materiales cuando se mezclan con diferentes productos como cal aérea, ligantes hidráulicos o puzolánicos, fibras, etc. Es relevante resaltar que el ensayo de CBR también puede llevarse a cabo en suelos con un tamaño máximo superior a  $\frac{3}{4}$  de pulgada. Sin embargo, es necesario retirar y reemplazar el material retenido en el tamiz de  $\frac{3}{4}$  de pulgada con una cantidad equivalente de material que pase a través de esta malla pero que sea retenido en el tamiz No. 4 (4.75 mm).

El ensayo comienza con la preparación y compactación de 03 especímenes de suelo de acuerdo al método C del ensayo Proctor estándar o modificado en un molde de 6 pulgadas (152.4 mm) de diámetro. Se preparan los especímenes al óptimo contenido de humedad del suelo y se compactan con diferentes energías de deformación (10, 25 y 56 golpes) con la finalidad de obtener el CBR a distintos grados de compactación. Bowles (1981) sostiene que

luego de la compactación, se sumergen los especímenes en agua durante 96 horas para determinar la expansión del suelo. Durante el periodo de inmersión, los especímenes estarán sometidos a una sobrecarga igual al peso del pavimento que se utilizará en campo, pero en ningún caso menor a 4.5 kg. Después del periodo de inmersión, se registra la expansión del suelo, se retiran los moldes del agua y se realiza la penetración de los especímenes mediante un pistón de una prensa de carga, como se muestra en la figura 8, que se desplaza a una velocidad uniforme de 0.05 pulg/min (1.27 mm/min).

### Figura 8

*Prensa de carga Multispeed*

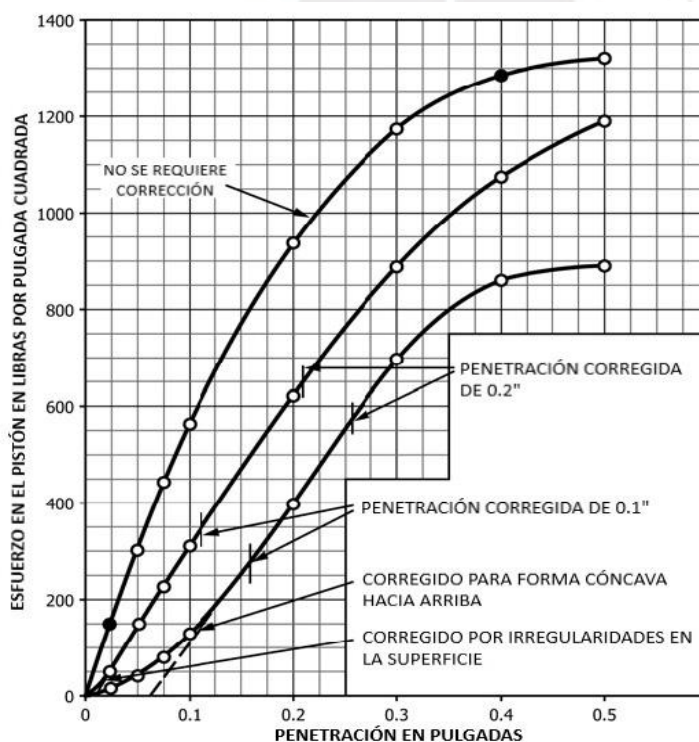


*Nota.* Equipo del laboratorio de Mota-Engil Perú utilizado en el ensayo CBR.

Durante el ensayo, se registran las lecturas de la carga a distintas penetraciones y, una vez finalizado, se recolecta una parte del material ensayado para determinar su contenido de humedad de acuerdo a los lineamientos de la norma ASTM D2216. Cabe precisar que para obtener el CBR no saturado, o CBR *unsoaked*, se omite la inmersión y se procede a la penetración de los especímenes inmediatamente después de la compactación. Con la data del ensayo se grafican las curvas esfuerzo-deformación y se ajustan en caso de que presenten una concavidad inicial hacia arriba debido a irregularidades en la superficie. El procedimiento implica medir la desviación de la curva inicial y aplicar una corrección para obtener la curva corregida tal como se muestra en la figura 9.

**Figura 9**

*Corrección de las curvas esfuerzo-deformación*



*Nota.* Adaptado de *ASTM D1883-21 Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils*, de ASTM International, 2021.

De acuerdo con ASTM International (2021c), por lo general, se reporta el CBR a una penetración de 0.1 pulgadas; sin embargo, si el CBR a una penetración de 0.2 pulgadas es considerablemente mayor que a 0.1 pulgadas, se puede reportar ambos resultados o repetir el ensayo si hay suficiente material disponible. Si el nuevo ensayo da un resultado similar, entonces se debe utilizar el CBR a una penetración de 0.2 pulgadas.

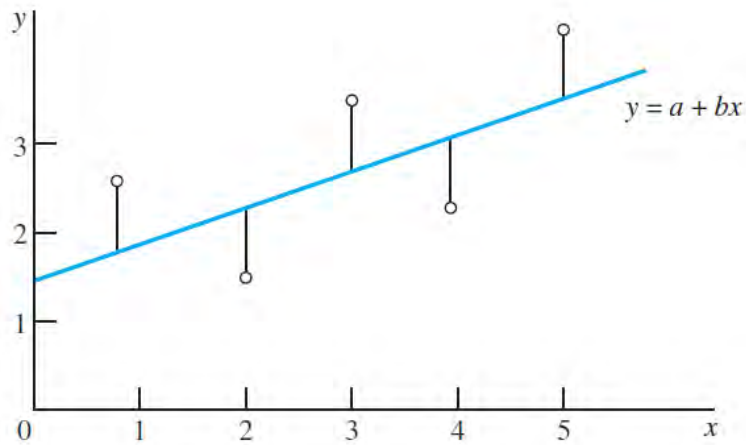
### **2.1.7. Análisis de regresión**

Según Walpole et al. (2012), el análisis de regresión consiste en encontrar la mejor relación entre dos o más variables a través de un modelo estadístico que permita estimar la fuerza de esa relación y predecir los valores de respuesta o variables dependientes a partir de los regresores o variables independientes. El análisis que estudia la relación entre múltiples variables independientes y una dependiente se conoce como regresión múltiple, mientras que el análisis que involucra solo una variable independiente se llama regresión simple.

Según Walpole et al. (2012), la regresión lineal simple estudia el caso de dos variables, una dependiente y otra independiente, en donde sus datos muestran un patrón lineal. Mendenhall et al. (2015) sostienen que el objetivo de este modelo estadístico es encontrar la recta de regresión o de mejor ajuste para un conjunto de datos que se puede obtener mediante el método de mínimos cuadrados. Este método minimiza la suma de los errores cuadráticos entre los valores observados y los valores pronosticados por la recta de regresión, tal como se observa en la figura 10. La recta de regresión permite predecir los valores de la variable dependiente “Y” a partir de los valores de la variable independiente “X” y se expresa a través de la ecuación de regresión lineal:  $Y = a + bX$ . En donde el valor de “a” representa la intersección de la recta con el eje ordenado y “b”, la pendiente o inclinación de la recta.

**Figura 10**

*Método de mínimos cuadrados y recta de regresión*



*Nota.* Tomado de Introducción a la Probabilidad y Estadística, de Mendenhall et al., 2015.

Para estimar la fuerza de la relación lineal entre las variables se utiliza el coeficiente de correlación producto-momento de Pearson ( $r$ ). Este parámetro determina si las variables están relacionadas de manera significativa y evalúa la confiabilidad de los modelos de regresión lineal. De acuerdo con Mendenhall et al. (2015) este coeficiente varía entre -1 y 1, donde un valor de -1 indica una correlación negativa perfecta, un valor de 0 indica ausencia de correlación y un valor de 1 indica una correlación positiva perfecta. Mientras más cercano se encuentre a -1 o 1, mayor será la correlación entre las variables y, en consecuencia, mayor será la capacidad de predicción del modelo de regresión lineal. Otro parámetro importante que explica el vínculo entre las variables es el coeficiente de determinación ( $r^2$ ) que se obtiene al elevar al cuadrado el coeficiente de correlación de Pearson. El coeficiente de determinación indica “el porcentaje de la variación de una variable debido a la variación de la otra variable y viceversa (o cuánto explica o determina una variable la variación de la otra)” (Hernández et al., 2014, p. 306). Cuando el coeficiente de determinación se encuentra entre 0.66 y 0.85, esto

indica una buena capacidad de predicción de una variable en relación a la otra. Si el coeficiente es superior a 0.85, esto sugiere que las dos variables miden un concepto subyacente casi idéntico.

De acuerdo con Mendenhall et al. (2015), la regresión lineal múltiple es una técnica que amplía el enfoque de la regresión lineal simple al considerar más de una variable independiente para explicar la variabilidad en la variable dependiente. Su objetivo es estimar el peso de cada variable independiente “ $X_i$ ” y su impacto en la variable dependiente “ $Y$ ”, tanto de manera individual como en conjunto. Para ello, se aplica la ecuación de la regresión lineal múltiple:

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + \dots + b_kX_k$$

En donde “ $a$ ” es una constante de regresión denominada intercepto, mientras que, “ $b_1, b_2, b_3, \dots, b_k$ ” son los valores que reflejan el grado de influencia o peso que ejerce cada variable independiente sobre la dependiente.

Para determinar la fuerza de la relación entre la variable dependiente y todas las variables independientes tomadas en conjunto se calcula el coeficiente de correlación múltiple ( $R$ ). A medida que el valor del coeficiente se acerca a 1, las variables independientes tendrán una mayor correlación con la variable dependiente, y podrán explicar en mayor medida las variaciones de esta última. De acuerdo con Hernández et al. (2014), al elevar al cuadrado el coeficiente  $R$ , se obtiene el coeficiente de determinación o correlación parcial ( $R^2$ ), que indica el porcentaje de la variación de la variable dependiente que se explica por todas las variables independientes consideradas. En otras palabras, el coeficiente de determinación nos indica la cantidad de variación de la variable dependiente que es explicada por las independientes. Es importante destacar que el coeficiente de determinación  $R^2$  es equivalente al coeficiente de determinación  $r^2$  utilizado en la regresión lineal simple.

## 2.2. Revisión de la Literatura

### 2.2.1. Contexto nacional

Araujo (2014) desarrolló una metodología para obtener el valor del CBR de diseño mediante la correlación con las propiedades índice y de compactación de los suelos, en condición remoldeada y saturada, usando datos históricos de un laboratorio en Piura. En la investigación, se aplicó tanto la regresión lineal simple como la múltiple con los datos del CBR y nueve propiedades del suelo (límites de consistencia, máxima densidad seca, óptimo contenido de humedad y porcentajes de grava, arena, limo y arcilla obtenidos del análisis granulométrico por tamizado). Los resultados de la investigación revelaron que el óptimo contenido de humedad y el contenido de grava proporcionaron una adecuada correlación con el valor del CBR de laboratorio. Se obtuvo un coeficiente de determinación  $r^2$  de 0.66 con el óptimo contenido de humedad y 0.70 con el contenido de grava. Además, se observó que al realizar una regresión lineal múltiple con los nueve parámetros del suelo se obtuvo la mejor correlación de la investigación ( $R^2 = 0.776$ ).

Carrasco (2016) realizó una investigación cuasiexperimental con el objetivo de determinar una correlación entre el valor de soporte de California (CBR) y la resistencia a la compresión no confinada en suelos cohesivos ( $q_u$ ). Para ello, se extrajeron muestras de suelo inalterado y alterado en el pueblo joven Nuevo Progreso en Chiclayo. En la investigación se ejecutó los ensayos en muestras de suelo en estado natural y saturado, después, se realizó un análisis de regresión con los resultados de los ensayos que permitió obtener los modelos estadísticos. De acuerdo con los resultados obtenidos, la ecuación de correlación entre el CBR y la resistencia a la compresión no confinada para el suelo en estado natural alcanzó un coeficiente de determinación  $r^2$  de 0.713, evidenciando una fuerte asociación. En contraste, para el suelo en estado saturado, el coeficiente de determinación fue de solo 0.121, valor que

sugiere una correlación prácticamente inexistente entre el CBR y la resistencia a la compresión no confinada bajo condiciones de saturación. Este resultado indica que, en estado saturado, no existe una relación significativa entre ambas variables, por lo que el modelo no es confiable para fines predictivos. Esto se debe a que el ensayo de compresión no confinada se realiza en condiciones de humedad natural, lo que limita su capacidad para representar el comportamiento del suelo en estado saturado.

Llanos y Reyes (2017) desarrollaron una investigación cuasiexperimental con el fin de obtener una correlación entre el ensayo CBR de laboratorio y la penetración dinámica de cono (PDC) en la localidad de Pisci-Chiclayo. En este trabajo, se obtuvieron las ecuaciones a través de una regresión polinómica con los resultados de los ensayos anteriormente descritos. Por un lado, la ecuación obtenida para la arena limosa (SM) tuvo un coeficiente de determinación  $r^2$  igual a 0.99. Por otro lado, la ecuación obtenida para la arcilla de baja plasticidad (CL) y arcilla limo arenosa de baja plasticidad (CL-ML) tuvo un coeficiente de determinación  $r^2$  igual a 0.977. Estas ecuaciones permitieron determinar el valor del CBR de laboratorio con un grado de confiabilidad bastante aceptable.

Montes (2020) realizó una investigación cuantitativa no experimental con el objetivo de estimar la relación de soporte de California a través de 02 ecuaciones de correlación. Para ello, se obtuvo muestras inalteradas de suelo de 13 puntos de exploración, los cuales fueron realizados a nivel de subrasante en el tramo Gallito de las Rocas-Los Olivos, en la región de Junín. Para la primera ecuación de correlación se utilizó el análisis de regresión potencial para estimar el CBR a partir del índice PDC, obteniéndose un coeficiente de correlación  $r$  de 0.978 y un coeficiente de determinación  $r^2$  de 0.956. Para la segunda ecuación de correlación se utilizó el análisis de regresión múltiple para estimar el CBR a partir de los valores del índice

PDC, contenido de humedad y densidad natural del suelo, obteniéndose un coeficiente de correlación R de 0.970 y un coeficiente de determinación  $R^2$  de 0.941.

### 2.2.2. Contexto internacional

Al-Refeai y Al-Suhaibani (1997) correlacionaron el valor de la profundidad de penetración del penetrómetro dinámico de cono (D) con el valor del CBR de distintos tipos de suelo preparados en laboratorio, desde arcillas hasta arenas gravosas. Para la investigación, se utilizó una variedad de modelos de regresión, siendo el modelo log-log el que alcanzó los coeficientes de correlación más altos. Además, para cada tipo de suelo se obtuvo un bajo error estándar de estimación (SEE) y un coeficiente de determinación ( $r^2$ ) cercano a la unidad. También, se pudo apreciar que las partículas de grava influyeron en los resultados, puesto que se obtuvo un coeficiente de determinación relativamente bajo para muestras de suelo con una cantidad apreciable de grava (<15%). A pesar de ello, los resultados del estudio de correlación indicaron una relación sólida y consistente entre los ensayos CBR de laboratorio y el penetrómetro dinámico de cono para cada tipo de suelo ensayado. De los modelos se obtuvieron valores altos del coeficiente de determinación ( $r^2 = 0.81-0.96$ ) y valores relativamente bajos del error estándar de determinación (SEE = 0.226-0.509).

Yildirim y Gunaydin (2011) estimaron la relación de soporte de California utilizando el análisis de regresión (simple y múltiple) y redes neuronales artificiales (ANNs), a partir de los datos del análisis granulométrico, límites de Atterberg, óptimo contenido de humedad y densidad seca máxima de suelos empleados en la construcción de las autopistas de diferentes regiones de Turquía. En la investigación, se obtuvieron altos coeficientes de determinación ( $r^2 = 0.86$ ) en el análisis de regresión simple que utiliza el porcentaje de grava como parámetro independiente. Por otro lado, en los análisis de regresión múltiple se emplearon los resultados

de los límites de consistencia, el análisis granulométrico por tamizado, óptimo contenido de humedad y densidad seca máxima como variables independientes para desarrollar modelos de estimación del CBR. El valor del coeficiente de determinación  $R^2$  para estos modelos fue de 0.88. Por otra parte, se emplearon 05 modelos estadísticos utilizando redes neuronales artificiales en donde se obtuvo altos coeficientes de determinación ( $R^2 = 0.85-0.95$ ). De todos los hallazgos de la investigación, se concluyó que las propiedades básicas del suelo como el tamaño de las partículas, límites de Atterberg y los parámetros de compactación pueden ser utilizadas para estimar de forma razonable el CBR. Sin embargo, mientras que el porcentaje de grava y agregado fino fueron los parámetros dominantes para la estimación del CBR con el análisis de regresión simple, la densidad seca máxima, el óptimo contenido de humedad y el porcentaje de grava y arena se convirtieron en los dominantes con el análisis de regresión múltiple. Además, se observó que los modelos que se desarrollaron a través de redes neuronales artificiales exhibieron un mayor rendimiento que los modelos estadísticos tradicionales (regresión simple y múltiple) para predecir el CBR.

Alawi y Rajab (2013) investigaron la aplicabilidad del análisis de regresión para la estimación del CBR de la capa de subbase de pavimentos flexibles en las carreteras de La Meca. Se desarrollaron diversos modelos de regresión lineal múltiple, a partir de los valores del análisis granulométrico por tamizado, el óptimo contenido de humedad y la densidad seca máxima de los suelos en estudio. De los resultados de la investigación, se pudo observar que los modelos de predicción del CBR se aproximan notablemente a los valores reales. Además, se pudo apreciar que los valores de la densidad, óptimo contenido de humedad y abrasión de Los Ángeles son parámetros más efectivos para estimar el CBR que los obtenidos a través del análisis granulométrico por tamizado. La estimación mediante el análisis de regresión indicó fuertes correlaciones ( $R^2 = 0.94$ ) entre los tres valores anteriormente mencionados,

demostrando que las ecuaciones de correlación otorgan resultados satisfactorios para estimar el valor del CBR. Por último, Alawi y Rajab (2013) recomiendan utilizar las ecuaciones de correlación propuestas en su investigación para el diseño preliminar de un proyecto donde existan limitaciones financieras y de tiempo.

Sathawara y Patel (2013) desarrollaron modelos estadísticos para estimar el CBR *soaked*, también conocido CBR saturado, a partir de los valores del CBR *unsoaked* (CBR no saturado) de 04 lotes de muestras de suelo (CL, ML, SC y SM). Para ello, se realizaron ensayos de compactación Proctor para obtener los valores del óptimo contenido de humedad y densidad seca máxima de cada muestra y, más tarde, se ejecutaron los ensayos CBR para las dos condiciones de inmersión. Los resultados de los ensayos mostraron que los valores de CBR no saturado fueron mayores que los de CBR saturado, debido a que este último parámetro simula las peores condiciones a las que se someterá el pavimento, por lo que tendrá un valor menor. La misma tendencia se repitió para los cuatro tipos de suelo estudiados. Finalmente, se generaron las ecuaciones de correlación para cada tipo de suelo a través de una regresión potencial con los resultados de los ensayos CBR. Los modelos alcanzaron altos valores de correlación ( $r^2=0.828-0.981$ ), demostrando de esta manera que se puede estimar adecuadamente el CBR no saturado a través del CBR saturado para los tipos de suelos analizados en la investigación.

Osouli et al. (2017) compararon los valores del CBR saturado y CBR no saturado de muestras densamente gradadas de piedra caliza triturada. Este tipo de gradación se caracteriza por una adecuada distribución de partículas en una amplia gama de tamaños, lo que permite alcanzar una mayor densidad al minimizar los vacíos entre ellas. Este estudio tuvo en cuenta diferentes propiedades índice, como el contenido de finos (porcentaje de suelo que pasa por el

tamiz No. 200), el índice de plasticidad y el *dust ratio* (porcentaje de suelo que pasa por el tamiz No. 200 dividido sobre el porcentaje que pasa por el tamiz No. 40). Además, en la investigación se plantea un modelo capaz de predecir los valores del CBR saturado a partir de los valores del CBR no saturado y las propiedades índice previamente señaladas mediante el análisis de regresión con los resultados de 42 pares de ensayos CBR. El modelo estadístico obtenido presentó una correspondencia aceptable entre los valores pronosticados y los medidos para el CBR saturado. Los valores pronosticados presentaron una variación de aproximadamente el 19% en comparación con los valores medidos. También, los resultados de los ensayos revelaron que la influencia de la inmersión en los valores del CBR saturado y CBR no saturado varía de acuerdo al contenido de finos de la muestra. Para un aumento en el contenido de finos del 5% al 12% se observó una reducción notable tanto en los valores de CBR saturado como en los valores de CBR no saturado para las muestras con un *dust ratio* de 0.4. Por otro lado, se pudo apreciar un aumento de los valores del CBR no saturado y una disminución de los valores del CBR saturado al aumentar el contenido de finos del 5% al 12% para muestras con un *dust ratio* de 0.6 y 1.0. La diferencia entre los valores de CBR saturado y CBR no saturado se amplió hasta cuatro veces cuando el contenido de finos aumentó del 5% al 12%.

Ahmed et al. (2018) desarrollaron tres ecuaciones empíricas para predecir el CBR saturado utilizando las propiedades índice, la densidad seca y el CBR no saturado de arcillas de baja plasticidad en Dhaka, Bangladesh. El primer modelo utilizó una regresión lineal múltiple con el porcentaje de arena, limo y arcilla, los límites de consistencia, el contenido de humedad y la densidad seca. La validez del modelo se confirmó mediante un análisis de varianza (ANOVA), donde el valor calculado del cociente F superó al tabulado. El segundo modelo utilizó una regresión potencial con la densidad seca del suelo bajo diferentes energías

de compactación, obteniendo un coeficiente de determinación  $r^2$  de 0.921. El tercer modelo utilizó una regresión potencial con los valores del CBR saturado y no saturado, logrando un  $r^2$  de 0.917, mostrando su confiabilidad en la estimación del CBR saturado para arcillas de baja plasticidad. Además, se comparó este modelo con el de Sathawara y Patel (2013), obteniéndose resultados muy similares. Ahmed et al. (2018) concluyeron que su método puede aplicarse para correlacionar valores de CBR saturado y no saturado en otros tipos de suelo y que estas correlaciones son útiles en aplicaciones prácticas.

Arshad et al. (2018) llevaron a cabo un estudio comparativo sobre la resistencia del suelo de la subrasante de un pavimento flexible en la región central de la península de Malasia, utilizando tanto ensayos in situ como de laboratorio. Los ensayos de campo proporcionaron valores del CBR in situ, el índice del penetrómetro dinámico de cono (PDC) y el módulo elástico del deflectómetro de impacto portable (P-FWD). Mientras tanto, los ensayos de laboratorio generaron valores del CBR saturado y no saturado. A partir de los datos obtenidos en ambos tipos de ensayos, se desarrollaron modelos de regresión. Se encontró una buena correlación ( $r^2 = 0.771$ ) entre los valores del CBR in situ y el CBR no saturado, lo cual puede deberse a que el CBR in situ se obtuvo para suelos compactados a su óptimo contenido de humedad o ligeramente por debajo, creando condiciones similares al CBR no saturado. Además, se observó una fuerte correlación ( $r^2 = 0.834$ ) entre los valores del CBR saturado y el CBR no saturado, probablemente debido a que se ensayaron materiales similares. Los resultados también mostraron que el CBR saturado tiende a ser menor que el CBR no saturado, posiblemente porque el primero se somete a un periodo de inmersión que aumenta su contenido de humedad.

### 2.3. Modelos Estadísticos

A continuación, se presentan los modelos estadísticos desarrollados en investigaciones previas para predecir el CBR, empleando propiedades índice, parámetros de compactación y resultados de otros ensayos. Estos modelos se construyen a partir del análisis de regresión y redes neuronales artificiales (ANNs).

#### 2.3.1. Análisis de regresión simple

**Tabla 3**

*Modelos de regresión simple*

Referencia	Modelo estadístico	Coefficiente de determinación $r^2$	Tipo de material aplicable
Montes (2020)	$CBR = 36.098/PDC^{0.76}$	0.956	ML, CL
Arshad et al. (2018)	$CBR_s = 0.310CBR_{un} + 1.919$	0.834	Suelos finos
	$CBR_{in-situ} = 0.232CBR_{un} + 10.75$	0.771	
Ahmed et al. (2018)	$CBR_s = 0.0007/Dry\ Density^{2.9181}$	0.921	CL
	$CBR_s = 0.767/CBR_{un}^{0.9362}$	0.917	
Valencia (2018)	$CBR = -0.4622PDC + 19.875$	0.953	ML
	$CBR = -1.9006PDC + 43.563$	0.919	SM, SP-SM, SP
Llanos y Reyes (2017)	$CBR = 0.3138PDC^3 + 5.1495PDC^2 + 25.226PDC - 16.98$	0.990	SM
	$CBR = -0.7434PDC^3 + 21.661PDC^2 - 208.63PDC + 667.29$	0.977	CL, CL-ML
Carrasco (2016)	$CBR = (0.549 + 1.694 q_u)^2$	0.713	ML, CL

Referencia	Modelo estadístico	Coficiente de determinación $r^2$	Tipo de material aplicable
Sathawara y Patel (2013)	$CBR_s = 0.936CBR_{un}^{0.819}$	0.828	CL
	$CBR_s = 1.056CBR_{un}^{0.850}$	0.850	ML
	$CBR_s = 0.666CBR_{un}^{1.086}$	0.981	SC
	$CBR_s = 0.906CBR_{un}^{0.775}$	0.863	SM
Yildirim y Gunaydin (2011)	$CBR = 0.2353G + 3.0798$	0.860	CH, CL, GC, GM, GP-GC, MH, ML, SC
Al-Refeai y Al-Suhaibani (1997)	$\text{Log CBR} = 2.494 - 1.0672\text{Log D}$	0.693	SP, SP-SM, SM, ML, CL

### 2.3.2. Análisis de regresión múltiple

**Tabla 4**

*Modelos de regresión múltiple*

Referencia	Modelo estadístico	Coficiente de determinación $R^2$	Tipo de material aplicable
Montes (2020)	$CBR = 11.172\gamma - 0.115\%W - 0.13IPDC - 7.586$	0.941	ML, CL
Katte et al. (2019)	$CBR = -20.19 + 47.130MDD - 2.895OMC - 0.091PL - 0.055PI + 0.049\%Gravel - 0.668\%Sand + 0.000\%Clay/Silt$	0.841	A-2-7
Taha et al. (2019)	$CBR = 53.57MDD + 0.526D_{60} + 0.303R\#4 - 61.39$	0.935	Suelos granulares
Ahmed et al. (2018)	$CBR_s = 0.163(Sand\%) + 0.166(Silt\%) + 0.001(Clay\%) - 0.402LL - 0.001PL + 0.222MC + 0.462MDD$	-	CL

Referencia	Modelo estadístico	Coefficiente de determinación $R^2$	Tipo de material aplicable
	$CBR_{soaked} = \alpha_p \times \alpha_f \times \alpha_d \times CBR_{unsoaked}$ <p>Donde:</p> $\alpha_p$ = Factor de corrección por índice de plasticidad $\alpha_f$ = Factor de corrección por contenido de finos $\alpha_d$ = Factor de corrección por dust ratio		Agregado de piedra caliza triturada de tipo CA 6
Araujo (2014)	$CBR = 0.681G - 2.917OMC + 0.032F - 17.991MDD + 0.510LL - 0.820IP + 0LP + 0.205S + 64.890$	0.776	Suelos granulares y finos
Alawi y Rajab (2013)	$CBR = -112.4335 - 0.2856LA - 4.7280OMC + 98.4613Density$	0.940	Suelos granulares
Yildirim y Gunaydin (2011)	$CBR = 0.22G + 0.045S + 4.739MDD + 0.122OMC$	0.880	CH, CL, GC, GM, GP-GC, MH, ML, SC

### 2.3.3. Redes neuronales artificiales

**Tabla 5**

*Modelos de redes neuronales artificiales*

Referencia	Variables de entrada	Estructura	Coefficiente de determinación $R^2$	Tipo de material aplicable
Taha et al. (2019)	MDD, $D_{60}$	2-5-1	0.970	Suelos granulares
Yildirim y Gunaydin (2011)	G, S, MDD, OMC	4-4-1	0.880	CH, CL, GC, GM, GP-GC, MH, ML, SC
Taskiran (2010)	LL, PI, MDD, OMC, (C+S), S, G	7-4-1	0.910	A-4, A-5, A-6, A-7

### **Capítulo III: Metodología Experimental**

En este capítulo se expone la metodología experimental empleada en el estudio, detallando tanto el enfoque como el diseño de la investigación. Se describe la población considerada y se definen las variables del estudio desde una perspectiva conceptual y operacional. Asimismo, se presentan los materiales y equipos utilizados, especificando el tipo de muestra recolectada y los instrumentos empleados durante el proceso experimental. Finalmente, se describe la técnica aplicada para la recolección de datos, junto con una explicación detallada de cada una de las etapas que conformaron dicho procedimiento.

#### **3.1. Enfoque de la Investigación**

El presente estudio tiene un enfoque cuantitativo el cual se caracteriza por seguir un proceso estructurado y secuencial, donde cada etapa sigue un orden riguroso y se vincula con la siguiente. Mediante la aplicación de este enfoque, se recopilaron y analizaron los datos obtenidos de los ensayos de laboratorio, se midieron las variables de la investigación y se establecieron relaciones entre ellas a través del método estadístico conocido como análisis de regresión con el fin de obtener la propuesta final de la investigación que son los modelos estadísticos. Por último, se comprobaron las hipótesis planteadas y se propusieron conclusiones objetivas y generalizables.

#### **3.2. Diseño de la Investigación**

La investigación desarrolla un diseño no experimental transversal de tipo correlacional-causal, puesto que se alinea con el alcance y los objetivos planteados, además que es el diseño más adecuado para poner a prueba las hipótesis de este estudio en concreto. De acuerdo con Hernández et al. (2014), este diseño se caracteriza por no manipular intencionalmente las variables; en lugar de ello, se observan los fenómenos tal como ocurren en su contexto natural

para su posterior análisis. También, se caracteriza por llevar a cabo el proceso de recolección de datos en un único momento, con el objetivo de describir las variables y analizar cómo se relacionan entre sí. Para el contexto de la investigación, se realizó la recolección de datos de los ensayos de laboratorio en un solo punto en el tiempo, sin manipular deliberadamente las variables, y se realizó el tratamiento de la información para obtener los modelos estadísticos.

### **3.3. Población**

La población de estudio incluye ciertos suelos granulares (gravas y arenas) y finos (limos y arcillas) provenientes de Lima, Callao y otras regiones del país como San Martín, Apurímac y Cajamarca. Estos suelos, extraídos de canteras, cortes y terrenos naturales, tienen potencial para ser utilizados como material de construcción en distintas obras de infraestructura vial y movimiento de tierra.

### **3.4. Variables**

- Variable dependiente: CBR saturado.
- Variables independientes: CBR no saturado, máxima densidad seca y contenido de finos.

### **3.5. Operacionalización**

De acuerdo con Hernández et al. (2014), la operacionalización consiste en transformar un concepto abstracto en una entidad tangible y medible, mediante el uso de indicadores específicos y valores cuantificables. En este contexto, la tabla 6 presenta el proceso de operacionalización de las variables consideradas en la investigación.

**Tabla 6***Operacionalización de las variables de la investigación*

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Ítems
CBR saturado	El CBR saturado evalúa la relación de soporte del suelo y se expresa como la relación entre el esfuerzo aplicado por un pistón circular que genera una penetración de 0.1 o 0.2 pulgadas en el suelo y el esfuerzo estándar aplicado a un material de referencia, según la norma ASTM D1883.	Celda de carga y sensor de deformación digital con escala en kilonewtons (kN) y milímetros (mm) respectivamente.	Relación de soporte del suelo	Esfuerzo aplicado por un pistón circular que genera una penetración de 0.1 o 0.2 pulgadas en el suelo	Carga del pistón medida a través de una celda de carga en kN  Penetración del pistón medido a través de un sensor de deformación digital en mm
CBR no saturado	El CBR no saturado evalúa la relación de soporte de un suelo sin inmersión previa. Se expresa como la relación entre el esfuerzo aplicado por un pistón circular que genera una penetración de 0.1 o 0.2 pulgadas en el suelo y un esfuerzo estándar, según las normas ASTM D1883 y NF P 94-078.	Celda de carga y sensor de deformación digital con escala en kilonewtons (kN) y milímetros (mm) respectivamente.	Relación de soporte del suelo sin inmersión previa	Esfuerzo aplicado por un pistón circular que genera una penetración de 0.1 o 0.2 pulgadas en el suelo	Carga del pistón medida a través de una celda de carga en kN  Penetración del pistón medido a través de un sensor de deformación digital en mm

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Ítems
Máxima densidad seca	Esta propiedad representa la mayor densidad seca que puede alcanzar un suelo al ser compactado bajo condiciones óptimas de humedad. Gráficamente, representa el valor más alto alcanzado por el suelo en la curva de compactación cuando se aplica una energía de compactación específica de acuerdo con los lineamientos de las normas ASTM D698 o D1557.	Balanza y pie de rey con escala en gramos (g) y milímetros (mm) respectivamente.	Masa por unidad de volumen del suelo excluyendo el agua	Densidad húmeda del suelo	Masa del suelo húmedo medido a través de una balanza en gramos Diámetro y altura del molde que contiene el suelo medidos a través de un pie de rey en mm
Contenido de finos	El contenido de finos representa la proporción en masa de las partículas de tamaño menores a 0.075 mm (arcilla y limo) que están presentes en una muestra de suelo. Se expresa como el porcentaje que pasa el tamiz de diámetro No. 200 en el ensayo granulométrico por tamizado que se realiza según los lineamientos de las normas ASTM D422 o D6913.	Balanza con escala en gramos (g)	Porción de arcilla y limo que contiene el suelo	Contenido de humedad del suelo Porcentaje de la masa total del suelo que pasa el tamiz de diámetro No. 200 (0.075 mm)	Masa del suelo húmedo medido a través de una balanza en gramos Masa del suelo seco medido a través de una balanza en gramos Masa retenida en el tamiz No. 200 medida a través de una balanza en gramos Masa total de la muestra de suelo medida a través de una balanza en gramos

### 3.6. Materiales

En total se recolectaron 12 muestras de suelo, distribuidas de la siguiente manera: 04 del proyecto de ampliación del aeropuerto internacional Jorge Chávez en el Callao, 01 de la avenida Leoncio Prado en Uchiza, Tocache, San Martín, 01 de la unidad minera Las Bambas entre Cotabambas y Grau en Apurímac, 04 de la carretera Chontay y avenida Nueva Toledo en Cieneguilla, Lima, 01 del pasaje Primavera en Baños del Inca, Cajamarca, y 01 de la autopista Ramiro Prialé en el km 19.5 de la carretera Central, Ñaña, Lurigancho-Chosica, Lima. La tabla 7 presenta un resumen que contiene la información recopilada de cada muestra, incluyendo detalles como el tipo de material, procedencia, lugar de muestreo y cantidad recolectada.

**Tabla 7**

*Información de las muestras de suelo*

Código	Tipo de material	Procedencia	Lugar de muestreo	Cantidad
A0154/22	Base	Cantera Nor Building-Huaycoloro	Acopio en obra, Zona N°4 – Proyecto de ampliación del aeropuerto Jorge Chávez, Callao	200 kg
A0155/22	Terreno natural	Material de corte	Acopio en obra, Zona N°6 – Proyecto de ampliación del aeropuerto Jorge Chávez, Callao	180 kg
A0223/22	Base granular	Cantera Posada	Acopio en obra, Zona N°4 – Proyecto de ampliación del aeropuerto Jorge Chávez, Callao	300 kg
A0224/22	Base granular	Cantera Birrak	Acopio en obra, Zona N°4 – Proyecto de ampliación del aeropuerto Jorge Chávez, Callao	300 kg
A0226/22	Material 1B	Relleno Capa N°19	Construcción Etapa 5 Presa de Relaves – Unidad Minera Las Bambas, Cotabambas y Grau, Apurímac	300 kg
A0246/22	Material arenoso	Material de corte	Material acopiado – Av. Nueva Toledo km 29, lado derecho, Cieneguilla, Lima	250 kg

Código	Tipo de material	Procedencia	Lugar de muestreo	Cantidad
A0247/22	Material limoso	Material de corte	Material acopiado – Av. Nueva Toledo km 29, lado derecho, Cieneguilla, Lima	250 kg
A0249/22	Terreno natural	Material de terreno de fundación	Material acopiado – Carretera Chontay km 2, lado derecho, Cieneguilla, Lima	200 kg
A0250/22	Base granular	Material de corte	Material acopiado – Av. La Molina km 6+200, lado derecho, Cieneguilla, Lima	300 kg
A0494/22	Terreno natural	Material de corte	Pasaje Primavera, Baños del Inca, Cajamarca	200 kg
A0517/22	Terreno natural	Material de corte	Autopista Ramiro Prialé a la altura del km 19.5 de la carretera Central, Ñaña, Lurigancho-Chosica, Lima	150 kg
A0573/22	Terreno natural	Material de corte	Avenida Leoncio Prado Cuadra 7, Uchiza, Tocache, San Martín	100 kg

### 3.7. Equipos

Para la recolección de datos cuantitativos, se utilizaron los equipos de medición del laboratorio central de Mota-Engil Perú S.A. (LABMEP), acreditado por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL) y ubicado en la Avenida Nicolás Ayllón 2634, distrito de Ate, Lima. Entre los instrumentos empleados destacan la balanza, el pie de rey, la celda de carga y el sensor de deformación digital, todos calibrados y verificados periódicamente para garantizar la confiabilidad de las mediciones.

La gestión y almacenamiento de los datos obtenidos en los ensayos se llevó a cabo mediante el software GESLAB, que permite controlar y monitorear las actividades del

laboratorio. Inicialmente, los datos fueron registrados en formatos físicos y posteriormente transcritos a hojas de cálculo validadas para su procesamiento y análisis.

Cabe destacar que el certificado y el alcance de acreditación del LABMEP, los cuales respaldan su competencia técnica en la ejecución de ensayos en materiales de construcción como suelos, agregados, rocas y asfaltos, se encuentran en los Anexos A y B de esta investigación.

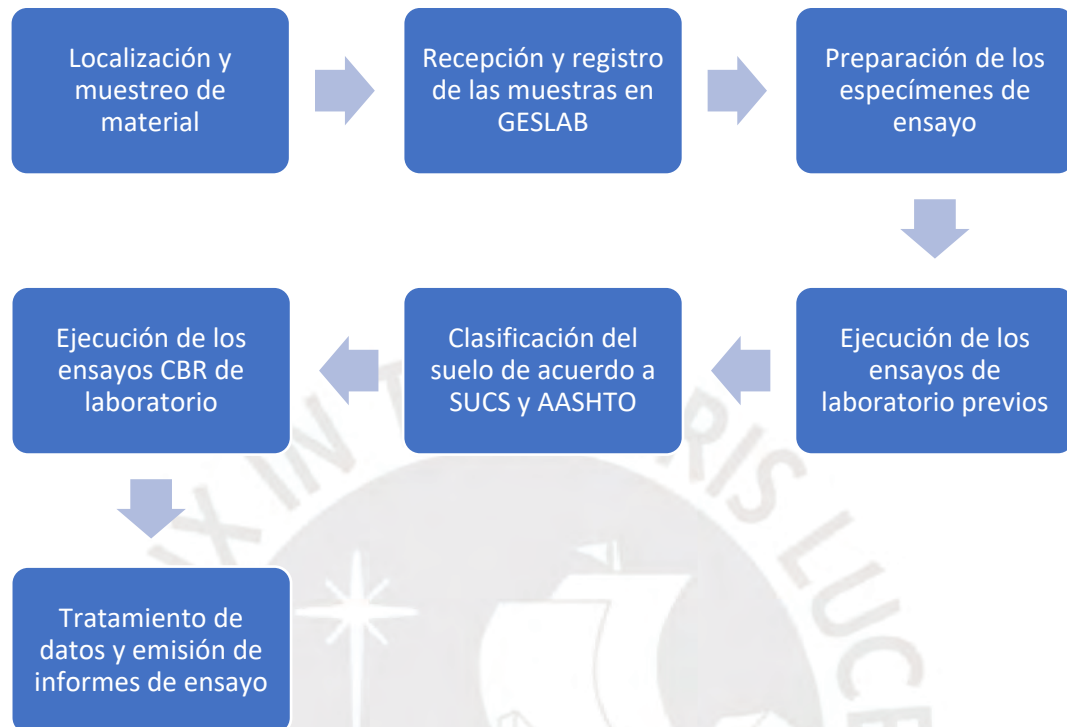
### **3.8. Procedimiento de Recolección de Datos**

El procedimiento de recolección de datos se desarrolló en 7 etapas, tal como se ilustra en la figura 11. La primera etapa consistió en la obtención de las muestras de suelo, en donde se coordinó su recolección y transporte hacia el LABMEP. Una vez en el laboratorio, las muestras fueron registradas e identificadas en la plataforma GESLAB, mientras que, de manera paralela, se llevó a cabo el proceso de cuarteo. Posteriormente, se prepararon los especímenes y se ejecutaron los ensayos de laboratorio preliminares, entre los que destacan el análisis granulométrico por tamizado, los límites de consistencia y los ensayos de compactación Proctor. Con base en los resultados obtenidos, se procedió a clasificar los suelos según los lineamientos de los sistemas SUCS y AASHTO, tras lo cual se ejecutaron los ensayos CBR en presencia y ausencia del periodo de inmersión. Por último, se realizó el tratamiento de los datos obtenidos y la emisión de los respectivos informes de ensayo, tarea que estuvo a cargo del jefe de laboratorio.

Es importante señalar que la recolección, el traslado y la preparación de las muestras de suelo, así como la ejecución de los ensayos de laboratorio, fueron realizados con el apoyo técnico y logístico de la empresa Mota-Engil Perú S.A.

**Figura 11**

*Diagrama de flujo del procedimiento de recolección de datos*



### 3.8.1. Localización y muestreo de material

En esta etapa, se identificaron y recolectaron muestras alteradas de suelo de distintas localidades del Perú, procedentes de material de corte, de canteras y terreno natural. La empresa Mota-Engil Perú S.A. proporcionó muestras de suelo del proyecto de ampliación del aeropuerto Jorge Chávez y de la construcción de la etapa 05 de la presa de relaves de la unidad minera Las Bambas, mientras que las demás muestras fueron obtenidas de forma particular. En general, se recolectó aproximadamente 120-300 kg de suelo por muestra con el objetivo de desarrollar todos los ensayos de laboratorio propuestos en la investigación. En las figuras 12 y 13 se expone el proceso de muestreo de material procedente de cantera y corte respectivamente.

**Figura 12**

*Muestreo de material de cantera*

**Figura 13**

*Muestreo de material de corte*



### 3.8.2. Recepción y registro de las muestras en GESLAB

Las muestras de suelo se transportaron a las instalaciones del laboratorio de Mota-Engil Perú S.A. (LABMEP), el cual se encuentra en la Av. Nicolás Ayllón 2634, en Ate. Una vez en el laboratorio, el personal técnico se encargó de la recepción y verificación del material como se aprecia en la figura 14. A continuación, se utilizó el sistema GESLAB para asignar la codificación a la muestra, ingresar la información referente al material (ver figura 15) y atribuir los ensayos de laboratorio pertinentes.

**Figura 14**

*Recepción y verificación de muestra de suelo*



Figura 15

Registro de muestra en plataforma GESLAB

The screenshot displays the WeMake platform interface for sample registration. The top navigation bar includes 'General' and 'Gestión de Laboratorios'. Below this, there are tabs for 'Gestión', 'Facturación', 'Registro', and 'Análisis Estadístico'. The main content area is titled 'Filtrar Información' and shows a list of samples with columns for 'Código de Muestra', 'Fecha de Muestreo', and 'Fecha de Recepción'. The 'Modificar Muestra' section is highlighted in orange and contains the following details:

Código de Muestra	A0154/22	Fecha de Muestreo	2022 03 25	Fecha de Recepción	2022 03 25
Obra / Cantera del Solicitante	Investigaciones LABMEP	Ensayos Adjudicados en	2022 03 25	Procedencia	Acopio en Obra - Zona N°4 - Procedencia: Cantera
Designación	Caracterización de Suelos	Referencias	Base	Estudios	L 021 2022 Investigaciones LABMEP
Toma de Muestras	Responsabilidad del Solicitante	Informe			

At the bottom of the 'Modificar Muestra' section, there are buttons for 'Guardar', 'Nuevo', 'Limpiar Formulario', 'Eliminar', and 'Imprimir'.

### 3.8.3. Preparación de los especímenes de ensayo

En esta etapa, el personal técnico de laboratorio realizó el cuarteo y la preparación de los especímenes de ensayo, dejando el material listo para los ensayos propuestos (ver Figura 16).

Figura 16

Cuarteo de muestra de suelo



### 3.8.4. Ejecución de los ensayos de laboratorio previos

En esta etapa se realizaron los ensayos de laboratorio para determinar las propiedades índice, clasificar los suelos y obtener su contenido óptimo de humedad y densidad seca máxima, parámetros esenciales para preparar y remoldear las muestras del ensayo CBR. Las propiedades índice se obtuvieron a través de los siguientes ensayos: análisis granulométrico por tamizado (ASTM D422), límites de consistencia de Atterberg (ASTM D4318), gravedad específica de suelos (ASTM D854) y gravedad específica del agregado grueso (ASTM C127). Los procedimientos de estos ensayos se ilustran en las figuras 17, 18, 19 y 20.

#### Figura 17

*Proceso de tamizado del suelo según ASTM D422*



**Figura 18**

*Determinación del límite líquido según ASTM D4318*

**Figura 19**

*Determinación del límite plástico según ASTM D4318*



**Figura 20**

*Ejecución del ensayo de gravedad específica de suelos según ASTM D854*



El óptimo contenido de humedad y la máxima densidad seca de los suelos se determinaron mediante el ensayo Proctor modificado (ASTM D1557). Además, para corregir estas propiedades se utilizó la metodología descrita en la norma ASTM D4718. Los equipos y el procedimiento de ensayo se muestran en las figuras 21 y 22 respectivamente.

**Figura 21**

*Equipamiento utilizado en el ensayo Proctor Modificado según ASTM D1557*



**Figura 22**

*Compactación del suelo mediante pisón manual según ASTM D1557*



### **3.8.5. Clasificación del suelo de acuerdo a SUCS y AASHTO**

Con las propiedades índice (granulometría y límites), los suelos se clasificaron según los sistemas SUCS y AASHTO, siguiendo las normas ASTM D2487 y ASTM D3282, respectivamente.

### **3.8.6. Ejecución de los ensayos CBR de laboratorio**

En esta etapa se ejecutaron los ensayos CBR en presencia y ausencia del periodo de inmersión. El primero sigue la metodología descrita en la norma ASTM D1883, en donde la penetración se ejecuta luego de sumergir la muestra en agua por 96 horas. En cambio, el segundo se apoya en la metodología descrita en la norma NF P 94-078, en donde la penetración se ejecuta inmediatamente después de preparar y compactar el espécimen de ensayo, es decir, se omite el periodo de inmersión. El procedimiento del ensayo CBR se presenta en las figuras 23, 24 y 25.

**Figura 23**

*Preparación de espécimen de ensayo en molde CBR según ASTM D1883*

**Figura 24**

*Inmersión del ensayo CBR según ASTM D1883*



**Figura 25**

*Penetración del espécimen de ensayo según ASTM D1883*



### **3.8.7. Tratamiento de datos y emisión de informes de ensayo**

La información de los ensayos de laboratorio se recolectó de forma escrita en los registros de ensayo, luego, estos datos fueron transcritos de forma digital a los reportes de ensayo. Durante el llenado de los reportes, se realizó el tratamiento de datos con el objetivo de descartar algún error o inconsistencia en los resultados; por último, se emitieron los informes de ensayo, con aprobación previa del jefe de laboratorio.

Luego de culminar el proceso de recolección de datos, se presentó la información más relevante de los ensayos de laboratorio en tablas, se realizó el análisis de los resultados, se desarrollaron los modelos estadísticos y se propusieron las conclusiones y posibles comentarios de la investigación.

## **Capítulo IV: Resultados**

En este capítulo se presentan los resultados de las pruebas realizadas en el laboratorio central de Mota-Engil Perú S.A. (LABMEP), que incluyen los ensayos de granulometría por tamizado, límites de consistencia, gravedad específica de los sólidos del suelo y del agregado grueso, compactación Proctor y determinación del CBR saturado y CBR no saturado. Luego, se analizan y comparan los valores obtenidos para la relación de soporte de California en presencia y ausencia del periodo de inmersión. Por último, se desarrolla un análisis descriptivo de las variables y un análisis de regresión para obtener los modelos estadísticos de la investigación.

### **4.1. Ensayos de Laboratorio**

En esta sección se presentan los resultados de los ensayos de laboratorio. Se distingue claramente entre los ensayos dedicados a determinar las propiedades índice del suelo, como el análisis granulométrico y los límites de consistencia, aquellos enfocados en determinar las propiedades de compactación, como el ensayo Proctor, y los ensayos CBR en presencia y ausencia del periodo de inmersión. Finalmente, se ofrece un resumen de los principales resultados obtenidos, proporcionando una visión integral del comportamiento de los diferentes tipos de suelos bajo las condiciones evaluadas.

#### **4.1.1. Análisis granulométrico por tamizado**

El análisis granulométrico por tamizado, el cual consiste en la separación de las partículas por tamaño utilizando tamices de malla estándar, se realizó de acuerdo a los lineamientos del método de ensayo ASTM D422. La tabla 8 presenta los principales resultados del ensayo.

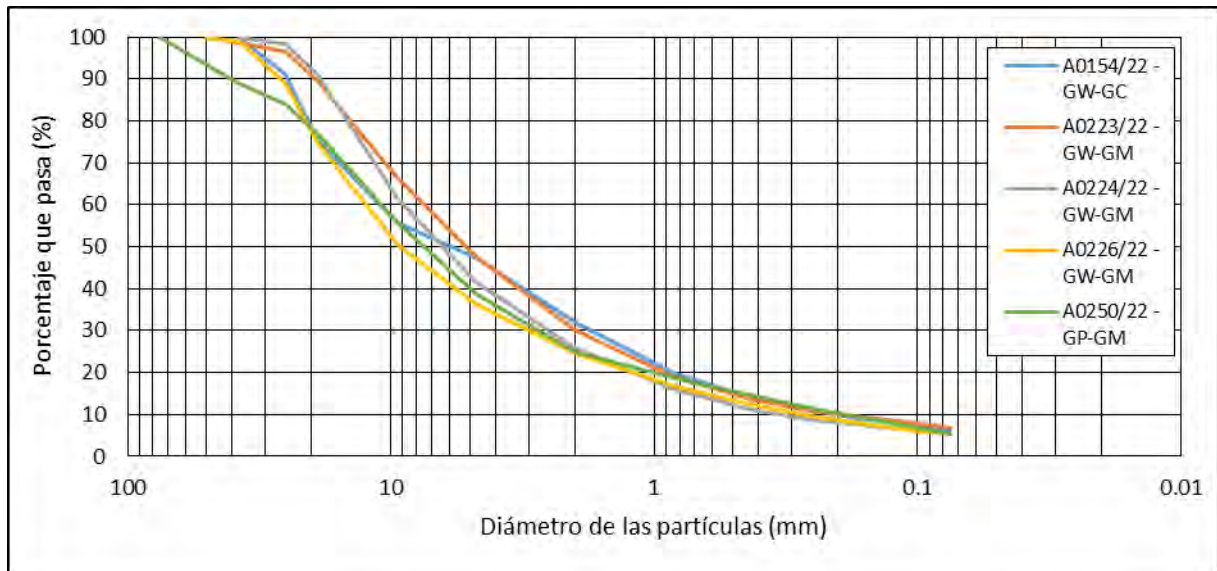
**Tabla 8***Resultados del análisis granulométrico por tamizado*

Muestra	Tipo de material	Grava (%)	Arena (%)	Finos (%)	TM	D <sub>10</sub>	D <sub>30</sub>	D <sub>60</sub>	Cu	Cc
A0154/22	Material de base	52.8	41.2	6.0	1 1/2"	0.22	1.80	11.54	53.3	1.3
A0155/22	Terreno natural	17.1	46.7	36.2	2"	-	-	0.21	-	-
A0223/22	Base granular	52.3	40.8	6.9	2"	0.20	1.99	7.85	38.5	2.5
A0224/22	Base granular	58.4	36.1	5.5	1 1/2"	0.35	2.74	9.09	26.2	2.4
A0226/22	Material para relleno	63.7	31.0	5.3	2"	0.27	3.26	13.20	49.4	3.0
A0246/22	Material arenoso	16.6	72.7	10.7	1 1/2"	0.07	0.35	1.51	22.8	1.2
A0247/22	Material limoso	12.6	58.2	29.1	2"	-	0.09	0.77	-	-
A0249/22	Terreno natural	5.4	50.5	44.1	1 1/2"	-	-	0.22	-	-
A0250/22	Base granular	61.2	33.5	5.3	3"	0.20	3.01	11.41	56.9	4.0
A0494/22	Terreno natural	0.0	8.1	91.9	No. 4	-	-	-	-	-
A0517/22	Terreno natural	0.0	40.6	59.4	No. 4	-	-	0.08	-	-
A0573/22	Terreno natural	0.0	28.6	71.4	No. 10	-	-	-	-	-

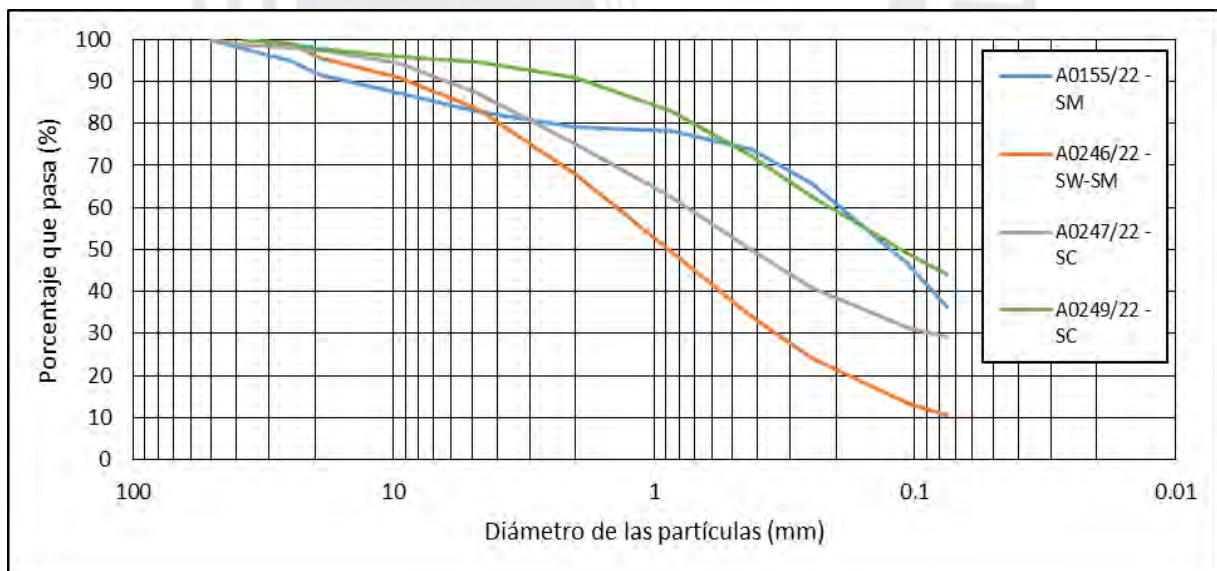
Los resultados muestran la presencia predominante de grava en 05 muestras (A0154/22, A0223/22, A0224/22, A0226/22 y A0250/22), arena en 04 muestras (A0155/22, A0246/22, A0247/22 y A0249/22), y material fino (limo y arcilla) en 03 muestras (A0494/22, A0517/22 y A0573/22). En general, todas las muestras exhiben un contenido de finos mayor al 5%. Las figuras 26, 27 y 28 muestran las curvas granulométricas de las muestras, agrupadas según el tipo de suelo dominante: grava, arena y finos, respectivamente.

**Figura 26**

*Curvas granulométricas de las muestras de matriz gravosa*

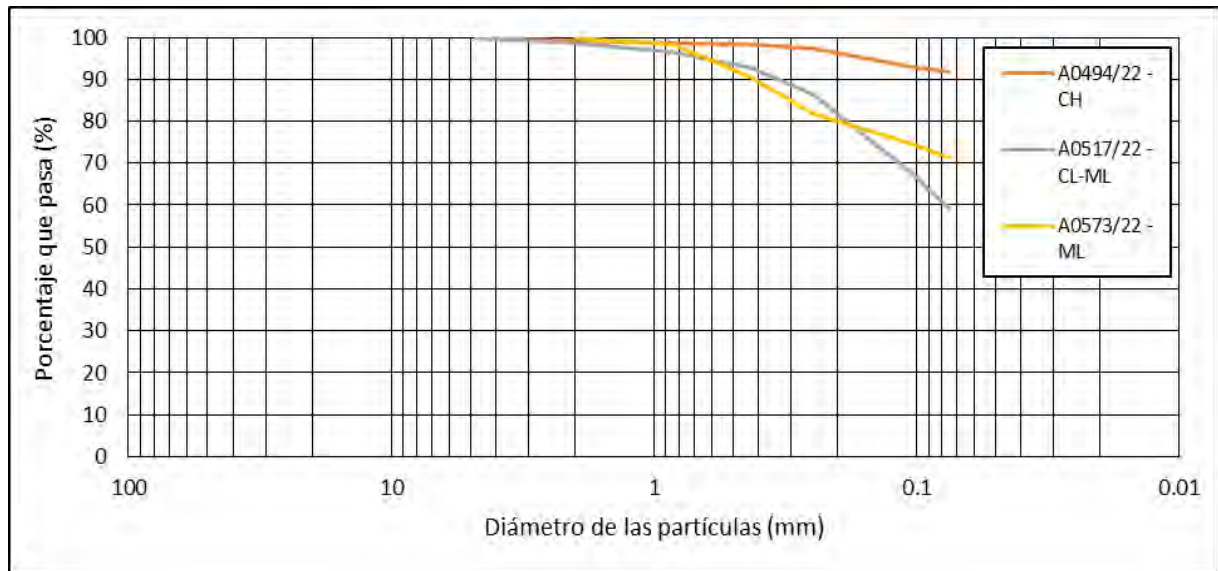
**Figura 27**

*Curvas granulométricas de las muestras de matriz arenosa*



**Figura 28**

*Curvas granulométricas de las muestras de matriz fina*



En la figura 26, se puede apreciar que las muestras de suelo gravoso presentan una amplia distribución del tamaño de sus partículas, lo que indica una buena gradación. En contraste, en la figura 27, se nota una variabilidad significativa en la distribución granulométrica de las muestras de suelo arenoso. Por último, en la figura 28, se observa que en la granulometría de las muestras de suelo fino predominan las partículas de tamaño inferior a 0.075 mm.

#### **4.1.2. Límites de consistencia**

Los límites de Atterberg y el índice de plasticidad de las muestras de suelo se determinaron siguiendo el procedimiento establecido en el método de ensayo ASTM D4318. La tabla 9 presenta un resumen de los resultados obtenidos.

**Tabla 9***Resultados del método de ensayo ASTM D4318*

Muestra	Tipo de material	LL	LP	IP
A0154/22	Material de base	19	15	4
A0155/22	Terreno natural	NP	NP	NP
A0223/22	Base granular	NP	NP	NP
A0224/22	Base granular	NP	NP	NP
A0226/22	Material para relleno	NP	NP	NP
A0246/22	Material arenoso	NP	NP	NP
A0247/22	Material limoso	32	22	10
A0249/22	Terreno natural	30	19	11
A0250/22	Base granular	NP	NP	NP
A0494/22	Terreno natural	71	29	42
A0517/22	Terreno natural	23	19	4
A0573/22	Terreno natural	45	28	17

Los resultados indican que las muestras de suelo gravoso no presentan plasticidad, a excepción de la muestra A0154/22 que tiene una baja plasticidad ( $LL < 50$ ). Las muestras de suelo arenoso tienen un límite líquido que oscila entre 30-32 y un índice de plasticidad entre 10-11, a excepción de las muestras A0155/22 y A0246/22 que carecen de plasticidad. Las muestras de suelo fino (limo y arcilla) tienen un límite líquido que oscila entre 23-71 y un índice de plasticidad entre 4-42. Además, es relevante señalar que la muestra A0494/22 es la única que presenta una alta plasticidad ( $LL > 50$ ).

### 4.1.3. Clasificación de los suelos

Para la clasificación de los suelos según los sistemas SUCS y AASHTO, se aplicaron los lineamientos de las normas ASTM D2487 y D3282, respectivamente. Estos sistemas se basan en la información obtenida del análisis granulométrico y los límites de consistencia de cada tipo material. La tabla 10 muestra los resultados de la clasificación de los suelos.

**Tabla 10**

*Clasificación de los suelos de acuerdo a SUCS y AASHTO*

Muestra	Tipo de material	SUCS	Nomenclatura	AASHTO
A0154/22	Material de base	GW-GC	Grava bien graduada con arcilla y arena	A-1-a (0)
A0155/22	Terreno natural	SM	Arena limosa con grava	A-4 (0)
A0223/22	Base granular	GW-GM	Grava bien graduada con limo y arena	A-1-a (0)
A0224/22	Base granular	GW-GM	Grava bien graduada con limo y arena	A-1-a (0)
A0226/22	Material para relleno	GW-GM	Grava bien graduada con limo y arena	A-1-a (0)
A0246/22	Material arenoso	SW-SM	Arena bien graduada con limo y grava	A-1-b (0)
A0247/22	Material limoso	SC	Arena arcillosa	A-2-4 (0)
A0249/22	Terreno natural	SC	Arena arcillosa	A-6 (2)
A0250/22	Base granular	GP-GM	Grava mal graduada con limo y arena	A-1-a (0)
A0494/22	Terreno natural	CH	Arcilla de alta plasticidad	A-7-6 (45)
A0517/22	Terreno natural	CL-ML	Arcilla limo-arenosa	A-4 (0)
A0573/22	Terreno natural	ML	Limo con arena	A-7-6 (12)

Los resultados muestran una amplia variedad de tipos de suelos. De acuerdo con el sistema de clasificación SUCS, se tiene distintas muestras de grava bien graduada con diferentes combinaciones de arcilla, limo y arena, así como algunas muestras de arena con contenido de limo y grava; además, se presentan ejemplos de arcilla de alta plasticidad y diferentes mezclas de arcilla, limo y arena. De acuerdo con el sistema de clasificación AASHTO, se tiene 07 muestras de material granular: 06 del grupo A-1 y 01 del grupo A-2. Asimismo, se cuenta con 05 muestras de material limo-arcilloso: 02 del grupo A-4, 01 del grupo A-6 y 02 del grupo A-7.

#### **4.1.4. Gravedad específica de los sólidos del suelo y del agregado grueso**

La gravedad específica de los sólidos del suelo ( $G_s$ ) es un valor adimensional que compara la densidad de los sólidos del suelo y la del agua a 20°C. Para calcular esta propiedad se sigue el método de ensayo ASTM D854 que implica medir la relación entre la masa de los sólidos del suelo y la masa de agua destilada libre de gas a 20°C, ambos contenidos en un picnómetro de volumen conocido.

La gravedad específica del agregado grueso es una cantidad adimensional que se determina a través del método de ensayo ASTM C127 y se expresa como gravedad específica en estado seco al horno (OD), en estado saturado superficialmente seco (SSD) o gravedad específica aparente. Según ASTM International (2015), este método de ensayo consiste en sumergir una muestra de agregado grueso en agua durante un período de  $24 \pm 4$  horas con el fin de llenar sus poros, luego, se seca la superficie de las partículas, se mide su masa y se calcula el volumen mediante el método del desplazamiento de agua. Por último, la muestra se seca en un horno y se mide su masa nuevamente. De acuerdo con ASTM International (2014), si el suelo contiene partículas de tamaño superior al del tamiz de malla No. 4 (4.75 mm), se debe

aplicar el método de ensayo C127 para el material retenido en dicho tamiz y el método de ensayo D854 para el material que pase dicho tamiz. La tabla 11 expone los principales resultados de estos dos métodos de ensayo.

**Tabla 11**

*Resultados de los métodos de ensayo ASTM D584 y C127*

Muestra	Tipo de material	SUCS	ASTM D854		ASTM C127
			G <sub>s</sub>	OD	Absorción (%)
A0154/22	Material de base	GW-GC	2.78	2.73	0.5
A0155/22	Terreno natural	SM	2.69	2.69	0.6
A0223/22	Base granular	GW-GM	2.78	2.68	0.8
A0224/22	Base granular	GW-GM	2.77	2.66	1.0
A0226/22	Material para relleno	GW-GM	2.71	2.60	1.2
A0246/22	Material arenoso	SW-SM	2.76	2.70	0.8
A0247/22	Material limoso	SC	2.73	2.66	1.5
A0249/22	Terreno natural	SC	2.71	2.65	0.9
A0250/22	Base granular	GP-GM	2.85	2.72	1.5
A0494/22	Terreno natural	CH	2.70	n/a	n/a
A0517/22	Terreno natural	CL-ML	2.75	n/a	n/a
A0573/22	Terreno natural	ML	2.65	n/a	n/a

Los resultados revelan que los valores de la gravedad específica  $G_s$  se encuentran en un rango de 2.65 a 2.85, lo que está dentro de los valores esperados. Además, se observa que existen muestras de suelo en donde no aplica el método de ensayo ASTM C127, puesto que no

contienen partículas de tamaño superior al del tamiz de malla No. 4 (4.75 mm), es decir, son suelos en donde predominan las partículas finas. Es relevante destacar que, para propósitos de la investigación, se utilizarán los valores de la gravedad específica de los sólidos del suelo ( $G_s$ ), la gravedad específica del agregado grueso en estado seco al horno (OD) y la absorción con el fin de corregir la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad en caso de que el tipo de suelo así lo requiera.

#### **4.1.5. Ensayo de compactación Proctor modificado**

Para determinar el óptimo contenido de humedad y la densidad seca máxima de las muestras de suelo se realizó el ensayo Proctor modificado según los criterios de la norma ASTM D1557. El cálculo de estas propiedades es un paso previo para la determinación de la relación de soporte de California (CBR).

Cabe señalar que se eligió emplear el método C para reproducir las condiciones de compactación del ensayo Proctor modificado en el ensayo CBR. Este proceso involucró la compactación del suelo en 5 capas con 56 golpes del pisón por capa, utilizando un molde de 6 pulgadas de diámetro. Es importante destacar que, según ASTM International (2021c), el molde utilizado en el método C comparte las mismas dimensiones internas que el molde utilizado en los ensayos CBR.

También, es preciso mencionar que se aplicaron correcciones al óptimo contenido de humedad y a la máxima densidad seca del suelo de acuerdo la metodología descrita en la norma ASTM D4718, si el espécimen de ensayo contiene un porcentaje mayor al 5% en masa de la fracción sobredimensionada o gruesa (porcentaje retenido en el tamiz de  $\frac{3}{4}$  de pulgada). La tabla 12 muestra un resumen de los resultados obtenidos del ensayo Proctor modificado.

**Tabla 12***Resultados del ensayo Proctor modificado*

Muestra	Tipo de material	SUCS	Fracción gruesa (%)	ASTM D1557		ASTM D4718	
				OCH (%)	MDS (g/cm <sup>3</sup> )	OCHC (%)	MDSC (g/cm <sup>3</sup> )
A0154/22	Material de base	GW-GC	25	7.4	2.241	5.7	2.344
A0155/22	Terreno natural	SM	9	10.5	1.966	9.7	2.013
A0223/22	Base granular	GW-GM	10	6.7	2.269	6.1	2.305
A0224/22	Base granular	GW-GM	9	6.2	2.235	5.8	2.268
A0226/22	Material para relleno	GW-GM	25	6.4	2.278	5.1	2.351
A0246/22	Material arenoso	SW-SM	4	6.6	2.205	n/a	n/a
A0247/22	Material limoso	SC	3	7.5	2.216	n/a	n/a
A0249/22	Terreno natural	SC	2	9.9	2.071	n/a	n/a
A0250/22	Base granular	GP-GM	23	5.7	2.224	4.8	2.320
A0494/22	Terreno natural	CH	0	19.1	1.695	n/a	n/a
A0517/22	Terreno natural	CL-ML	0	11.1	2.006	n/a	n/a
A0573/22	Terreno natural	ML	0	17.0	1.743	n/a	n/a

La tabla 12 revela que algunas muestras de suelo no fueron sometidas a la corrección de propiedades de compactación debido a que el porcentaje de la fracción gruesa o sobredimensionada no supera el 5% en masa. En suelos donde predominan partículas de tamaño inferior a 75  $\mu\text{m}$ , esta corrección generalmente no se aplica. Es relevante destacar que, para calcular tanto el CBR saturado como el no saturado, se emplearán los valores corregidos

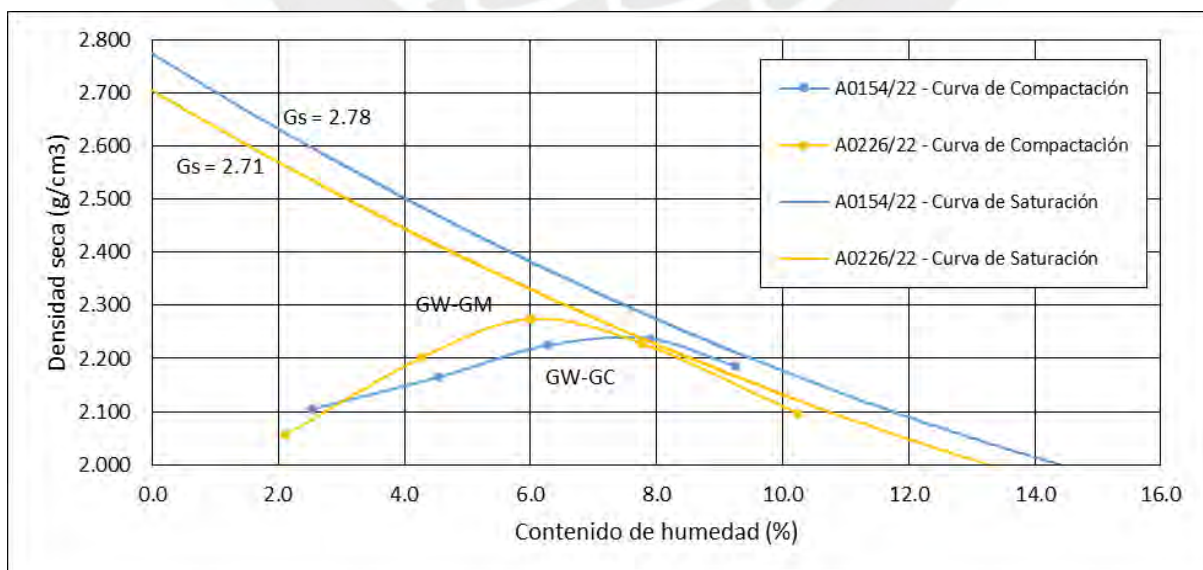
del óptimo contenido de humedad y la máxima densidad seca cuando corresponda; de lo contrario, se utilizarán los valores sin corrección.

Los resultados del ensayo indican una amplia variabilidad en las propiedades de compactación. Los suelos gravosos exhiben un óptimo contenido de humedad que varía entre 4.8% y 6.1%, y una máxima densidad seca que oscila entre  $2.268 \text{ g/cm}^3$  y  $2.351 \text{ g/cm}^3$ . Los suelos arenosos presentan un óptimo contenido de humedad que fluctúa entre 6.6% y 9.9%, con una máxima densidad seca que va de  $2.013 \text{ g/cm}^3$  a  $2.216 \text{ g/cm}^3$ . Finalmente, los suelos finos muestran un óptimo contenido de humedad que se sitúa entre 11.1% y 19.1%, con una máxima densidad seca que varía de  $1.695 \text{ g/cm}^3$  a  $2.006 \text{ g/cm}^3$ .

Las figuras 29 a 35 presentan las curvas de compactación y saturación de las muestras de suelo analizadas en la investigación. Los picos de las curvas de compactación corresponden a las propiedades buscadas: el óptimo contenido de humedad y la máxima densidad seca.

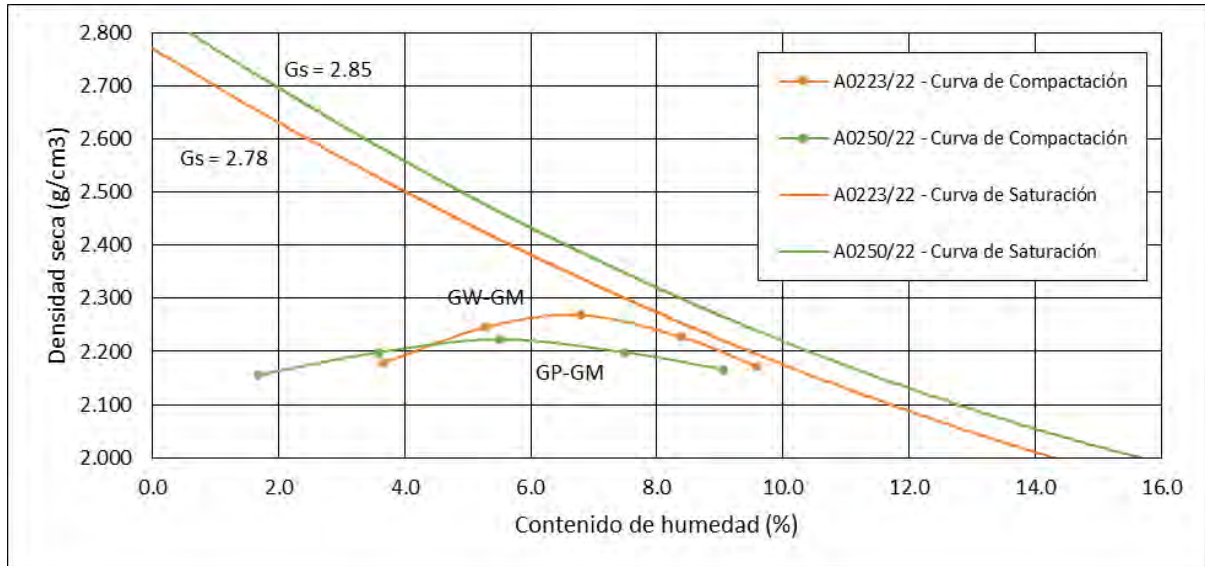
### Figura 29

*Curvas de compactación y saturación de las muestras de matriz gravosa A0154/22 y A0226/22*

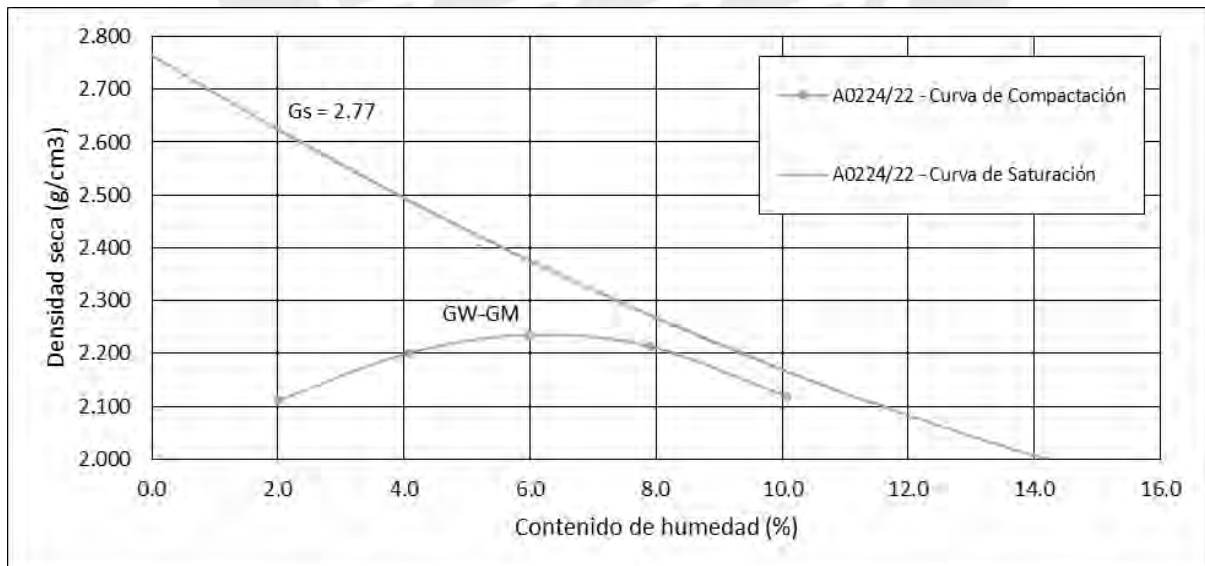


**Figura 30**

Curvas de compactación y saturación de las muestras de matriz gravosa A0223/22 y A0250/22

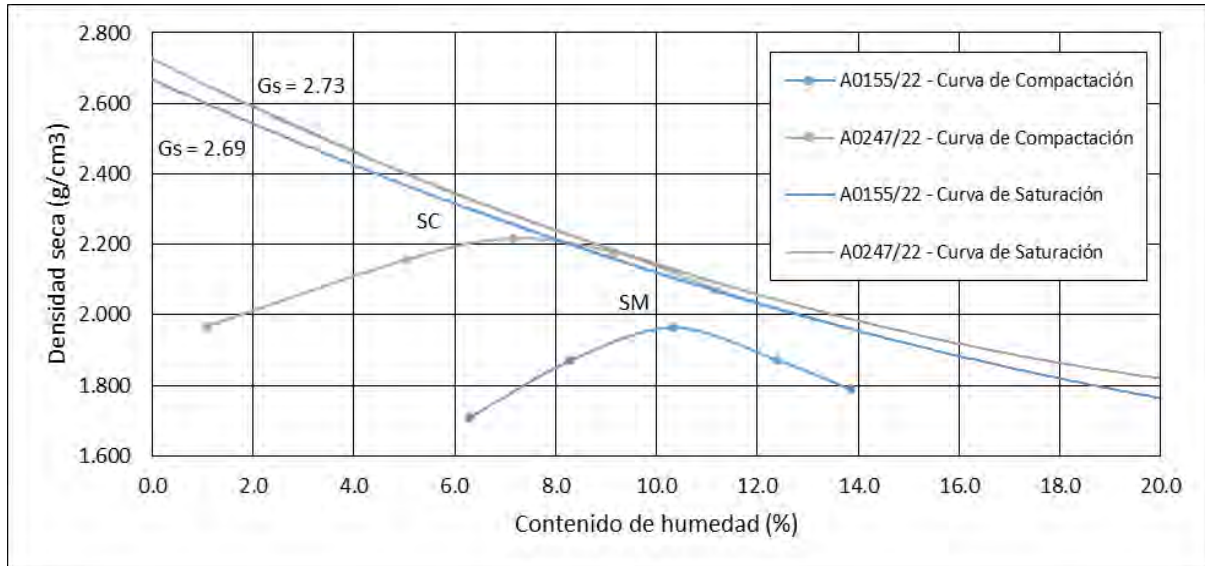
**Figura 31**

Curvas de compactación y saturación de la muestra de matriz gravosa A0224/22

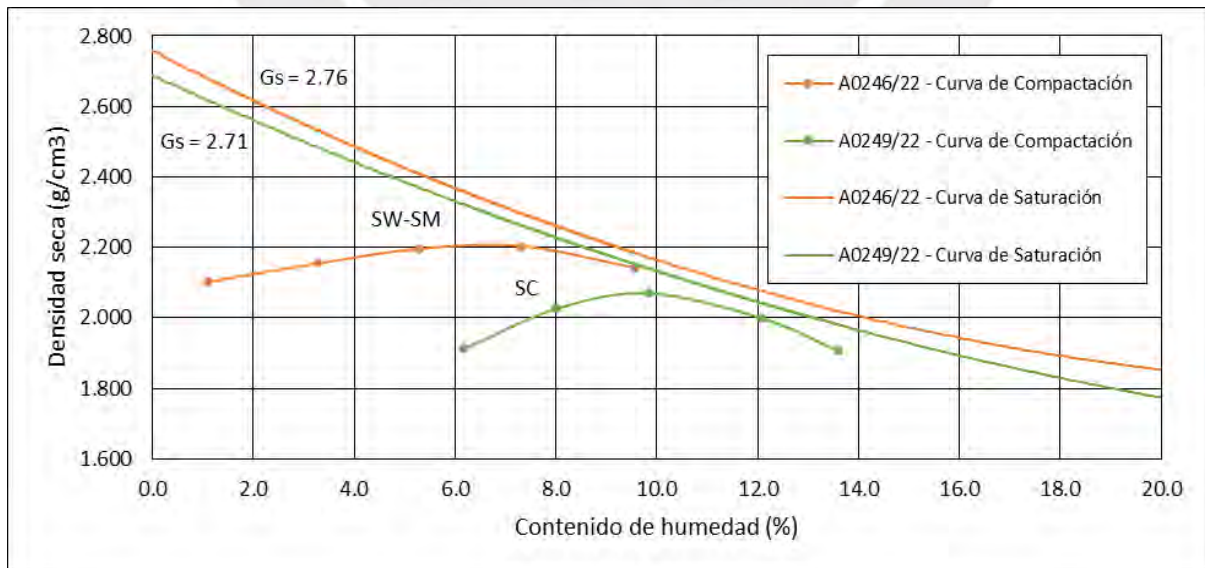


**Figura 32**

Curvas de compactación y saturación de las muestras de matriz arenosa A0155/22 y A0247/22

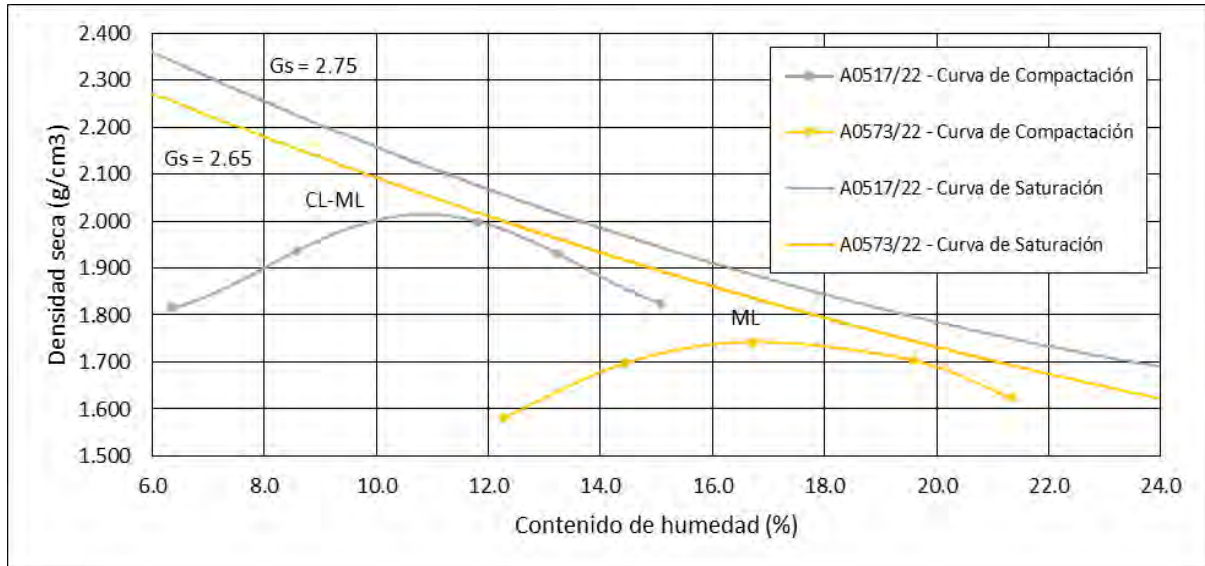
**Figura 33**

Curvas de compactación y saturación de las muestras de matriz arenosa A0246/22 y A0249/22

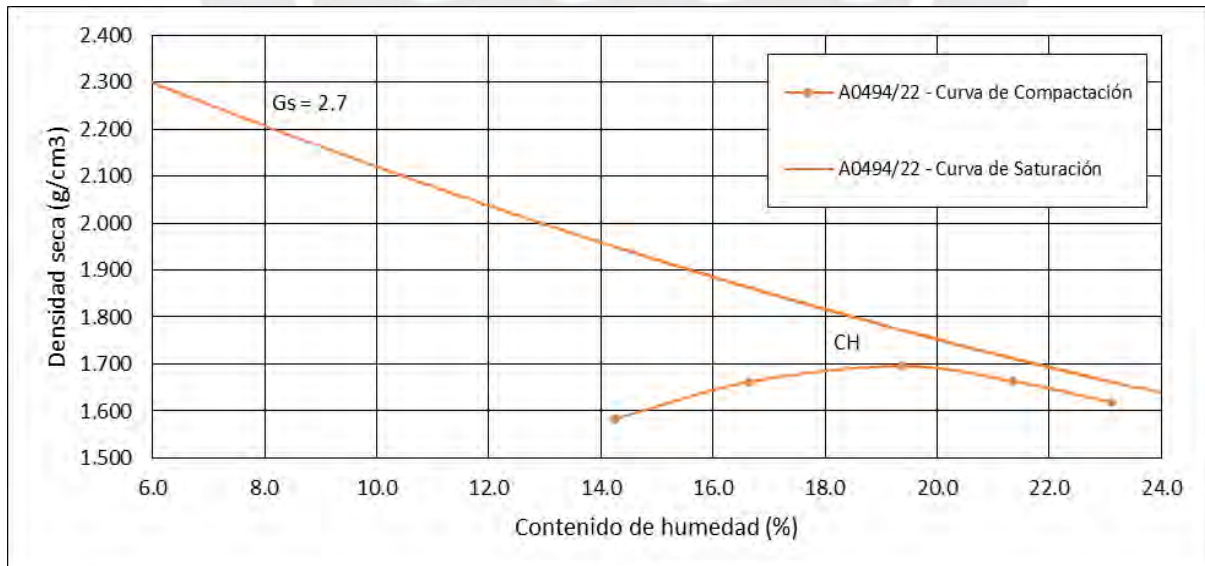


**Figura 34**

Curvas de compactación y saturación de las muestras de matriz fina A0517/22 y A0573/22

**Figura 35**

Curvas de compactación y saturación de la muestra de matriz fina A0494/22



De las gráficas presentadas, se observa que ninguna parte de las curvas de compactación se encuentra a la derecha de sus respectivas curvas de saturación. En las figuras 29 a 31, las curvas de compactación de las muestras de matriz gravosa comparten una forma y concavidad similares debido a sus características granulométricas afines. Estos suelos requieren menor cantidad de agua para alcanzar el óptimo contenido de humedad y exhiben altos valores de densidad, atribuibles a una menor presencia de finos. El óptimo contenido de humedad en estos suelos varía entre 4 % y 8 %, mientras que la máxima densidad seca oscila entre 2.2 y 2.7 g/cm<sup>3</sup>. Por otro lado, las figuras 32 a 35 evidencian una notable variabilidad en los valores de las propiedades de compactación, influenciada principalmente por la cantidad de finos presente. Además, las curvas de compactación reflejan una tendencia que señala que, a medida que aumenta el contenido de finos en un suelo, se requiere más agua para alcanzar el óptimo contenido de humedad y, al mismo tiempo, se reduce el valor de la máxima densidad seca.

#### **4.1.6. Ensayos CBR**

Con los resultados del ensayo de compactación Proctor modificado, se procede a realizar los ensayos CBR en presencia y ausencia del periodo de inmersión de acuerdo a los criterios de las normas ASTM D1883 y NF P 94-078, obteniéndose los valores del CBR saturado y CBR no saturado, respectivamente.

Los especímenes de los ensayos CBR se preparan y remoldean al óptimo contenido de humedad de cada tipo de suelo. Luego, se compactan en tres moldes de 6 pulgadas de diámetro variando el número de golpes por capa en cada molde (56, 25 y 10 golpes, respectivamente), con el fin de obtener la relación de soporte para el 100%, 95% y 90% de la máxima densidad seca del material. Por último, en ausencia y presencia del periodo de inmersión se realiza la

penetración de los especímenes a través de una prensa de carga, obteniéndose la relación de soporte para una penetración de 0.1 pulgadas (2.54 mm) y 0.2 pulgadas (5.08 mm).

Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016), si el valor del CBR a 0.2 pulgadas supera al de 0.1 pulgadas, el ensayo debe repetirse, y si el resultado persiste, se reporta el valor a 0.2 pulgadas. En esta investigación, los ensayos CBR con y sin inmersión se realizaron simultáneamente. Se observó que, cuando el CBR a 0.2 pulgadas era mayor que a 0.1 en el ensayo sin inmersión, esta tendencia se replicaba también en el ensayo con inmersión.

Para calcular el CBR saturado, luego de la compactación de los especímenes, se sumergen los moldes en un tanque de saturación durante 4 días para medir el hinchamiento o expansión del material. Después, se ejecuta el ensayo de penetración y se reporta el CBR para una penetración de 0.1 y 0.2 pulgadas, tomando el valor más alto. La tabla 13 presenta los resultados obtenidos en el ensayo CBR en presencia del periodo de inmersión.

**Tabla 13**

*Resultados del ensayo CBR con inmersión*

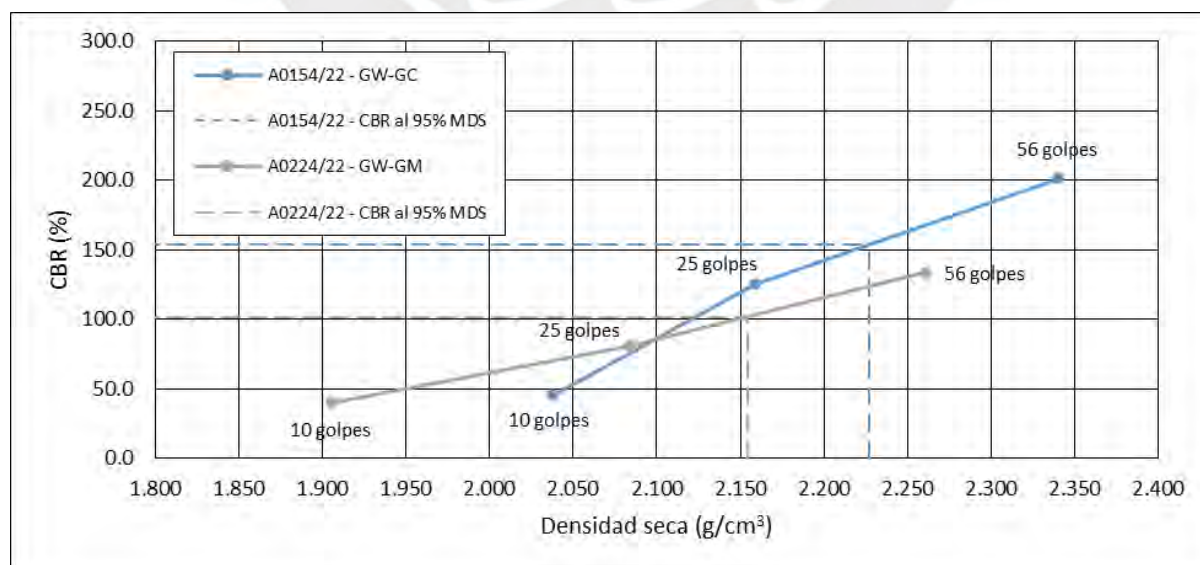
Muestra	SUCS	MDS (g/cm <sup>3</sup> )	56 golpes			25 golpes			10 golpes		
			CBR <sub>s</sub> (%)	DS (g/cm <sup>3</sup> )	%MDS	CBR <sub>s</sub> (%)	DS (g/cm <sup>3</sup> )	%MDS	CBR <sub>s</sub> (%)	DS (g/cm <sup>3</sup> )	%MDS
A0154/22	GW-GC	2.344	201.2	2.340	100	124.9	2.159	93	45.3	2.038	87
A0155/22	SM	2.013	54.9	2.010	100	20.6	1.844	92	9.0	1.650	82
A0223/22	GW-GM	2.305	195.9	2.296	100	77.4	2.136	93	67.9	1.995	87
A0224/22	GW-GM	2.268	133.3	2.261	100	81.0	2.084	92	40.0	1.906	85
A0226/22	GW-GM	2.351	278.0	2.332	100	95.9	2.192	94	55.3	2.019	86
A0246/22	SW-SM	2.205	131.5	2.195	100	84.8	2.110	96	29.8	2.044	93

Muestra	SUCS	MDS (g/cm <sup>3</sup> )	56 golpes			25 golpes			10 golpes		
			CBR <sub>s</sub> (%)	DS (g/cm <sup>3</sup> )	%MDS	CBR <sub>s</sub> (%)	DS (g/cm <sup>3</sup> )	%MDS	CBR <sub>s</sub> (%)	DS (g/cm <sup>3</sup> )	%MDS
A0247/22	SC	2.216	80.6	2.215	100	37.2	2.037	92	10.6	1.896	86
A0249/22	SC	2.071	30.0	2.053	100	28.2	1.936	94	13.1	1.857	90
A0250/22	GP- GM	2.320	102.9	2.299	100	51.3	2.084	90	26.2	2.033	88
A0494/22	CH	1.695	2.9	1.693	100	1.4	1.524	90	1.2	1.398	83
A0517/22	CL- ML	2.006	20.5	2.001	100	16.0	1.793	90	14.1	1.591	80
A0573/22	ML	1.743	28.3	1.743	100	19.9	1.683	97	4.5	1.473	85

Los datos de la tabla anterior permiten generar las curvas de densidad seca versus CBR saturado, mostradas en las figuras 36 a 42. Estas curvas ilustran cómo varía el CBR saturado en función de su densidad para diferentes energías de compactación (56, 25 y 10 golpes).

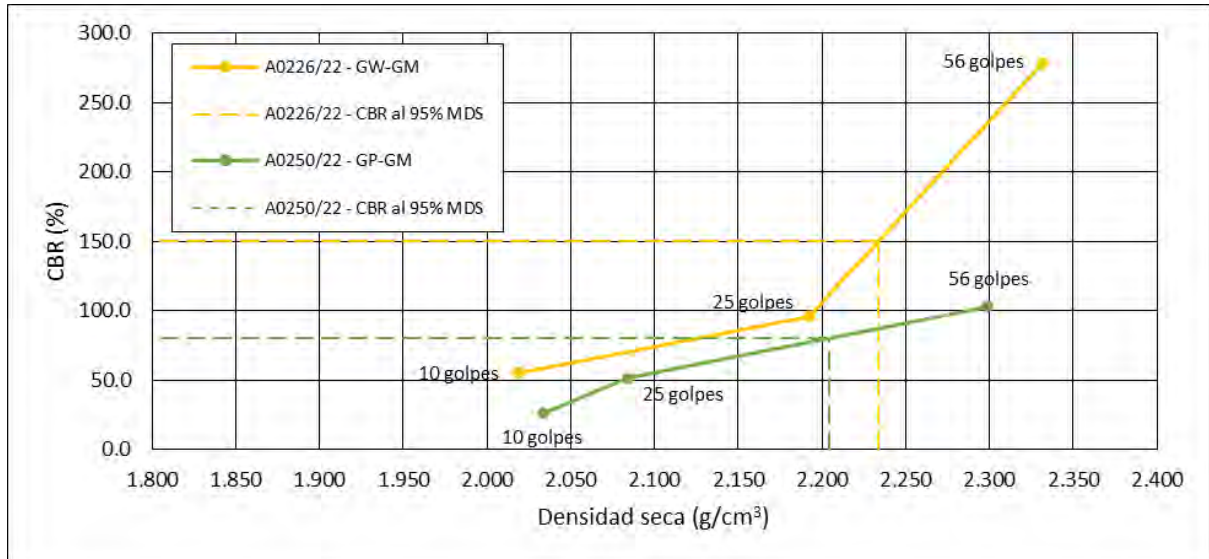
### Figura 36

Curvas densidad seca vs CBR saturado de las muestras de matriz gravosa A0154/22 y A0224/22

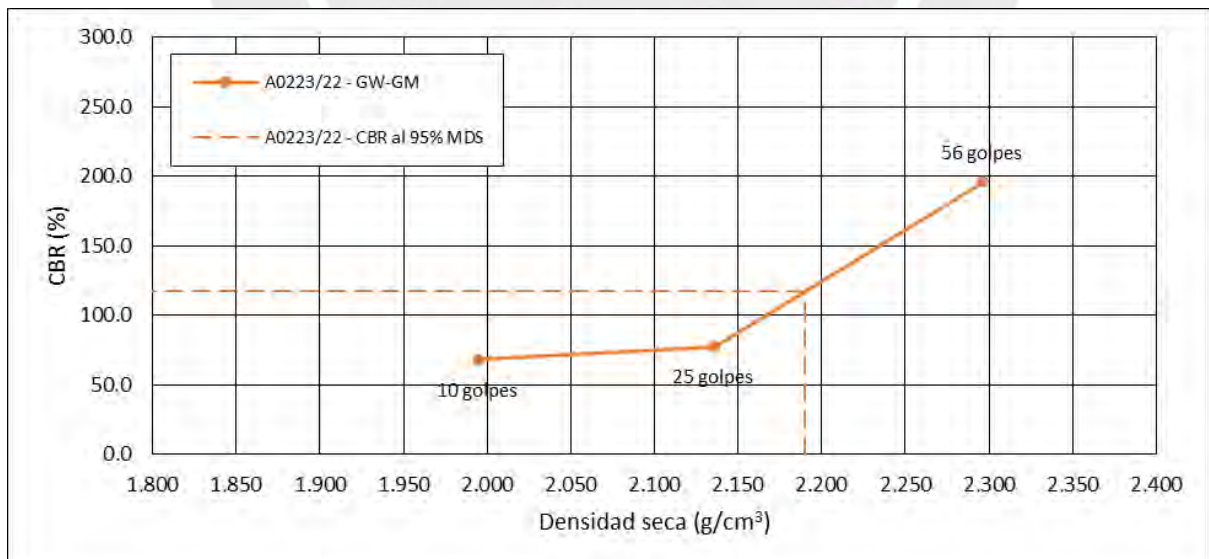


**Figura 37**

Curvas densidad seca vs CBR saturado de las muestras de matriz gravosa A0226/22 y A0250/22

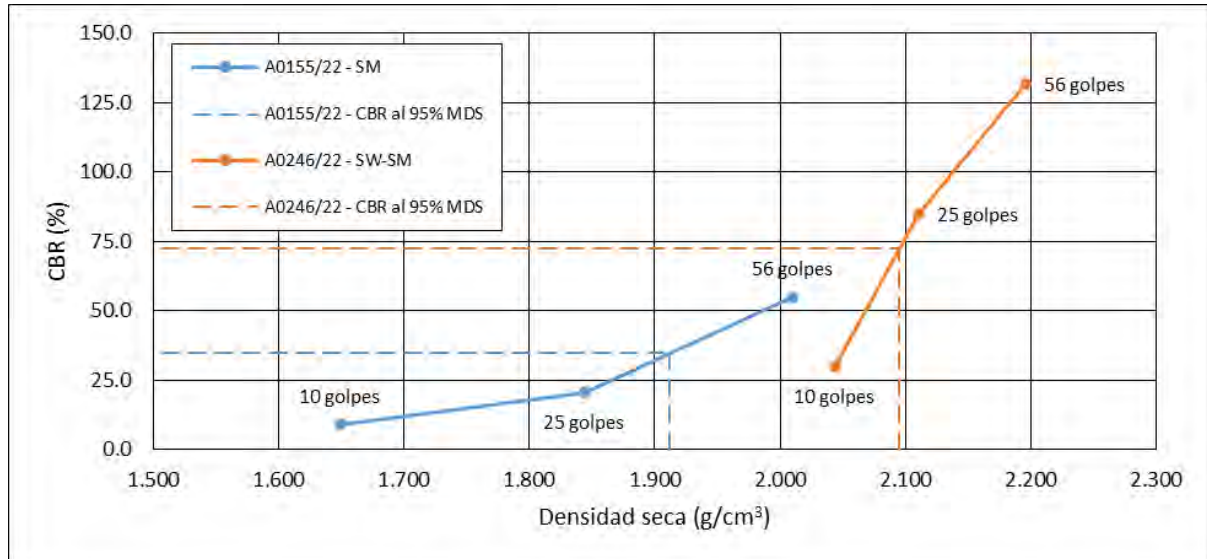
**Figura 38**

Curvas densidad seca vs CBR saturado de las muestras de matriz gravosa A0223/22

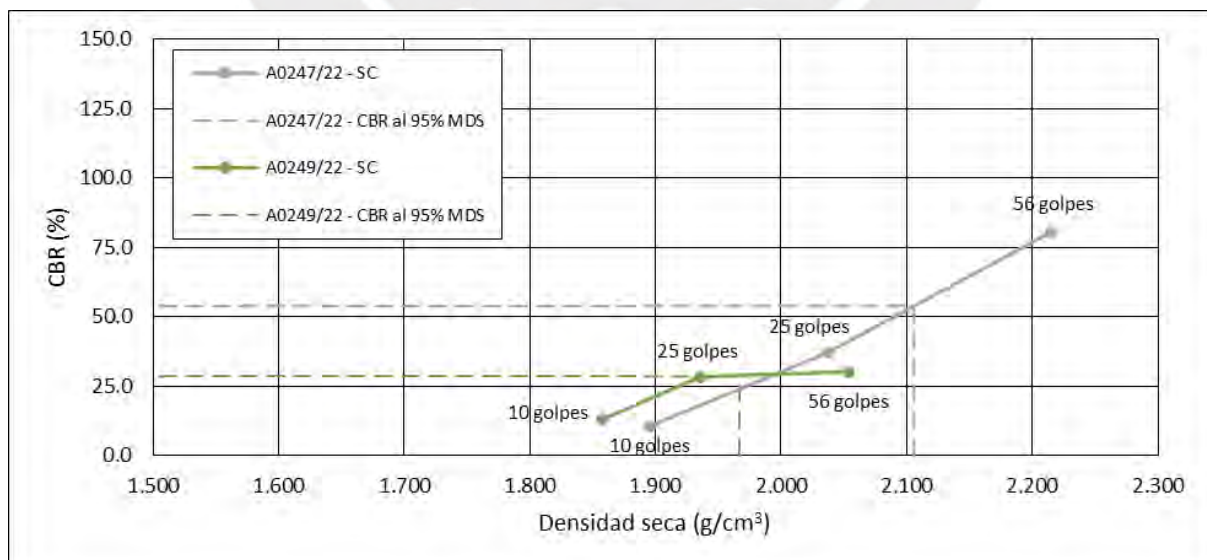


**Figura 39**

Curvas densidad seca vs CBR saturado de las muestras de matriz arenosa A0155/22 y A0246/22

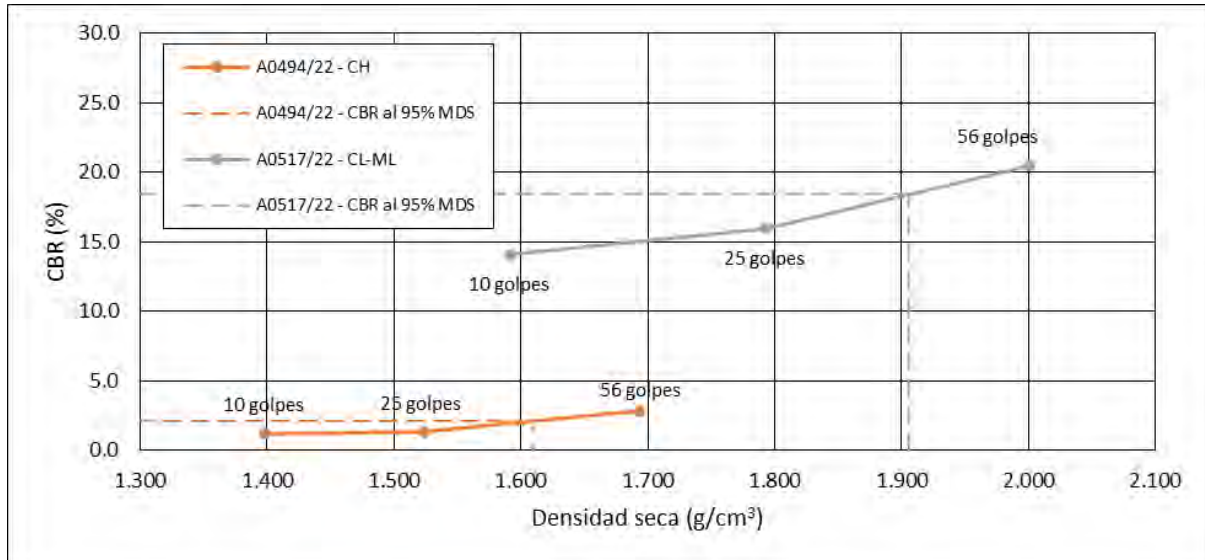
**Figura 40**

Curvas densidad seca vs CBR saturado de las muestras de matriz arenosa A0247/22 y A0249/22

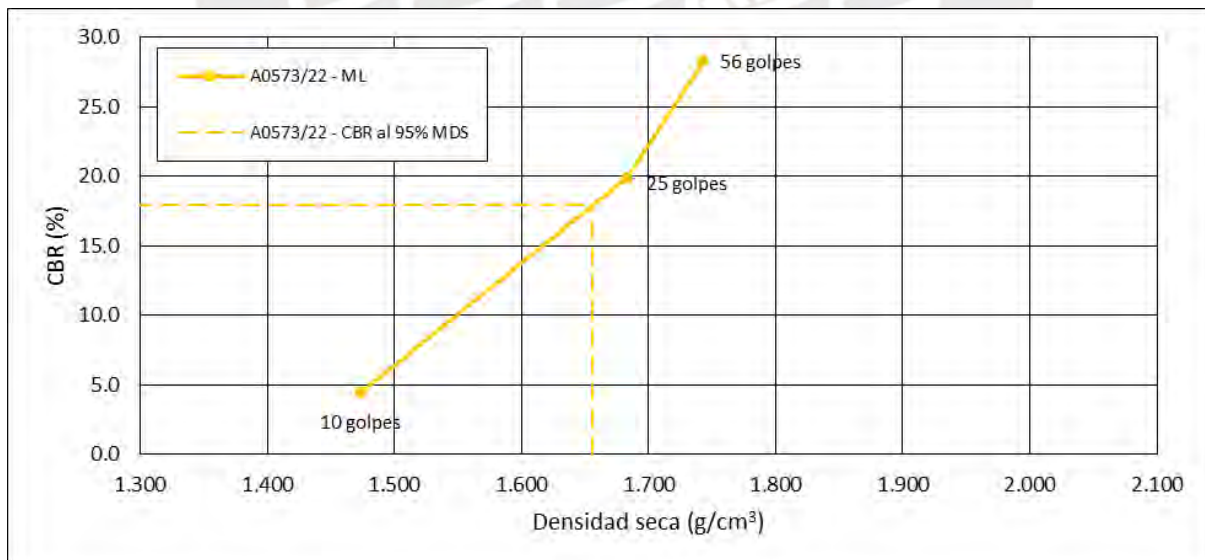


**Figura 41**

Curvas densidad seca vs CBR saturado de las muestras de matriz fina A0494/22 y A0517/22

**Figura 42**

Curvas densidad seca vs CBR saturado de las muestras de matriz fina A0573/22



Las gráficas revelan diferencias marcadas en el comportamiento del CBR frente a la densidad según el tipo de suelo. En los suelos de matriz gravosa, como las muestras A0154/22 y A0226/22, las curvas presentan pendientes pronunciadas, evidenciando que el CBR aumenta significativamente con la densidad. Esto se atribuye a su baja proporción de finos y granulometría más limpia, lo que permite una mejor reorganización de las partículas durante la compactación, incrementando así su relación de soporte. En este tipo de suelo, el CBR depende fuertemente de la densidad.

En los suelos de matriz arenosa, como A0155/22 y A0247/22, las pendientes de las curvas son más moderadas. El incremento del CBR con la densidad es menos pronunciado que en las gravas, debido a una mayor presencia de finos que limita, en parte, la mejora estructural por compactación. Por lo tanto, la dependencia del CBR con la densidad es intermedia para este tipo de suelos.

En los suelos de matriz fina, como las muestras arcillosas A0494/22 y A0517/22, las curvas son casi planas, lo que indica que el CBR casi no varía con la densidad, mientras que la muestra limosa A0573/22, presenta un ligero cambio del CBR con la densidad. La plasticidad y el alto contenido de finos, en algunos casos mayores al 90%, generan una estructura cohesiva que reduce el efecto de la compactación sobre la resistencia. En estos suelos, el CBR muestra escasa sensibilidad al cambio de densidad.

En resumen, las gráficas muestran que la relación entre el CBR y la densidad varía significativamente según el tipo de suelo. En suelos gravosos, el CBR aumenta de forma notable con la densidad, lo que evidencia una alta dependencia. En suelos arenosos, esta relación es moderada, mientras que, en suelos finos el CBR muestra escasa variación frente a cambios en la densidad.

Cabe mencionar que para determinar el CBR saturado correspondiente al 100 % de la máxima densidad seca se compacta el espécimen con un esfuerzo equivalente al empleado en el ensayo Proctor modificado (56 golpes). Por otro lado, el CBR saturado al 95 % de la máxima densidad seca se calcula mediante interpolación en las curvas de densidad seca vs CBR saturado. Los resultados se presentan en la tabla 14.

**Tabla 14**

*CBR saturado para el 100% y 95% de la máxima densidad seca*

Muestra	Tipo de material	SUCS	MDS (g/cm <sup>3</sup> )	CBR <sub>s</sub> (%) 100%MDS	CBR <sub>s</sub> (%) 95%MDS
A0154/22	Material de base	GW-GC	2.344	201.2	153.6
A0155/22	Terreno natural	SM	2.013	54.9	34.7
A0223/22	Base granular	GW-GM	2.305	195.9	117.3
A0224/22	Base granular	GW-GM	2.268	133.3	101.9
A0226/22	Material para relleno	GW-GM	2.351	278.0	149.7
A0246/22	Material arenoso	SW-SM	2.205	131.5	71.9
A0247/22	Material limoso	SC	2.216	80.6	53.8
A0249/22	Terreno natural	SC	2.071	30.0	28.7
A0250/22	Base granular	GP-GM	2.320	102.9	80.1
A0494/22	Terreno natural	CH	1.695	2.9	2.1
A0517/22	Terreno natural	CL-ML	2.006	20.5	18.4
A0573/22	Terreno natural	ML	1.743	28.3	17.8

La tabla anterior revela que los suelos gravosos presentan valores de CBR saturado para el 100% de la máxima densidad seca que oscilan entre 102.9% y 278.3%. Según Bowles (1981), estos suelos se clasifican generalmente como excelentes, dado que su relación de soporte supera el 50%. Por otro lado, los suelos arenosos muestran valores de CBR saturado que varían entre 30% y 131.5%, lo que los sitúa en una clasificación que va de buena a excelente. En contraste, los suelos finos exhiben valores de CBR saturado que se encuentran entre 2.9% y 28.3%, lo que resulta en una clasificación que varía desde muy pobre hasta buena.

Para determinar el CBR no saturado, se realiza el ensayo de penetración justo después de moldear y compactar los especímenes, omitiendo el periodo de inmersión de 4 días. Se registra el CBR para penetraciones de 0.1 y 0.2 pulgadas, seleccionando el valor más alto. La tabla 15 resume los resultados del ensayo CBR en ausencia del periodo de inmersión.

**Tabla 15**

*Resultados del ensayo CBR sin inmersión*

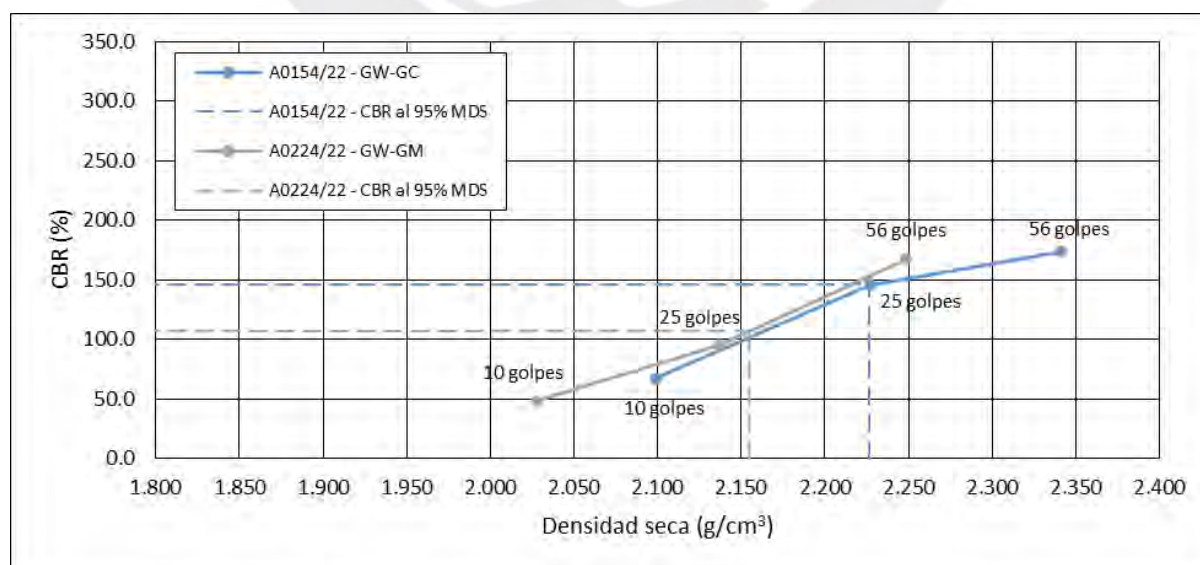
Muestra	SUCS	MDS (g/cm <sup>3</sup> )	56 golpes			25 golpes			10 golpes		
			CBR <sub>ns</sub> (%)	DS (g/cm <sup>3</sup> )	%MDS	CBR <sub>ns</sub> (%)	DS (g/cm <sup>3</sup> )	%MDS	CBR <sub>ns</sub> (%)	DS (g/cm <sup>3</sup> )	%MDS
A0154/22	GW-GC	2.344	173.7	2.341	100	146.0	2.227	96	67.0	2.099	90
A0155/22	SM	2.013	97.8	2.012	100	54.5	1.857	93	17.2	1.637	82
A0223/22	GW-GM	2.305	200.3	2.297	100	77.6	2.111	92	68.3	1.993	87
A0224/22	GW-GM	2.268	167.5	2.249	100	95.0	2.137	95	48.3	2.028	90
A0226/22	GW-GM	2.351	326.9	2.349	100	125.2	2.200	94	59.4	2.100	90
A0246/22	SW-SM	2.205	124.9	2.204	100	80.8	2.085	95	32.7	1.996	91
A0247/22	SC	2.216	104.7	2.207	100	68.6	2.018	92	35.9	1.894	86

Muestra	SUCS	MDS (g/cm <sup>3</sup> )	56 golpes			25 golpes			10 golpes		
			CBR <sub>ns</sub> (%)	DS (g/cm <sup>3</sup> )	%MDS	CBR <sub>ns</sub> (%)	DS (g/cm <sup>3</sup> )	%MDS	CBR <sub>ns</sub> (%)	DS (g/cm <sup>3</sup> )	%MDS
A0249/22	SC	2.071	48.3	2.067	100	51.1	1.943	94	33.8	1.822	88
A0250/22	GP- GM	2.320	158.7	2.306	100	89.5	2.105	91	41.0	1.933	84
A0494/22	CH	1.695	36.2	1.694	100	33.5	1.582	94	22.2	1.495	89
A0517/22	CL- ML	2.006	47.8	1.997	100	40.6	1.879	94	29.2	1.736	87
A0573/22	ML	1.743	51.8	1.743	100	35.2	1.655	95	23.8	1.559	90

Los datos de la tabla anterior permiten generar las curvas de densidad seca versus CBR no saturado, mostradas en las figuras 43 a 49. Estas curvas ilustran cómo varía el CBR no saturado en función de su densidad para diferentes energías de compactación (56, 25 y 10 golpes).

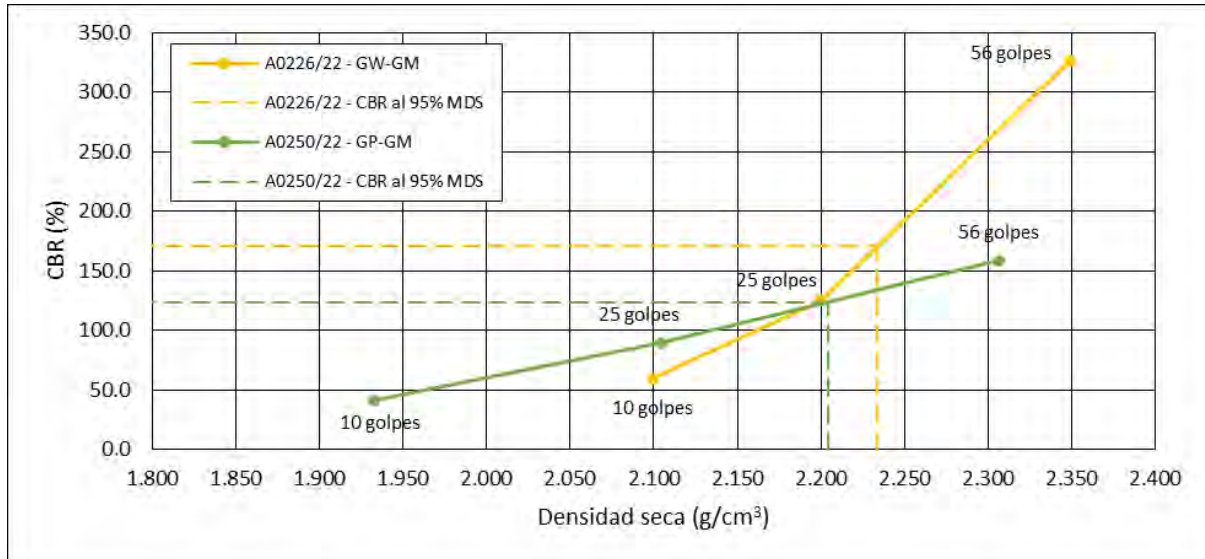
**Figura 43**

*Curvas densidad seca vs CBR no saturado de las muestras de matriz gravosa A0154/22 y A0224/22*

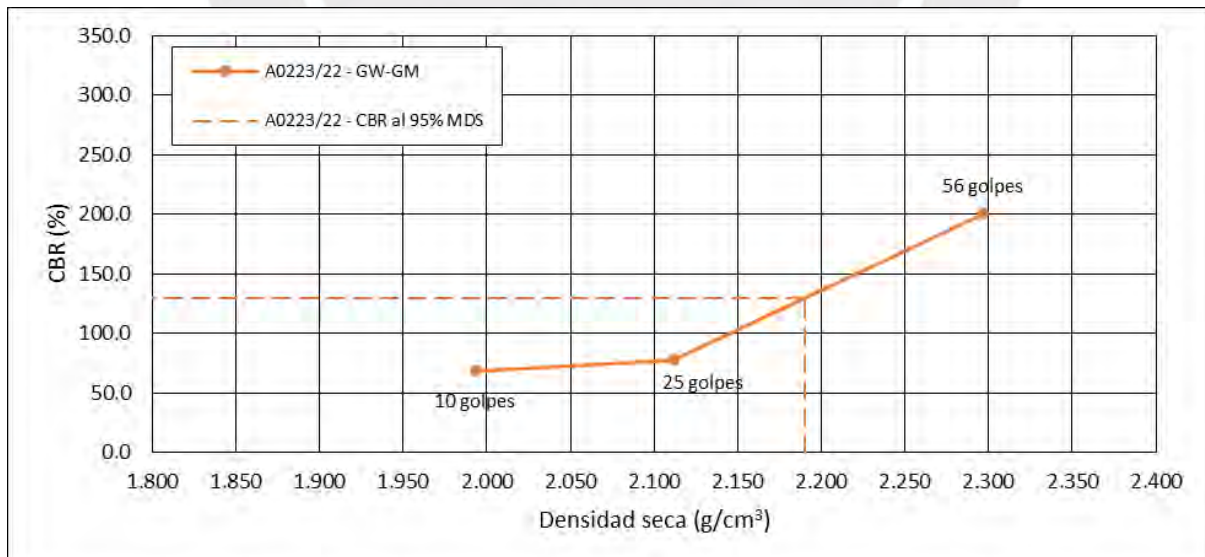


**Figura 44**

Curvas densidad seca vs CBR no saturado de las muestras de matriz gravosa A0226/22 y A0250/22

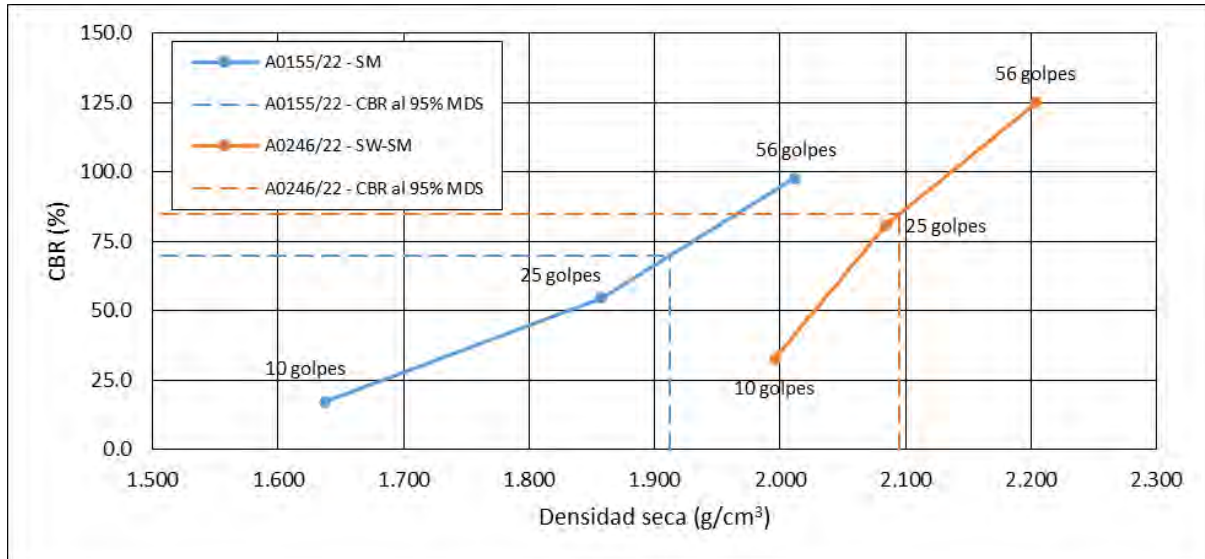
**Figura 45**

Curvas densidad seca vs CBR no saturado de la muestra de matriz gravosa A0223/22



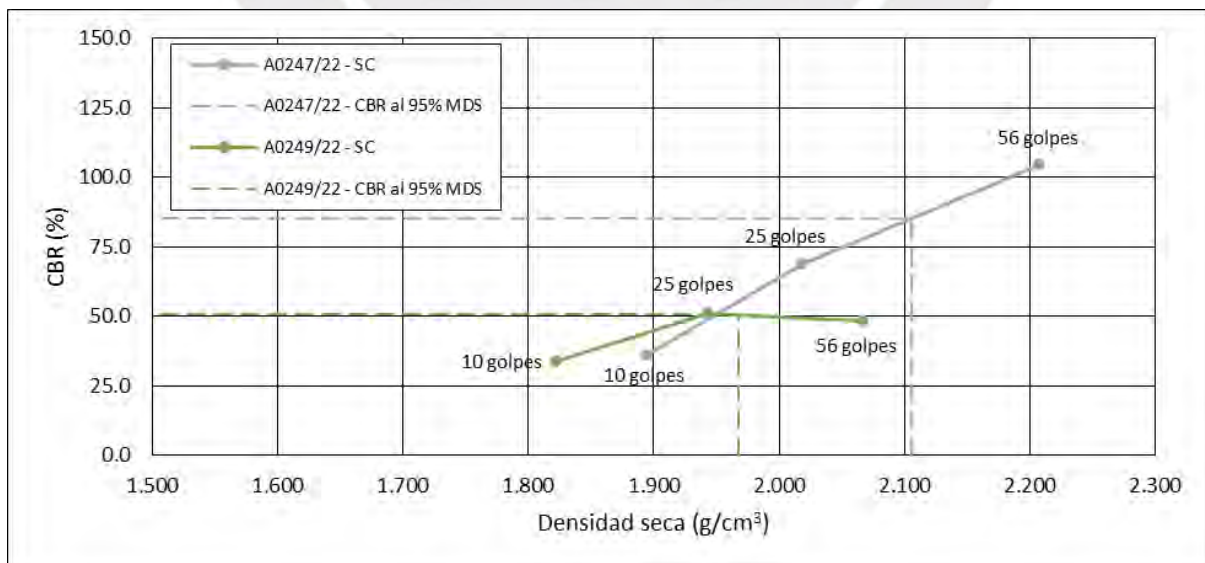
**Figura 46**

*Curvas densidad seca vs CBR no saturado de las muestras de matriz arenosa A0155/22 y A0246/22*



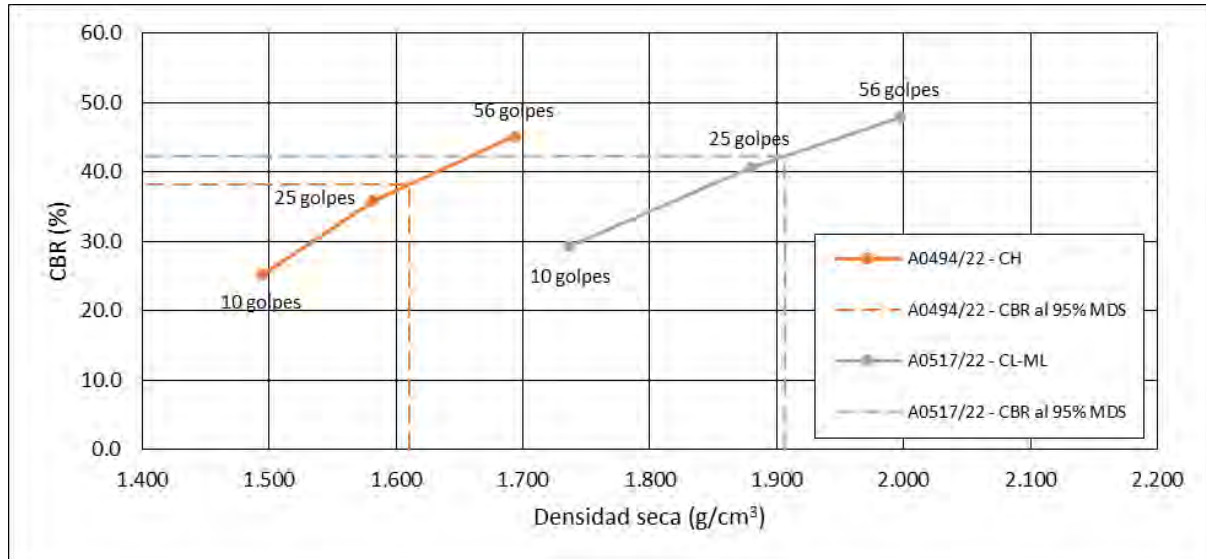
**Figura 47**

*Curvas densidad seca vs CBR no saturado de las muestras de matriz arenosa A0247/22 y A0249/22*

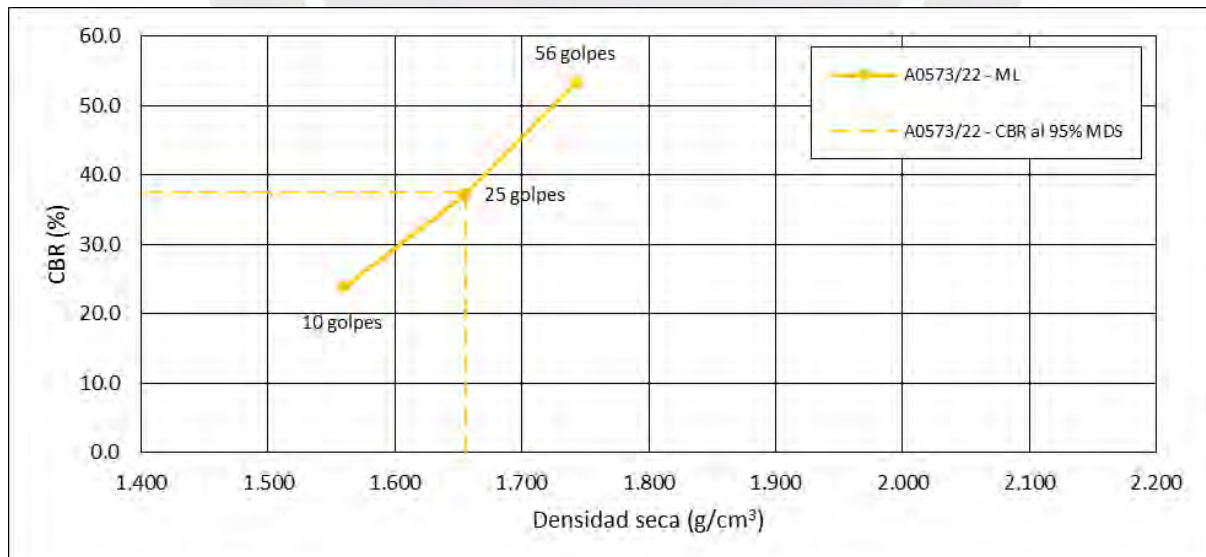


**Figura 48**

Curvas densidad seca vs CBR no saturado de las muestras de matriz fina A0494/22 y A0517/22

**Figura 49**

Curvas densidad seca vs CBR no saturado de la muestra de matriz fina A0573/22



Las gráficas de CBR no saturado versus densidad seca evidencian un comportamiento similar a las de CBR saturado: la relación entre el CBR y la densidad depende del tipo de suelo. En suelos gravosos, el CBR muestra alta dependencia al aumento de la densidad; en suelos arenosos, la relación es moderada; y en suelos finos, el CBR apenas varía con la densidad.

Asimismo, el CBR no saturado al 100 % de la máxima densidad seca se obtiene compactando el espécimen a 56 golpes, mientras que para el 95 % se calcula por interpolación a partir de las curvas correspondientes. Los resultados se presentan en la tabla 16.

**Tabla 16**

*CBR no saturado para el 100% y 95% de la máxima densidad seca*

Muestra	Tipo de material	SUCS	MDS (g/cm <sup>3</sup> )	CBR <sub>ns</sub> (%) 100%MDS	CBR <sub>ns</sub> (%) 95%MDS
A0154/22	Material de base	GW-GC	2.344	173.7	145.8
A0155/22	Terreno natural	SM	2.013	97.8	69.9
A0223/22	Base granular	GW-GM	2.305	200.3	129.5
A0224/22	Base granular	GW-GM	2.268	167.5	106.6
A0226/22	Material para relleno	GW-GM	2.351	326.9	170.4
A0246/22	Material arenoso	SW-SM	2.205	124.9	84.5
A0247/22	Material limoso	SC	2.216	104.7	85.3
A0249/22	Terreno natural	SC	2.071	48.3	50.6
A0250/22	Base granular	GP-GM	2.320	158.7	123.6
A0494/22	Terreno natural	CH	1.695	45.1	38.2
A0517/22	Terreno natural	CL-ML	2.006	47.8	42.2
A0573/22	Terreno natural	ML	1.743	53.3	37.4

La tabla anterior muestra que los suelos gravosos exhiben valores de CBR no saturado para el 100% de la máxima densidad seca que varían entre 158.7% y 326.9%. En cuanto a los suelos arenosos, los valores oscilan entre 48.3% y 124.9%. Por otro lado, los suelos finos presentan valores que van desde 45.1% hasta 53.3%.

Al comparar estos resultados con los obtenidos para el CBR saturado, se observa una reducción en la relación de soporte con la presencia del periodo de inmersión. Generalmente, los valores de CBR saturado son inferiores a los del CBR no saturado, ya que en el primero se intenta simular la condición más desfavorable del suelo, es decir, cuando está completamente saturado, mientras que en el segundo se ensaya el suelo inmediatamente después de su preparación y compactación.

La tabla 17 presenta un resumen consolidado de los resultados obtenidos a partir de los diversos ensayos de laboratorio ejecutados durante el desarrollo de la investigación. En dicha tabla se recopilan los valores representativos de las principales propiedades físicas y mecánicas de los suelos evaluados, tales como la granulometría, límites de consistencia, máxima densidad seca máxima, óptimo contenido de humedad y los valores de CBR saturado y CBR no saturado, entre otros. Esta información constituye la base para el análisis estadístico y la elaboración de los modelos de correlación propuestos. Cabe resaltar que todos los ensayos fueron realizados en el laboratorio central de Mota-Engil Perú S.A. (LABMEP), el cual cuenta con acreditación del Instituto Nacional de Calidad (INACAL), lo que garantiza la confiabilidad y validez de los resultados obtenidos. Los informes de ensayo se incluyen en el Anexo C de la presente investigación, como respaldo documental del proceso experimental.

**Tabla 17***Resumen de los resultados de los ensayos de laboratorio*

Muestra	Tipo de material	ASTM D422			ASTM D4318			SUCS	AASHTO	ASTM D854	ASTM C127	ASTM D1557/D4718		ASTM D1883		NF P 94-078	
		Grava (%)	Arena (%)	Finos (%)	LL	LP	IP			Gs	OD	OCH (%)	MDS (g/cm <sup>3</sup> )	CBR <sub>s</sub> (%) 100%MDS	CBR <sub>s</sub> (%) 95%MDS	CBR <sub>ns</sub> (%) 100%MDS	CBR <sub>ns</sub> (%) 95%MDS
A0154/22	Material de base	52.8	41.2	6.0	19	15	4	GW-GC	A-1-a (0)	2.78	2.73	5.7	2.344	201.2	153.6	173.7	145.8
A0155/22	Terreno natural	17.1	46.7	36.2	NP	NP	NP	SM	A-4 (0)	2.69	2.69	9.7	2.013	54.9	34.7	97.8	69.9
A0223/22	Base granular	52.3	40.8	6.9	NP	NP	NP	GW-GM	A-1-a (0)	2.78	2.68	6.1	2.305	195.9	117.3	200.3	129.5
A0224/22	Base granular	58.4	36.1	5.5	NP	NP	NP	GW-GM	A-1-a (0)	2.77	2.66	5.8	2.268	133.3	101.9	167.5	106.6
A0226/22	Material para relleno	63.7	31.0	5.3	NP	NP	NP	GW-GM	A-1-a (0)	2.71	2.60	5.1	2.351	278.0	149.7	326.9	170.4
A0246/22	Material arenoso	16.6	72.7	10.7	NP	NP	NP	SW-SM	A-1-b (0)	2.76	2.70	6.6	2.205	131.5	71.9	124.9	84.5
A0247/22	Material limoso	12.6	58.2	29.1	32	22	10	SC	A-2-4 (0)	2.73	2.66	7.5	2.216	80.6	53.8	104.7	85.3

Muestra	Tipo de material	ASTM D422			ASTM D4318			SUCS	AASHTO	ASTM	ASTM	ASTM		ASTM D1883		NF P 94-078	
		Grava (%)	Arena (%)	Finos (%)	LL	LP	IP			D854	C127	D1557/D4718	OCH (%)	MDS (g/cm <sup>3</sup> )	CBR <sub>s</sub> (%) 100%MDS	CBR <sub>s</sub> (%) 95%MDS	CBR <sub>ns</sub> (%) 100%MDS
A0249/22	Terreno natural	5.4	50.5	44.1	30	19	11	SC	A-6 (2)	2.71	2.65	9.9	2.071	30.0	28.7	48.3	50.6
A0250/22	Base granular	61.2	33.5	5.3	NP	NP	NP	GP-GM	A-1-a (0)	2.85	2.72	4.8	2.320	102.9	80.1	158.7	123.6
A0494/22	Terreno natural	0.0	8.1	91.9	71	29	42	CH	A-7-6 (45)	2.70	n/a	19.1	1.695	2.9	2.1	45.1	38.2
A0517/22	Terreno natural	0.0	40.6	59.4	23	19	4	CL-ML	A-4 (0)	2.75	n/a	11.1	2.006	20.5	18.4	47.8	42.2
A0573/22	Terreno natural	0.0	28.6	71.4	45	28	17	ML	A-7-6 (12)	2.65	n/a	17.0	1.743	28.3	17.8	53.3	37.4

## 4.2. Análisis de Resultados

En esta sección, primero, se evalúa el CBR saturado y CBR no saturado de los diferentes tipos de suelo estudiados. El objetivo es comparar estos valores, describir las tendencias observadas y explicar las posibles razones detrás de ellas. Además, se lleva a cabo un análisis descriptivo para comprender la distribución y comportamiento de cada variable, así como un análisis de regresión lineal múltiple con el fin de obtener modelos estadísticos que permitan estimar el valor del CBR en cualquier tipo de suelo. Ambos procedimientos se realizaron utilizando la herramienta de análisis de datos de Microsoft Excel. Por último, se realiza una prueba de la utilidad de los modelos estadísticos a través de un análisis de varianza ANOVA.

### 4.2.1. Comparación del CBR saturado y CBR no saturado

La tabla 18 muestra la comparativa de los valores del CBR no saturado y CBR saturado de los suelos ensayados en la investigación para el 100% y 95% de la máxima densidad seca.

**Tabla 18**

*Comparativa de los valores del CBR saturado y CBR no saturado*

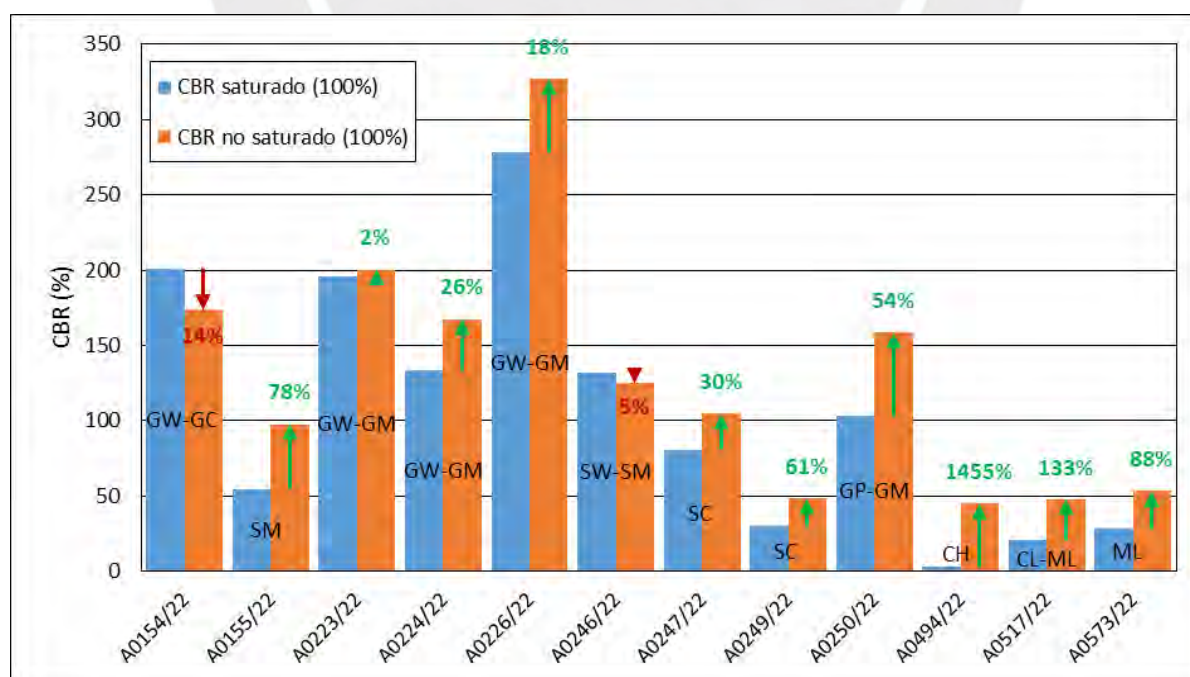
Muestra	SUCS	CBR <sub>s</sub> (%) 100%MDS	CBR <sub>ns</sub> (%) 100%MDS	CBR <sub>s</sub> (%) 95%MDS	CBR <sub>ns</sub> (%) 95%MDS
A0154/22	GW-GC	201.2	173.7	153.6	145.8
A0155/22	SM	54.9	97.8	34.7	69.9
A0223/22	GW-GM	195.9	200.3	117.3	129.5
A0224/22	GW-GM	133.3	167.5	101.9	106.6
A0226/22	GW-GM	278.0	326.9	149.7	170.4
A0246/22	SW-SM	131.5	124.9	71.9	84.5
A0247/22	SC	80.6	104.7	53.8	85.3

Muestra	SUCS	CBR <sub>s</sub> (%) 100%MDS	CBR <sub>ns</sub> (%) 100%MDS	CBR <sub>s</sub> (%) 95%MDS	CBR <sub>ns</sub> (%) 95%MDS
A0249/22	SC	30.0	48.3	28.7	50.6
A0250/22	GP-GM	102.9	158.7	80.1	123.6
A0494/22	CH	2.9	45.1	2.1	38.2
A0517/22	CL-ML	20.5	47.8	18.4	42.2
A0573/22	ML	28.3	53.3	17.8	37.4

Con estos valores, se puede crear un gráfico de barras comparativo en donde se visualice las diferencias entre los valores del CBR saturado y CBR no saturado, así como el porcentaje de variación. Las figuras 50 y 51 ilustran estas diferencias para el 100% y 95% de la máxima densidad seca, respectivamente.

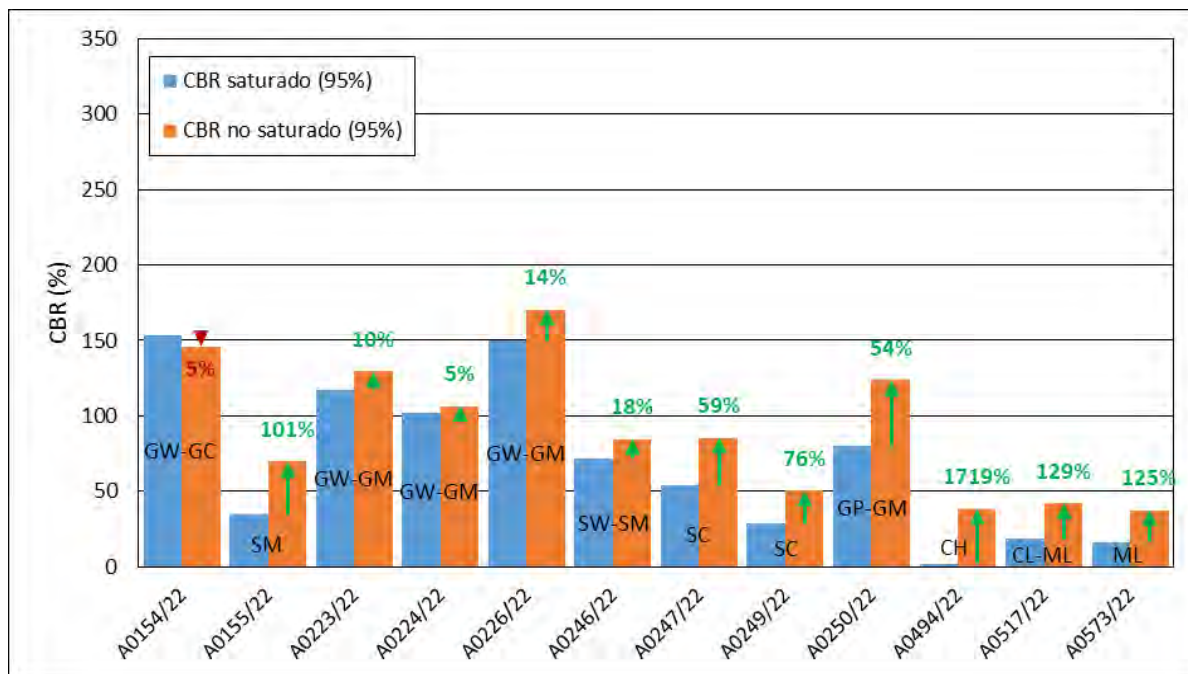
**Figura 50**

*Variación del CBR para el 100% de la máxima densidad seca*



**Figura 51**

*Variación del CBR para el 95% de la máxima densidad seca*



De acuerdo a las gráficas se observa que los suelos de grava bien gradada (GW-GC y GW-GM) presentan en su mayoría un incremento en el valor del CBR no saturado respecto al CBR saturado para ambos grados de compactación (100% y 95%), con variaciones que oscilan entre el 2% y el 26%. Este comportamiento sugiere que la omisión del periodo de inmersión incrementa la relación de soporte en este tipo de suelos. La muestra A0154/22 (GW-GC) es la única que presenta una disminución del CBR en un 14% y 5% para los grados de compactación del 100% y 95%, respectivamente, posiblemente debido a una redistribución desigual de la humedad o variabilidad del suelo. Cabe mencionar esta es la única muestra de suelo gravoso que presenta plasticidad ( $IP = 4$ ). Por otro lado, la muestra A0250/22 (GP-GM) muestra un incremento consistente del 54% en ambos grados de compactación, indicando una diferencia significativa entre ambas condiciones.

En suelos arenosos (SM, SW-SM y SC), los valores del CBR no saturado suelen ser mayores que los del CBR saturado. Para el grado de compactación del 100%, se observan incrementos que van desde un 78% (A0155/22) hasta una reducción del 5% (A0246/22). Al 95% de la máxima densidad seca, los incrementos son más notorios, variando entre el 18% y el 101%.

Los suelos finos (CH, CL-ML y ML) muestran los mayores incrementos en el CBR no saturado respecto al CBR saturado para ambos grados de compactación. Al 100% de compactación, el incremento va desde el 88% y puede alcanzar hasta el 1455%. Para el grado de compactación del 95%, los incrementos oscilan entre el 125% y 1719%. El incremento más significativo se suscitó en la muestra A0494/22 (CH), la cual coincidentemente tiene el mayor contenido de finos e índice de plasticidad de la investigación, 91.9% y 42 respectivamente. Estos resultados enfatizan que el contenido de finos presente en estos suelos, junto con su plasticidad, hace que sean más susceptibles a cambios drásticos en el valor del CBR.

En resumen, los valores del CBR saturado y CBR no saturado varían según el tipo de suelo, reflejando su comportamiento frente a la presencia o ausencia del periodo de inmersión. Los suelos gravosos presentan los valores más altos de CBR y los menores porcentajes de variación. En los suelos arenosos, el CBR alcanza valores intermedios y muestra variaciones más notorias al omitir el periodo de inmersión. Por otro lado, los suelos finos registran los valores más bajos de CBR, pero presentan los porcentajes de variación más altos, lo que refleja una notable mejora de su resistencia en condiciones no saturadas. En general, el CBR no saturado es mayor que el CBR saturado, y la magnitud de esta diferencia está directamente relacionada con la granulometría y la capacidad de absorción de agua del suelo.

En general, la omisión del periodo de inmersión incrementa el valor del CBR, especialmente en suelos finos y arenosos, donde el contenido de humedad tiene un impacto mayor en la estructura del suelo. En suelos gravosos, el incremento es menor, pero aún significativo. Los incrementos más altos se presentan en suelos cohesivos de alta plasticidad, en los que la saturación reduce drásticamente la capacidad de soporte. En contraste, los suelos granulares muestran variaciones menos pronunciadas, lo que confirma su mayor resistencia frente a condiciones de humedad.

#### 4.2.2. Análisis descriptivo

Con el fin de profundizar en el comportamiento estadístico de las variables consideradas, se ha realizado un análisis descriptivo diferenciado para suelos granulares (contenido de finos < 35%) y suelos finos (contenido de finos > 35%). Esta clasificación permite identificar patrones particulares y evaluar con mayor precisión la variabilidad de los datos según la naturaleza del suelo. Las Tablas 19 y 20 presentan las medidas estadísticas correspondientes para ambos grupos.

**Tabla 19**

*Medidas estadísticas de las variables de los suelos granulares*

Medidas	CBR saturado		CBR no saturado		Máxima densidad seca	Contenido de finos
	100%MDS	95%MDS	100%MDS	95%MDS		
Media	160.5	104.0	179.5	120.8	2.287	9.8
Error típico	25.8	14.5	27.3	11.9	0.022	3.3
Mediana	133.3	101.9	167.5	123.6	2.305	6.0
Desviación estándar	68.3	38.4	72.3	31.5	0.059	8.7
Varianza de la muestra	4666.4	1475.3	5224.3	991.4	0.003	75.9

Medidas	CBR saturado		CBR no saturado		Máxima densidad seca	Contenido de finos
	100%MDS	95%MDS	100%MDS	95%MDS		
Curtosis	-0.1	-1.5	3.4	-0.7	-1.572	5.9
Coefficiente de asimetría	0.7	0.2	1.6	0.3	-0.485	2.4
Rango	197.4	99.8	222.2	85.9	0.146	23.8
Mínimo	80.6	53.8	104.7	84.5	2.205	5.3
Máximo	278.0	153.6	326.9	170.4	2.351	29.1
Número de datos	7	7	7	7	7	7

**Tabla 20**

*Medidas estadísticas de las variables de los suelos finos*

Medidas	CBR saturado		CBR no saturado		Máxima densidad seca	Contenido de finos
	100%MDS	95%MDS	100%MDS	95%MDS		
Media	27.3	20.1	58.5	47.7	1.906	60.6
Error típico	8.4	5.6	9.9	6.0	0.077	9.9
Mediana	28.3	18.4	48.3	42.2	2.006	59.4
Desviación estándar	18.8	12.5	22.2	13.5	0.173	22.2
Varianza de la muestra	352.9	156.6	492.4	182.0	0.030	491.3
Curtosis	1.4	0.0	4.6	2.0	-2.912	-0.7
Coefficiente de asimetría	0.4	-0.5	2.1	1.5	-0.552	0.5
Rango	52.0	32.6	52.7	32.5	0.376	55.7
Mínimo	2.9	2.1	45.1	37.4	1.695	36.2
Máximo	54.9	34.7	97.8	69.9	2.071	91.9
Número de datos	5	5	5	5	5	5

Al analizar los valores del CBR saturado, se observa una diferencia marcada entre suelos granulares y finos. Para los suelos granulares, la media del CBR saturado al 100% de la densidad máxima seca es de 160.5, con una desviación estándar de 68.3 y varianza de 4665.7. A una compactación del 95%, la media se reduce a 106.3, con una desviación estándar de 34.7 y varianza de 1204.9. En los suelos finos, la media del CBR saturado es considerablemente menor: 27.3 al 100% y 16.5 al 95%, con desviaciones estándar de 18.8 y 9.6, respectivamente. La varianza también es significativamente más baja (353.7 al 100% y 91.5 al 95%). Esta comparación muestra que los suelos finos tienen no solo menor capacidad de soporte en condiciones saturadas, sino también una menor variabilidad en sus resultados, lo que refleja comportamientos más consistentes dentro de este grupo. En cambio, los suelos granulares, aunque con mayor capacidad de soporte, presentan mayor dispersión en los resultados.

En cuanto al CBR no saturado, los suelos granulares nuevamente presentan valores más altos, con una media de 179.5 al 100% y 130.6 al 95% de la densidad máxima seca. Las desviaciones estándar respectivas son de 72.3 y 53.4, con varianzas de 5224.4 y 2848.3. Por su parte, los suelos finos presentan medias de 58.5 (100% MDS) y 56.4 (95% MDS), con desviaciones estándar de 22.2 y 18.6, y varianzas de 492.5 y 344.1, respectivamente. En este caso, la variabilidad de los suelos granulares es más alta, lo que refleja una respuesta más heterogénea ante condiciones no saturadas. Los suelos finos, en cambio, muestran resultados más consistentes. Aun así, estos suelos registran un incremento notable en su resistencia al no considerar el periodo de inmersión.

La máxima densidad seca presenta menor contraste entre ambos grupos. Los suelos granulares muestran una media de 2.287, con una desviación estándar de 0.059 y varianza de 0.003. Por otro lado, los suelos finos tienen una media de 1.906, con una desviación estándar

de 0.173 y varianza de 0.030. La variabilidad en los suelos granulares es bastante baja, lo cual indica una mayor uniformidad en su comportamiento. Esta baja variabilidad es esperable, ya que los valores de la máxima densidad seca no tienden a cambiar considerablemente entre muestras del mismo tipo y no representan una fuente importante de error o incertidumbre en los modelos de predicción del CBR. En los suelos finos, sin embargo, la mayor dispersión sugiere una influencia de factores adicionales, como el tipo de mineral, estructura y óptimo contenido de humedad.

El contenido de finos es la variable que más claramente distingue a ambos grupos. En los suelos granulares, la media es de 9.8, con una desviación estándar de 8.7 y varianza de 75.5. En cambio, los suelos finos tienen una media de 60.6, con una desviación estándar de 22.2 y varianza de 493.4. La variabilidad en los suelos finos es considerablemente mayor, lo que puede deberse a la inclusión de distintos subtipos dentro del mismo grupo, como arenas limosas, limos y arcillas, cada uno con características distintas. Esta dispersión tiene implicancias importantes en el comportamiento mecánico del suelo, ya que el contenido de finos está estrechamente relacionado con la capacidad de compactación, plasticidad y respuesta a la saturación.

El análisis descriptivo revela diferencias marcadas entre suelos granulares y finos en todas las variables evaluadas. En general, los suelos granulares presentan mayores valores promedio de CBR, tanto en condición saturada como no saturada, y una mayor variabilidad, lo que indica una respuesta más heterogénea. En contraste, los suelos finos muestran valores más bajos pero menor variabilidad, con una notable mejora del CBR al omitir el periodo de inmersión. La máxima densidad seca y el contenido de finos también reflejan esta distinción: mientras que la máxima densidad seca presenta baja variabilidad, especialmente en suelos

granulares, el contenido de finos muestra alta dispersión en suelos finos debido a la diversidad de suelos incluidos.

Cabe destacar que, dado que las ecuaciones de los modelos estadísticos consideran tanto el CBR no saturado como el CBR saturado, las diferencias observadas entre los distintos tipos de suelo pueden integrarse de manera adecuada sin afectar la confiabilidad de los modelos. Esto se debe a que la relación entre ambas variables se mantiene coherente dentro de cada grupo de suelos, lo que permite que los modelos representen con precisión las particularidades de cada tipo, a pesar de las variaciones identificadas.

#### **4.2.3. Análisis de regresión**

Para la presente investigación se utiliza un análisis de regresión lineal múltiple para estimar el CBR saturado a partir del CBR no saturado, máxima densidad seca y contenido de finos para los grados de compactación del 100% y 95% de la máxima densidad seca. Los objetivos son desarrollar modelos estadísticos para estimar la relación de soporte de California para distintos tipos de suelos, evaluar la correlación entre las variables a través del coeficiente de correlación ( $R$ ), y determinar que tan bien se ajustan los modelos de regresión mediante el coeficiente de determinación ( $R^2$ ). Un valor de  $R^2$  cercano a uno indica un mayor porcentaje de la variación del CBR saturado que es explicado por el modelo estadístico.

Debido a la variabilidad observada en los resultados de la estadística descriptiva, se optó por desarrollar modelos para suelos con un contenido de finos superior al 35% y para aquellos con un contenido de finos inferior al 35%. Adicionalmente, se construyeron modelos globales que incluyan todas las muestras, con el propósito de comparar su confiabilidad en la estimación del CBR frente a los modelos específicos para suelos según su contenido de finos. Esta

estrategia busca proporcionar una evaluación más precisa y fiable de la influencia de la máxima densidad seca y el contenido de finos en la predicción del CBR.

La tabla 21 resume los cuatro modelos estadísticos considerados en esta investigación, detallando las variables empleadas, los tipos de suelos aplicables y la cantidad de datos utilizados en cada modelo.

**Tabla 21**

*Modelos estadísticos considerados en la investigación*

Modelo	Variables	Suelos	Datos
Modelo 1	CBR <sub>s</sub> , CBR <sub>ns</sub> , MDS, %Finos	Todos	12
Modelo 2	CBR <sub>s</sub> , CBR <sub>ns</sub> , %Finos	Todos	12
Modelo 3	CBR <sub>s</sub> , CBR <sub>ns</sub> , %Finos	%Finos < 35	7
Modelo 4	CBR <sub>s</sub> , CBR <sub>ns</sub> , %Finos	%Finos > 35	5

El modelo 1 incluye todas las variables consideradas en el estudio, es decir, el CBR saturado, el CBR no saturado, la máxima densidad seca y el contenido de finos. Este modelo se desarrolla utilizando los 12 suelos de la investigación, lo que permite obtener una relación más general entre las variables y el CBR saturado. Las figuras 52 y 53 presentan los gráficos de dispersión del CBR estimado frente al CBR de laboratorio para este modelo, diferenciando los grados de compactación al 100% y 95% de la MDS, respectivamente.

El modelo 2, al igual que el modelo 1, se desarrolla con los 12 suelos disponibles en el estudio. Sin embargo, este modelo prescinde de la máxima densidad seca y solo emplea el CBR saturado, el CBR no saturado y el contenido de finos como variables. Esto permite evaluar el

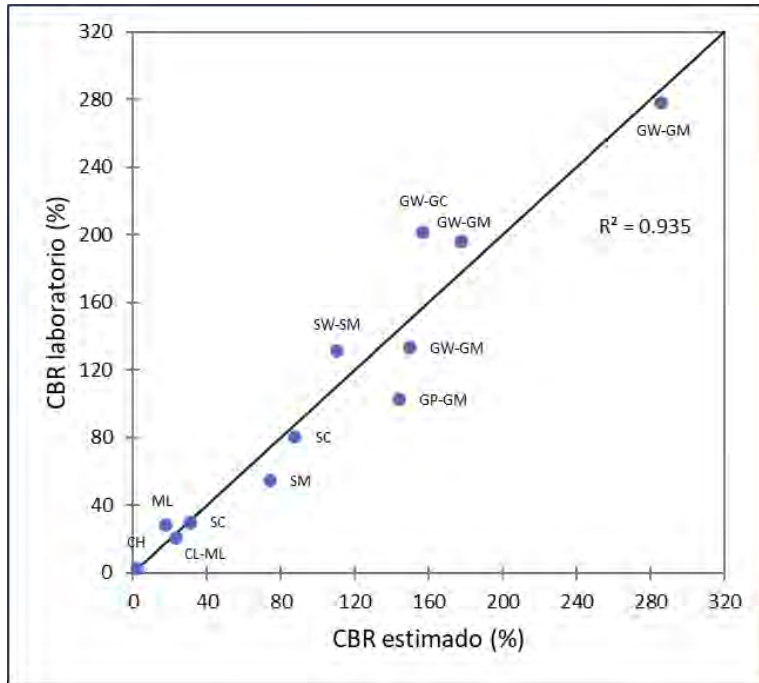
impacto de estas propiedades sin la influencia de la máxima densidad seca, lo que puede ser útil para analizar su efecto específico en la relación de soporte del suelo. Los gráficos de dispersión correspondientes a este modelo se encuentran en las figuras 54 y 55, donde se comparan los valores estimados con los valores obtenidos en laboratorio para los grados de compactación del 100% y 95% de la MDS, respectivamente.

El modelo 3 mantiene la misma estructura de variables que el modelo 2 pero se enfoca exclusivamente en suelos con menos del 35% de finos, utilizando un subconjunto de 7 suelos. Esta segmentación busca determinar si la respuesta del CBR a la inmersión y a las propiedades del suelo varía significativamente en función de un menor contenido de finos. Los gráficos de dispersión de este modelo se presentan en las figuras 56 y 57, proporcionando una visualización de la relación entre los valores estimados y los valores reales del CBR.

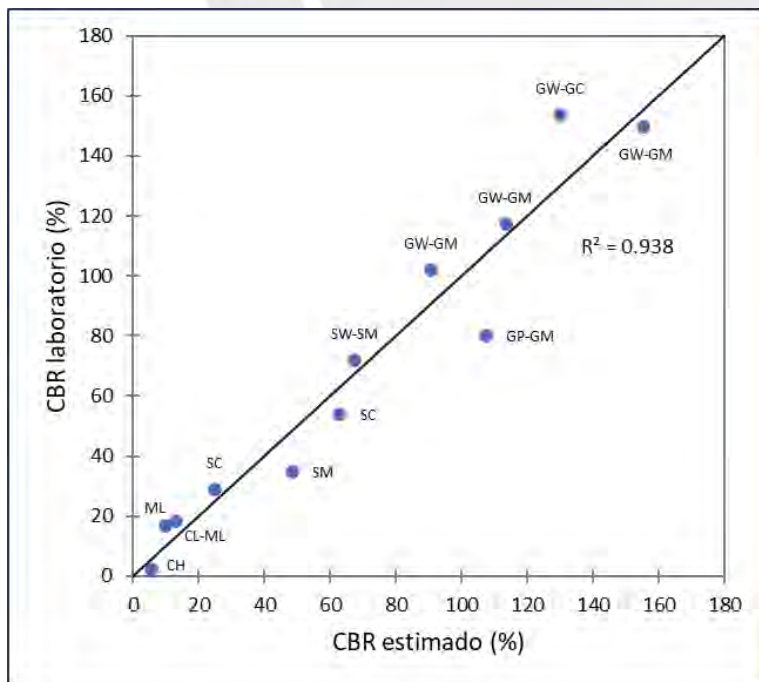
Por último, el modelo 4 sigue la misma metodología, pero se aplica únicamente a suelos con más del 35% de finos, utilizando un conjunto de 5 suelos. Esta clasificación permite evaluar la influencia de un alto porcentaje de finos en la estimación del CBR y determinar si los modelos específicos para este tipo de suelos presentan diferencias significativas respecto a aquellos con menor contenido de finos. Los gráficos de dispersión correspondientes se encuentran en las figuras 58 y 59, mostrando el comportamiento de este grupo de suelos en relación con el CBR estimado.

**Figura 52**

*CBR estimado vs CBR laboratorio del modelo 1 para el 100% de la MDS*

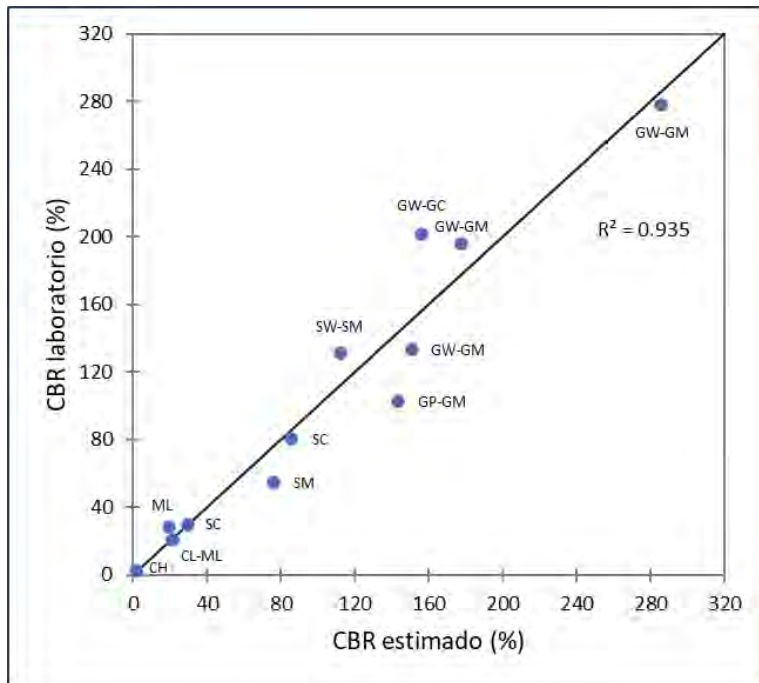
**Figura 53**

*CBR estimado vs CBR laboratorio del modelo 1 para el 95% de la MDS*

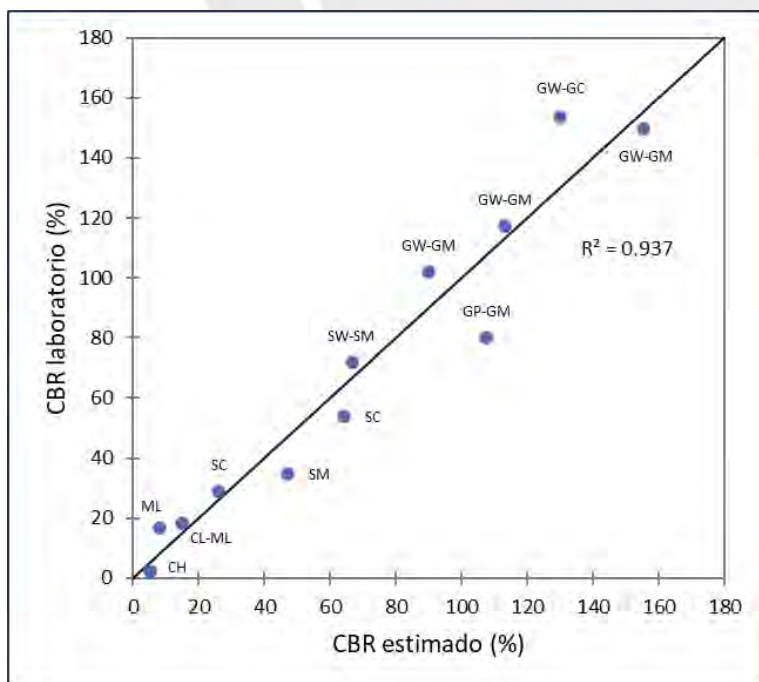


**Figura 54**

*CBR estimado vs CBR laboratorio del modelo 2 para el 100% de la MDS*

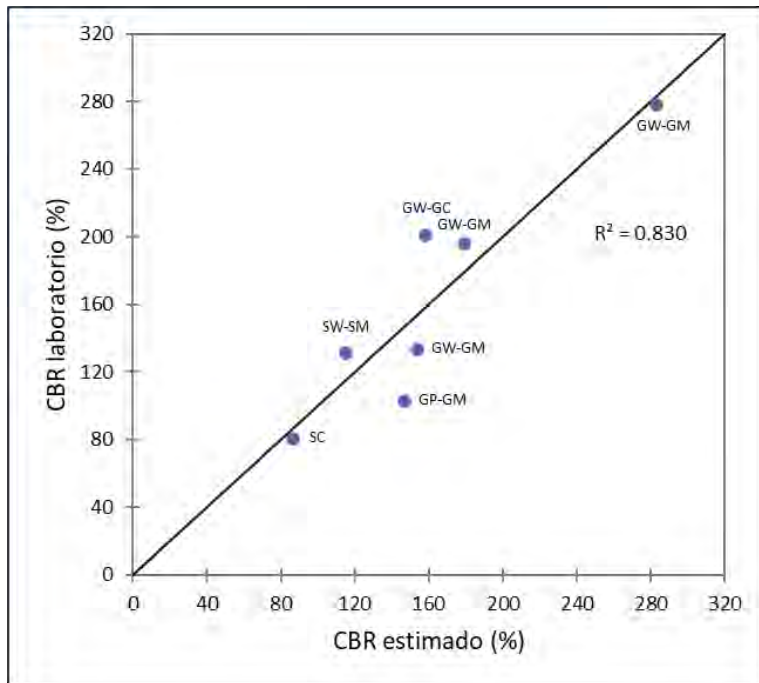
**Figura 55**

*CBR estimado vs CBR laboratorio del modelo 2 para el 95% de la MDS*

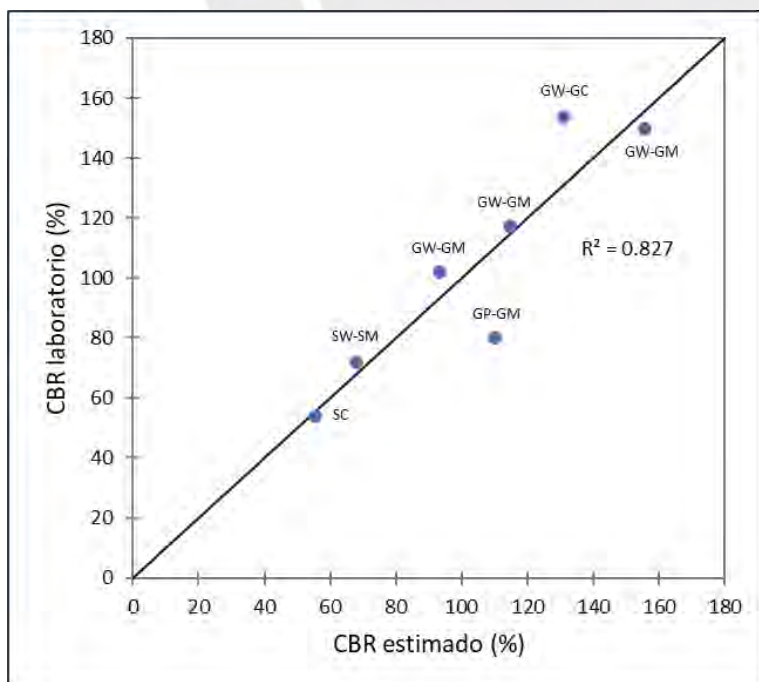


**Figura 56**

*CBR estimado vs CBR laboratorio del modelo 3 para el 100% de la MDS*

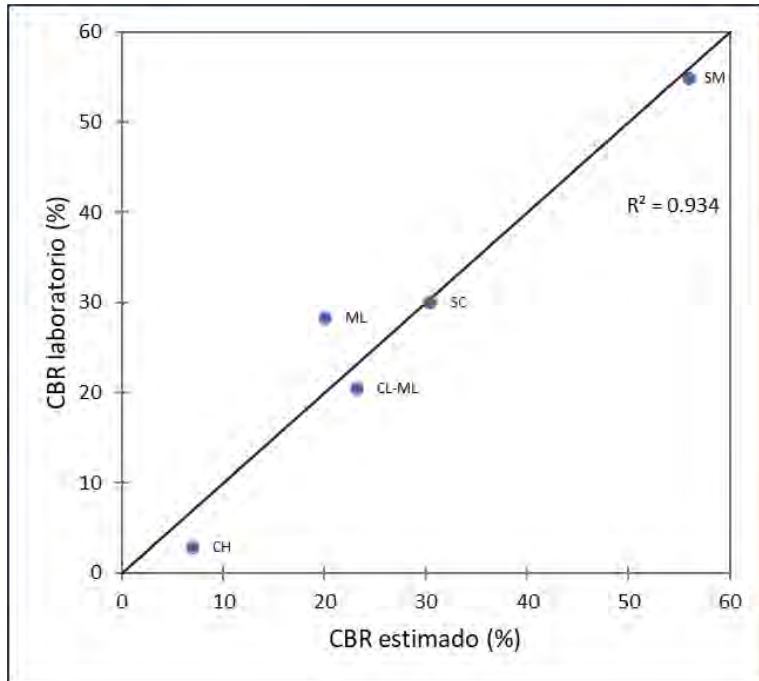
**Figura 57**

*CBR estimado vs CBR laboratorio del modelo 3 para el 95% de la MDS*

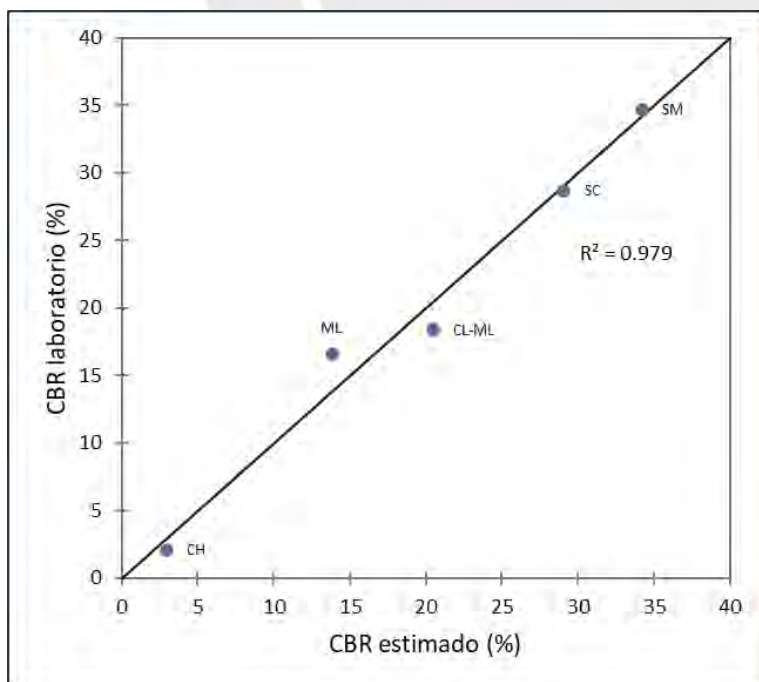


**Figura 58**

*CBR estimado vs CBR laboratorio del modelo 4 para el 100% de la MDS*

**Figura 59**

*CBR estimado vs CBR laboratorio del modelo 4 para el 95% de la MDS*



La tabla 22 muestra los modelos estadísticos obtenidos del análisis de regresión múltiple, en donde se detalla la ecuación de regresión de cada modelo de acuerdo a su grado de compactación, el coeficiente de correlación R, el coeficiente de determinación R<sup>2</sup> y los suelos utilizados para el desarrollo de cada modelo.

**Tabla 22**

*Modelos estadísticos obtenidos del análisis de regresión múltiple*

Modelo	Grado de compactación	Ecuación de regresión	R	R <sup>2</sup>	Suelos utilizados
Modelo 1	100%MDS	$CBR_s = 0.840 CBR_{ns} + 25.400 MDS - 0.351 \%Finos - 46.622$	0.967	0.935	Todos
	95%MDS	$CBR_s = 1.039 CBR_{ns} - 19.834 MDS - 0.295 \%Finos + 26.536$	0.968	0.938	
Modelo 2	100%MDS	$CBR_s = 0.843 CBR_{ns} - 0.529 \%Finos + 12.511$	0.967	0.935	Todos
	95%MDS	$CBR_s = 1.024 CBR_{ns} - 0.171 \%Finos - 18.101$	0.968	0.937	
Modelo 3	100%MDS	$CBR_s = 0.814 CBR_{ns} - 0.683 \%Finos + 21.119$	0.911	0.830	%Finos < 35
	95%MDS	$CBR_s = 0.977 CBR_{ns} - 0.713 \%Finos - 6.963$	0.909	0.827	
Modelo 4	100%MDS	$CBR_s = 0.433 CBR_{ns} - 0.462 \%Finos + 29.372$	0.967	0.934	%Finos > 35
	95%MDS	$CBR_s = 0.052 CBR_{ns} - 0.532 \%Finos + 49.851$	0.990	0.979	

Los resultados muestran que los modelos desarrollados en la investigación presentan coeficientes de determinación ( $R^2$ ) superiores a 0.8, lo cual indica que tienen una alta confiabilidad para determinar el CBR a partir de las variables consideradas. Para el 100% de la máxima de la densidad seca, los modelos 1 y 2 obtuvieron el mayor valor de  $R^2$  (0.935), seguidos de cerca por el modelo 4 (0.934). Sus coeficientes de correlación ( $R$ ) fueron de 0.967 para los modelos 1, 2 y 4, evidenciando una muy fuerte relación entre las variables. En el caso del 95% de la máxima densidad seca, el modelo 4 presentó el mayor valor de  $R^2$  (0.979), acompañado del coeficiente de correlación más alto de toda la investigación ( $R = 0.990$ ), lo que confirma su excelente capacidad predictiva. Se observa que los coeficientes de determinación y correlación son consistentes entre los grados de compactación, excepto en el modelo 4, donde hay un incremento al pasar del 100% al 95% de la máxima densidad seca.

El modelo 1, que incluye todas las variables y es aplicable a cualquier tipo de suelo, presentó valores de  $R^2$  de 0.935 y 0.938 para el 100% y el 95% de la máxima densidad seca, respectivamente. Su coeficiente de correlación ( $R$ ) fue de 0.967 y 0.968, lo que confirma su fuerte relación con las variables predictoras. Por otro lado, el modelo 2, que excluye la máxima densidad seca pero también es aplicable a todo tipo de suelo, obtuvo valores de  $R^2$  de 0.935 y 0.937, con coeficientes de correlación de 0.967 y 0.968, lo que demuestra que la máxima densidad seca no es una variable determinante en la estimación del CBR.

El modelo 3, diseñado para suelos con contenido de finos menor al 35% y que excluye la máxima densidad seca, presentó los valores más bajos de  $R^2$  del estudio: 0.830 para el 100% de la máxima densidad seca y 0.827 para el 95%. Su coeficiente de correlación fue de 0.911 y 0.909, lo que indica una fuerte relación entre las variables consideradas. A pesar de que sus

valores de  $R^2$  son menores que los de los otros modelos, sigue siendo una herramienta válida para estimar el CBR en suelos granulares.

Por otro lado, el modelo 4, desarrollado para suelos con contenido de finos mayor al 35%, alcanzó valores de  $R^2$  de 0.934 y 0.979 para el 100% y el 95% de la máxima densidad seca, respectivamente. Sus coeficientes de correlación fueron de 0.967 y 0.990, lo que confirma su alta precisión en suelos con alta presencia de finos. Cabe señalar que este modelo experimentó un aumento en su coeficiente de determinación al reducir la compactación al 95% de la máxima densidad seca, alcanzando el mayor valor de  $R^2$  registrado en la investigación (0.979).

En resumen, los modelos desarrollados en el estudio presentan coeficientes de determinación notablemente altos. Los modelos 1 y 2 son los más versátiles para estimar el CBR en cualquier tipo de suelo, mostrando valores de  $R^2$  superiores a 0.935 y coeficientes de correlación de 0.967 y 0.968. Además, se demuestra que la máxima densidad seca no es una variable determinante, ya que su exclusión no afecta significativamente la precisión de los modelos. Aunque el modelo 3 presenta los menores coeficientes de determinación de la investigación (0.830 y 0.827) y coeficientes de correlación inferiores a los otros modelos (0.911 y 0.909), sigue siendo una herramienta válida para estimar el CBR en suelos granulares. Por su parte, el modelo 4 destaca como el más preciso y confiable para suelos con contenido de finos superior al 35%, gracias a sus altos valores de  $R^2$  y su fuerte correlación con las variables predictoras. Estos resultados confirman que segmentar los modelos según el contenido de finos mejora significativamente la precisión en la estimación del CBR, especialmente en suelos con alta proporción de finos.

#### 4.2.4. Análisis de varianza

Para validar los modelos propuestos, se realiza un análisis de varianza factorial ANOVA, una prueba estadística que permite evaluar la significancia de los modelos de regresión. Para ello, se establecen dos hipótesis: la hipótesis nula, que plantea que los coeficientes de la regresión son iguales a cero, lo que implica que la regresión no es significativa; y la hipótesis alternativa, que sostiene que al menos uno de los coeficientes es diferente de cero, lo que indica que la regresión es significativa.

Para que un modelo sea considerado significativo, deben cumplirse dos condiciones: el valor estadístico F debe ser mayor que el valor crítico F, y el p-value debe ser menor que el nivel de significancia. En este análisis, se considera un nivel de confianza del 95%, por lo que el nivel de significancia es 0.05. Si ambas condiciones se cumplen, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, lo que confirma la significancia del modelo. En caso contrario, se acepta la hipótesis nula, indicando que el modelo no es significativo.

La tabla 23 presenta los resultados del análisis de varianza ANOVA aplicado a cada modelo de regresión de la investigación.

**Tabla 23***Análisis de varianza ANOVA aplicado a los modelos de la investigación*

Medidas / Fuente		Modelo 1		Modelo 2		Modelo 3		Modelo 4	
		100% MDS	95% MDS	100% MDS	95% MDS	100% MDS	95% MDS	100% MDS	95% MDS
Grados de Libertad	Regresión	3	3	2	2	2	2	2	2
	Error Residual	8	8	9	9	4	4	2	2
	Total	11	11	11	11	6	6	4	4
Suma de Cuadrados	Regresión	75843.008	28153.672	75818.808	28140.113	23241.552	7318.204	1318.682	613.258
	Error Residual	5288.712	1876.194	5312.912	1889.754	4756.957	1533.393	92.966	13.002
	Total	81131.720	30029.867	81131.720	30029.867	27998.509	8851.597	1411.648	626.260
Promedio de los Cuadrados	Regresión	25281.003	9384.557	37909.404	14070.056	11620.776	3659.102	659.341	306.629
	Error Residual	661.089	234.524	590.324	209.973	1189.239	383.348	46.483	6.501

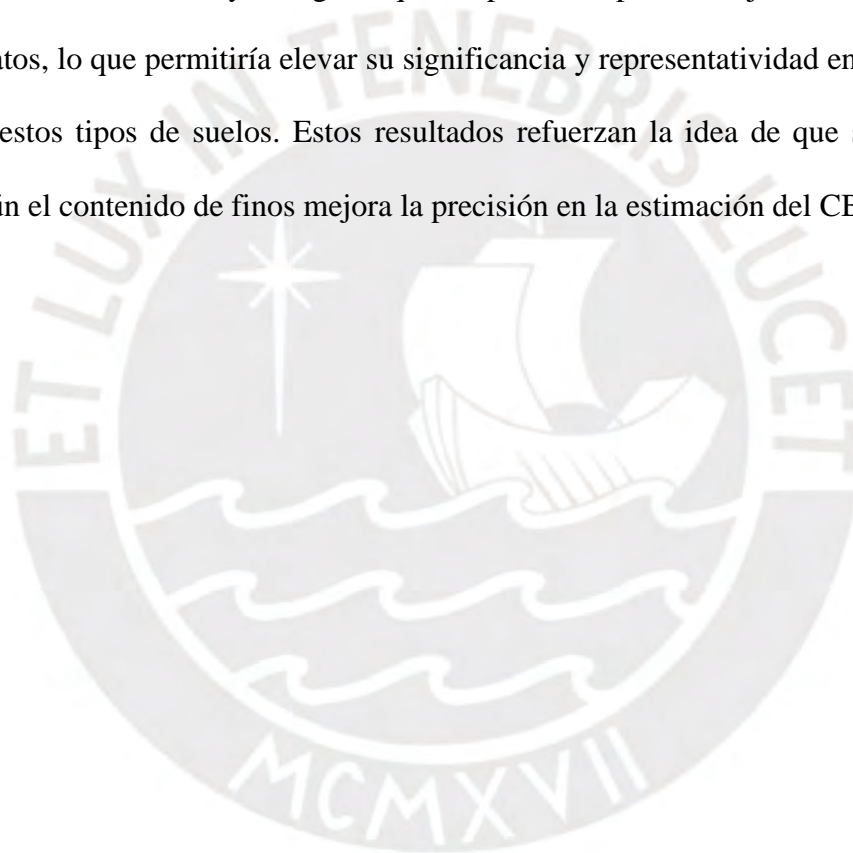


Los resultados del análisis de varianza indican que los modelos 1 y 2 presentan valores elevados de F (38.241 y 40.015 para el modelo 1; 64.218 y 67.009 para el modelo 2), muy superiores a sus respectivos valores críticos, junto con p-values extremadamente bajos ( $<10^{-5}$ ). Esto confirma su alta significancia y validez tanto para el 100% como para el 95% de la máxima densidad seca. En particular, el modelo 2 destaca por presentar los valores de F más altos de la investigación, lo que sugiere que las variables seleccionadas aportan información significativa para la predicción del CBR.

El modelo 3, aunque presenta los valores de F más bajos (9.772 y 9.545), sigue siendo estadísticamente significativo, ya que estos valores superan los valores críticos y sus p-values (0.029 y 0.030) son menores que el nivel de significancia. Esto indica que el modelo es adecuado para estimar el CBR en suelos granulares. Sin embargo, su capacidad predictiva podría verse limitada debido al reducido número de muestras utilizadas en la regresión (7 muestras), lo que puede afectar su utilidad y representatividad.

Por su parte, el modelo 4 presenta resultados mixtos. Para el 95% de la máxima densidad seca, el modelo es significativo ( $F = 47.168$ ,  $p\text{-value} = 0.021$ ), lo que indica una capacidad adecuada para predecir el CBR en suelos con alto contenido de finos. No obstante, para el 100% de la máxima densidad seca, el valor de F (14.185) no supera el valor crítico (19.000) y su p-value (0.0659) supera el umbral de significancia, lo que sugiere que las variables seleccionadas no aportan información significativa para la predicción del CBR en esta condición. Esto puede deberse a la cantidad limitada de muestras utilizadas en la regresión (5 muestras), lo que compromete la utilidad y representatividad del modelo.

En conclusión, el análisis de varianza confirma que los modelos de regresión propuestos son, en su mayoría, significativos y válidos para predecir el CBR en los suelos estudiados. Los modelos 1 y 2 son los más confiables para estimar el CBR en distintos tipos de suelo, mientras que el modelo 3 es adecuado para suelos granulares. El modelo 4, en cambio, demuestra ser significativo solo en suelos con contenido de finos superior al 35% y a un nivel de compactación del 95% de la máxima densidad seca. Sin embargo, la baja cantidad de muestras utilizadas para los modelos 3 y 4 sugiere que su precisión podría mejorarse con un mayor número de datos, lo que permitiría elevar su significancia y representatividad en la predicción del CBR en estos tipos de suelos. Estos resultados refuerzan la idea de que segmentar los modelos según el contenido de finos mejora la precisión en la estimación del CBR.



## Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones

En este capítulo se presentan y analizan las principales conclusiones obtenidas a lo largo de la investigación, destacando la relevancia de los resultados y su impacto en la estimación del CBR en distintos tipos de suelo. Se discutirán los hallazgos clave en relación con los modelos de regresión desarrollados, su precisión y aplicabilidad, así como las implicancias de los valores obtenidos en términos de confiabilidad y utilidad práctica. Además, se plantearán comentarios y recomendaciones orientadas a mejorar futuras investigaciones en este campo, considerando aspectos como la recopilación de datos, el refinamiento de los modelos y posibles aplicaciones.

### 5.1. Conclusiones

1. Los resultados evidencian que el CBR saturado presenta una correlación significativa con el CBR no saturado, el contenido de finos y, en menor medida, con la máxima densidad seca. Los coeficientes de correlación obtenidos en los modelos desarrollados reflejan una fuerte asociación entre estas variables, con valores por encima de 0.909 para los grados de compactación del 100% y 95% de la máxima densidad seca.
2. En términos generales, el valor del CBR no saturado es superior al del CBR saturado, y la diferencia entre ambos depende de la granulometría y la capacidad del suelo de absorber agua. Los suelos gravosos presentan los valores más altos de CBR y experimentan modestos incrementos al omitir el periodo de inmersión. En contraste, los suelos arenosos y finos muestran una diferencia más pronunciada, con un incremento significativo de su resistencia en condiciones no saturadas.
3. La omisión del periodo de inmersión influye positivamente en la relación de soporte del suelo, incrementando el valor del CBR en la mayoría de los casos, aunque con distinta magnitud según el tipo de suelo. En suelos gravosos, el incremento es

moderado; en suelos arenosos, más pronunciado; y en suelos finos, especialmente aquellos con alta plasticidad, se registran los incrementos más significativos. En general, los suelos cohesivos presentan las mayores variaciones en el CBR al omitir el periodo de inmersión, mientras que en los suelos granulares, el efecto es menos marcado, pero sigue siendo relevante.

4. Los modelos desarrollados presentan coeficientes de determinación elevados ( $R^2 > 0.8$ ), lo que indica su alta confiabilidad para estimar el CBR. Los modelos 1 y 2 fueron los más versátiles, con valores de  $R^2$  superiores a 0.935, lo que demuestra su aplicabilidad en distintos tipos de suelo. Aunque el modelo 3 presentó los menores coeficientes de determinación (0.830 y 0.827), sigue siendo una herramienta válida para estimar el CBR en suelos granulares. Por su parte, el modelo 4 destacó como el más preciso para suelos con contenido de finos superior al 35%, con un coeficiente de determinación de hasta 0.979. El análisis de varianza confirmó la significancia de la mayoría de los modelos, excepto para el modelo 4 para el 100% de la máxima densidad seca, lo que sugiere que su precisión podría mejorar con una mayor cantidad de datos.

## 5.2. Comentarios y Recomendaciones

1. La influencia de la densidad en el valor del CBR varía según el tipo de suelo: es considerable en suelos granulares, mientras que en suelos finos su efecto es mucho más limitado. Esta diferencia debe ser considerada al aplicar modelos estadísticos, ya que refuerza la importancia de segmentar el análisis según la naturaleza del suelo para lograr estimaciones más precisas.
2. Se recomienda aumentar el número de muestras para mejorar la robustez de los modelos, especialmente en suelos con contenido de finos mayor al 35%, donde la cantidad de datos fue más limitada.

3. Este estudio, a pesar de la cantidad limitada de muestras, constituye un primer marco de referencia sobre la relación entre el CBR no saturado y el CBR saturado en suelos de distintas regiones del país. La ausencia de normativas nacionales para la evaluación del CBR no saturado resalta la necesidad de investigaciones adicionales que permitan desarrollar una regulación específica para su aplicación en el país.
4. Es necesario realizar pruebas en campo para validar los modelos obtenidos en condiciones reales, lo que permitiría evaluar su aplicabilidad en proyectos de infraestructura vial.
5. Se sugiere explorar el uso de técnicas avanzadas, como redes neuronales artificiales o modelos de *machine learning*, para evaluar si pueden proporcionar estimaciones más precisas del CBR.
6. Sería interesante analizar el efecto de la inmersión en el CBR considerando diferentes periodos de saturación. Por ejemplo, realizar el ensayo de penetración tras 02, 04, 06 y 08 días de inmersión permitiría evaluar la evolución de la reducción del CBR en distintos tipos de suelo y determinar cómo varía su relación de soporte con el tiempo.
7. Los resultados obtenidos en esta investigación demuestran que el uso del CBR no saturado es una herramienta valiosa para predecir la relación de soporte del suelo sin necesidad de cumplir con el periodo de inmersión de 04 días, lo que optimiza el tiempo de ejecución del ensayo CBR. La metodología propuesta puede servir como referencia para futuras investigaciones orientadas a la caracterización de suelos en proyectos de ingeniería civil, contribuyendo a una mejor toma de decisiones en el diseño y construcción de obras viales.

### Referencias

- AFNOR. (1997). *NF P 94-078 Sols: reconnaissance et essais - Indice CBR après immersion. Indice CBR immédiat. Indice Portant Immédiat - Mesure sur échantillon compacté dans le moule CBR.*
- Ahmed, S. S., Hossain, N., Khan, A. J., & Islam, M. S. (2018). Prediction of soaked CBR using index properties, dry density and unsoaked CBR of lean clay. *Malaysian Journal of Civil Engineering*, 28(2). <https://doi.org/10.11113/mjce.v28.15975>
- Alawi, M. H., & Rajab, M. I. (2013). Prediction of California bearing ratio of subbase layer using multiple linear regression models. *Road Materials and Pavement Design*, 14(1), 211–219. <https://doi.org/10.1080/14680629.2012.757557>
- Al-Hadithi, B. I. (2018). An investigation into factors causing delays in highway construction projects in Iraq. *MATEC Web Conf.*, 162. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201816202035>
- Al-Refeai, T., & Al-Suhaibani, A. (1997). Prediction of CBR Using Dynamic Cone Penetrometer. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 9(2), 191–203. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1018-3639\(18\)30676-7](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1018-3639(18)30676-7)
- Araujo, W. (2014). *Ecuaciones de correlación del CBR con propiedades índice de suelos para la ciudad de Piura* [Universidad de Piura]. <https://hdl.handle.net/11042/2192>
- Arshad, A. K., Shaffie, E., Ismail, F., Hashim, W., Daud, N., & Abd Rahman, Z. (2018). Comparative evaluation of soil subgrade strength using laboratory and in-situ tests. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 9, 1184–1191.

- ASTM International. (2014). ASTM D854-14 Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer. *Annual Book of ASTM Standards, 04.08*. <https://doi.org/10.1520/D0854-14>
- ASTM International. (2015). ASTM C127-15 Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate. *Annual Book of ASTM Standards, 04.02*. <https://doi.org/10.1520/C0127-15>
- ASTM International. (2017). ASTM D6913/D6913M-17 Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis. *Annual Book of ASTM Standards, 04.09*. [https://doi.org/10.1520/D6913\\_D6913M-17](https://doi.org/10.1520/D6913_D6913M-17)
- ASTM International. (2018). ASTM D4318-17 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils. *Annual Book of ASTM Standards, 04.08*. <https://doi.org/10.1520/D4318-17E01>
- ASTM International. (2020). ASTM D2487-17 Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System). *Annual Book of ASTM Standards, 04.08*. <https://doi.org/10.1520/D2487-17E01>
- ASTM International. (2021a). ASTM D653-21b Standard Terminology Relating to Soil, Rock, and Contained Fluids. *Annual Book of ASTM Standards, 04.08*. <https://doi.org/10.1520/D0653-21B>
- ASTM International. (2021b). ASTM D1557-12 (Reapproved 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>)). *Annual Book of ASTM Standards, 04.08*. <https://doi.org/10.1520/D1557-12R21>

- ASTM International. (2021c). ASTM D1883-21 Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils. *Annual Book of ASTM Standards, 04.08*.  
<https://doi.org/10.1520/D1883-21>
- Bowles, J. E. (1981). *Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil*. McGraw-Hill.
- Budhu, M. (2010). *Soil mechanics and foundations* (Third Edition). Wiley.
- Carrasco, B. (2016). *Correlación del valor de soporte de California (CBR) con la resistencia a la compresión inconfiada en suelos cohesivos en el Pueblo Joven Nuevo Progreso en el distrito de Pimentel, provincia de Chiclayo, región Lambayeque* [Universidad Señor de Sipán]. <https://hdl.handle.net/20.500.12802/4433>
- Das, B. M. (2015). *Fundamentos de ingeniería geotécnica* (Cuarta edición). Cengage Learning.
- Hassan, J., Alshameri, B., & Iqbal, F. (2021). Prediction of California Bearing Ratio (CBR) Using Index Soil Properties and Compaction Parameters of Low Plastic Fine-Grained Soil. *Transportation Infrastructure Geotechnology*. <https://doi.org/10.1007/s40515-021-00197-0>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta edición). McGraw-Hill Education.
- Holtz, R. D., Kovacs, W. D., & Sheahan, T. C. (2011). *An introduction to geotechnical engineering* (Second Edition). Prentice-Hall.
- Katte, V. Y., Mfoyet, S. M., Manefouet, B., Wouatong, A. S. L., & Bezeng, L. A. (2019). Correlation of California Bearing Ratio (CBR) Value with Soil Properties of Road Subgrade Soil. *Geotechnical and Geological Engineering*, 37(1), 217–234.  
<https://doi.org/10.1007/s10706-018-0604-x>

- Llanos, A., & Reyes, S. (2017). *Estudio comparativo de los ensayos California Bearing Ratio (CBR) de laboratorio y penetración dinámica de cono (PDC) en la localidad de Picsi*. Universidad Señor de Sipán.
- Mendenhall, W., Beaver, R. J., & Beaver, B. M. (2015). *Introducción a la probabilidad y estadística* (14a. edición). Cengage Learning.
- Montes, A. (2020). *Determinación de la ecuación de correlación entre el PDC y CBR con muestra inalterada, en suelos a nivel de subrasante en el tramo Gallito de las Rocas-Los Olivos, región Junín* [Universidad Peruana Unión].  
<http://hdl.handle.net/20.500.12840/3075>
- Osouli, A., Salam, S., Othmanawny, G., Tutumluer, E., Beshears, S., Shoup, H., & Eck, M. (2017). Results of Soaked and Unsoaked California Bearing Rate Tests on Unbound Aggregates with Varying Amounts of Fines and Dust Ratios. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2655, 13–19.  
<https://doi.org/10.3141/2655-02>
- Sathawara, J. K., & Patel, A. K. (2013). Comparison between soaked and unsoaked CBR. *International Journal of Advanced Engineering Research and Studies*, II(III), 132–135.
- Taha, S., Gabr, A., & El-Badawy, S. (2019). Regression and Neural Network Models for California Bearing Ratio Prediction of Typical Granular Materials in Egypt. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 44(10), 8691–8705.  
<https://doi.org/10.1007/s13369-019-03803-z>

- Taskiran, T. (2010). Prediction of California bearing ratio (CBR) of fine grained soils by AI methods. *Advances in Engineering Software*, 41(6), 886–892.  
<https://doi.org/10.1016/J.ADVENGSOFT.2010.01.003>
- Valencia, J. (2018). *Correlación del valor de soporte de California y el penetrómetro dinámico de cono en la determinación de la capacidad de soporte de las obras viales; aplicado en la vía Juliaca - Isla* [Universidad Andina “Néstor Cáceres Velásquez”].  
<https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/23638>
- Walpole, R. E., Myers, R. H., Myres, S. L., & Ye, K. (2012). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias* (Novena edición). Pearson.
- Yildirim, B., & Gunaydin, O. (2011). Estimation of California bearing ratio by using soft computing systems. *Expert Systems with Applications*, 38(5), 6381–6391.  
<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.12.054>

## Anexo A: Certificado de Acreditación

# Certificado



**INACAL**  
Instituto Nacional  
de Calidad  
**Acreditación**

La Dirección de Acreditación del Instituto Nacional de Calidad – INACAL, en el marco de la Ley N° 30224, **OTORGA** el presente certificado de Renovación de la Acreditación a:

## MOTA - ENGLIL PERÚ S.A.

**Laboratorio de Ensayo**  
En su sede ubicada en: Av. Nicolás Ayllón N° 2634, distrito Ate, provincia de Lima, departamento de Lima.

Con base en la norma  
**NTP-ISO/IEC 17025:2017 Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración**  
Facultándolo a emitir Informes de Ensayo con Símbolo de Acreditación. En el alcance de la acreditación otorgada que se detalla en el DA-acr-06P-21F que forma parte integral del presente certificado llevando el mismo número del registro indicado líneas abajo.

Fecha de Renovación: 26 de mayo de 2021  
Fecha de Vencimiento: 25 de mayo de 2025



Firmado digitalmente por RODRIGUEZ ALEGRIA  
Alejandra FAU 20600283015 soft  
Fecha: 2021-07-14 18:45:04  
Motivo: Soy el Autor del Documento

Cédula N° : 0259-2021-INACAL/DA  
Contrato N° : 022-2021-INACAL/DA  
Registro N° : LE-076

El presente certificado tiene validez con su correspondiente Alcance de Acreditación y cédula de notificación dado que el alcance puede estar sujeto a ampliaciones, reducciones, actualizaciones y suspensiones temporales. El alcance y vigencia debe consultarse en la página web [www.inacal.gob.pe/acreditacion/categoria/acreditados](http://www.inacal.gob.pe/acreditacion/categoria/acreditados) al momento de hacer uso del presente certificado.

La Dirección de Acreditación del INACAL es firmante del Acuerdo de Reconocimiento Multilateral (MLA) de Inter American Accreditation Cooperation (IAAC) e International Accreditation Forum (IAF) y del Acuerdo de Reconocimiento Muro con la International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC)

DA-acr-01P-02M Ver. 02

Fecha de emisión: 08 de julio de 2021



## Anexo B: Alcance de Acreditación



DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN

1 de 4

### ALCANCE DE LA ACREDITACIÓN DE LABORATORIOS DE ENSAYO

## MOTA - ENGIL PERÚ S.A.

Ubicado en : Av. Nicolás Ayllón N° 2634, distrito de Ate, departamento de Lima.  
 Proceso : Actualización de forma  
 Expediente N° : 0357-2022-DA-E  
 Informe Ejecutivo N° : 0475-2022-DA  
 Vigencia de la Acreditación : 2021-05-26 al 2025-05-25  
 Acreditado con la Norma : NTP-ISO/IEC 17025:2017  
 Código de Registro : LE - 076  
 Fecha de Actualización : 2022-11-10<sup>1</sup>

Laboratorio : SUELO, AGREGADO, MEZCLA ASFÁLTICA, CONCRETO Y ROCA  
 Campo de Prueba : FÍSICOS - MECÁNICOS

N°	Tipo Ensayo	Norma Referencia	Año	Título
1	ABSORCIÓN Y GRAVEDAD ESPECÍFICA DE ROCAS (PROPIEDADES FÍSICAS DE ROCAS)	ASTM C97 / C97M - 18	2018	Standard Test Methods for Absorption and Bulk Specific Gravity of Dimension Stone
Producto(s): ROCAS				
2	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO FINO Y GRUESO	ASTM C136 / C136M - 19	2019	Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates
Producto(s): AGREGADOS				
3	CANTIDAD DE MATERIAL FINO QUE PASA EL TAMIZ 75 µm (N°200) POR LAVADO	ASTM C117 - 17	2017	Standard Test Method for Materials Finer than 75-µm (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing
Producto(s): AGREGADOS				
4	CONTENIDO DE TERRONES DE ARCILLAS Y PARTICULAS FRIABLES EN AGREGADOS	ASTM C142 / C142M - 17	2017	Standard Test Method for Clay Lumps and Friable Particles in Aggregates
Producto(s): AGREGADOS				

<sup>1</sup> Es responsabilidad del laboratorio la revisión del presente alcance. En caso existan observaciones a dicho alcance, el laboratorio deberá informarlo al INACAL, con el debido sustento, en un plazo no mayor a 05 días útiles (contados a partir de recibido el presente documento), cumplido este plazo no se aceptarán observaciones.

**ALCANCE DE LA ACREDITACIÓN DE LABORATORIOS DE ENSAYO**

5	DENSIDAD, GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL AGREGADO FINO	ASTM C128 - 15	2015	Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate
Producto(s): AGREGADOS				
6	DENSIDAD, GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL AGREGADO GRUESO	ASTM C127 - 15	2015	Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate
Producto(s): AGREGADOS				
7	GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS (ENSAYO RICE)	ASTM D2041 / D2041M - 19	2019	Standard Test Method for Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of Asphalt Mixtures
Producto(s): MEZCLA BITUMINOSA				
8	INALTERABILIDAD DE AGREGADOS POR MEDIO DEL USO DE SULFATO DE MAGNESIO	ASTM C88 / C88M - 18	2018	Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate
Producto(s): AGREGADOS				
9	PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS EN AGREGADOS GRUESOS	ASTM D4791 - 19	2019	Standard Test Method for Flat Particles, Elongated Particles, or Flat and Elongated Particles in Coarse Aggregate
Producto(s): AGREGADOS				
10	PENETRACION DE MATERIALES BITUMINOSOS	ASTM D5 / D5M - 20	2020	Standard Test Method for Penetration of Bituminous Materials
Producto(s): LIGANTE BITUMINOSO				
11	PORCENTAJE DE BETUN DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA (LAVADO ASFÁLTICO)	ASTM D2172 / D2172M - 17e1 (Método A)	2017	Standard Test Methods for Quantitative Extraction of Asphalt Binder from Asphalt Mixtures
Producto(s): MEZCLA BITUMINOSA				
12	RESISTENCIA A LA ABRASIÓN - MÁQUINA DE LOS ÁNGELES	ASTM C131 / C131M - 20	2020	Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine
Producto(s): AGREGADOS				
13	RESISTENCIA A LA ABRASIÓN - MÁQUINA DE	ASTM C535 - 16	2016	Standard Test Method for Resistance to Degradation of Large-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the

**ALCANCE DE LA ACREDITACIÓN DE LABORATORIOS DE ENSAYO**

	LOS ANGELES (AGREGADO GRUESO)			Los Angeles Machine
Producto(s): AGREGADOS				
14	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTEROS DE CEMENTO HIDRÁULICO (CUBOS DE 2" ó 50mm) (EXCEPTO PREPARACIÓN DE TESTIGOS 9 AL 10.5)	ASTM C109/C109M - 21	2021	Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50 mm] Cube Specimens) - (Except to Preparation of Specimens) - (Except to Preparation of Specimens Molds - 9 to 10.5)
Producto(s): MEZCLAS HIDRÁULICAS				
15	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS CILINDRICAS DE CONCRETO	ASTM C39 / C39M - 21	2021	Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens
Producto(s): PROBETAS DE CONCRETO				

Laboratorio : SUELOS Y AGREGADOS

Campo de Prueba : FÍSICOS - GEOTÉCNICOS

N°	Tipo Ensayo	Norma Referencia	Año	Título
16	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO EN SUELOS	ASTM D422 - 63(Reapproved 2007)e2	1963	Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils (up to section 6.3)
Producto(s): SUELO				
17	CONTENIDO DE AGUA EN UN SUELO O ROCA	ASTM D2216 - 19	2019	Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass
Producto(s): SUELO				
18	CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA (PÉRDIDA POR IGNICIÓN) (MÉTODO A)	ASTM D2974 - 20e1. Método A	2020	Standard Test Methods for Determining the Water (Moisture) Content, Ash Content, and Organic Material of Peat and Other Organic Soils
Producto(s): SUELO				
19	EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS Y AGREGADOS FINOS	ASTM D2419 - 22	2022	Standard Test Method for Sand Equivalent Value of Soils and Fine Aggregate
Producto(s): SUELO				
20	GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SUELOS	ASTM D854 - 14	2014	Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer

**ALCANCE DE LA ACREDITACIÓN DE LABORATORIOS DE ENSAYO**

Producto(s):				SUELO
21	LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS	ASTM D4318 - 17e1	2017	Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils
Producto(s):				SUELO

## Anexo C: Informes de Ensayo

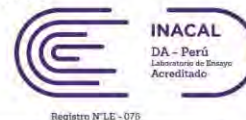


### LABMEP

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN  
INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-076

### INFORME DE ENSAYO

0577/22  
2022-11-17  
Pág. 1 de 3



Registro N° LE-076

#### Información Interna del LABMEP:

Caracterización del proceso  
Caracterización de Suelos

Estudio N.º  
L.021.22

Muestra N.º  
**A0154/22**

Fecha de recepción  
2022-03-25

#### Información proporcionada por el cliente:

Nombre del proyecto  
Investigaciones LABMEP

Datos del cliente

Mota-Engil Perú S.A.

Muestreo  
Responsabilidad del solicitante

Fecha de muestreo  
2022-03-24

Av. Nicolás Ayllón, N.º2634, Ate, Lima –  
Perú, Mota-Engil Perú S.A.

Tipo de material / Referencia del cliente

**Base**

Procedencia  
Acopio en Obra – Zona N°4 – Cantera Nor Building-Huaycoloro

#### Informe:

ENSAYO	MÉTODO	RESULTADO [Incertidumbre si aplica]	REPORTE DE ENSAYO N.º																
01.01 – Análisis Granulométrico por Tamizado en Suelos / Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils	ASTM D422-63 (Reaprobado 2007)e2	<table border="1"> <tr> <td>Material Pasante Fracción Retenida en el Tamiz No. 10</td> <td>Material Pasante Fracción Pasante en el Tamiz No. 10</td> </tr> <tr> <td>2 in = 100.0 %</td> <td>No. 20 = 20.0 %</td> </tr> <tr> <td>1 ½ in = 100.0 %</td> <td>No. 40 = 14.1 %</td> </tr> <tr> <td>1 in = 90.9 %</td> <td>No. 60 = 10.8 %</td> </tr> <tr> <td>¾ in = 75.4 %</td> <td>No. 140 = 7.2 %</td> </tr> <tr> <td>3/8 in = 55.8 %</td> <td>No. 200 = 6.0 %</td> </tr> <tr> <td>No. 4 = 47.2 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td>No. 10 = 32.0 %</td> <td></td> </tr> </table>	Material Pasante Fracción Retenida en el Tamiz No. 10	Material Pasante Fracción Pasante en el Tamiz No. 10	2 in = 100.0 %	No. 20 = 20.0 %	1 ½ in = 100.0 %	No. 40 = 14.1 %	1 in = 90.9 %	No. 60 = 10.8 %	¾ in = 75.4 %	No. 140 = 7.2 %	3/8 in = 55.8 %	No. 200 = 6.0 %	No. 4 = 47.2 %		No. 10 = 32.0 %		1343.22
Material Pasante Fracción Retenida en el Tamiz No. 10	Material Pasante Fracción Pasante en el Tamiz No. 10																		
2 in = 100.0 %	No. 20 = 20.0 %																		
1 ½ in = 100.0 %	No. 40 = 14.1 %																		
1 in = 90.9 %	No. 60 = 10.8 %																		
¾ in = 75.4 %	No. 140 = 7.2 %																		
3/8 in = 55.8 %	No. 200 = 6.0 %																		
No. 4 = 47.2 %																			
No. 10 = 32.0 %																			
01.02 – Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad de Suelos / Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils	ASTM D4318-17e1	LL = 19 LP = 15 IP = 4	1344.22																
01.06 – Sistema de Clasificación Unificada de Suelos – SUCS (*) / Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System) (*)	ASTM D2487-17e1	GW-GC – Grava bien graduada con arcilla y arena (o arcilla limosa y arena)	1345.22																
01.10 – Gravedad Específica de Suelos / Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer	ASTM D854-14	Gravedad Específica (Promedio de las partículas a 20°C) = 2.78	1346.22																

Este informe no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización del LABMEP

Todos los ensayos del presente informe de ensayo han sido realizados en las instalaciones del LABMEP, salvo el caso se apliquen subcontrataciones. Los resultados de ensayo presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

Los resultados del presente informe de ensayo no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

El LABMEP no se responsabiliza cuando la información proporcionada por el solicitante pueda afectar a la validez de los resultados reportados.

Los resultados reportados en el presente informe de ensayo son aplicables a la muestra de acuerdo a las condiciones en que se recibió. El muestreo y entrega de la muestra en las instalaciones del LABMEP son responsabilidad del solicitante.

La fecha de ejecución de los ensayos se indica en los reportes de ensayo adjuntos que forman parte del presente informe.

(\*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA.

Informe Autorizado por

#### LABMEP

Av. Nicolás Ayllón 2634 Ate – Lima 3 – Perú  
Teléfono: +51 1 414 3570  
e-mail: laboratoriompe@mota-engil.pe

LABMEP.670.4

  
MOTA-ENGIL PERU S.A.  
Ing. Martha Torres  
GERENTE DE CALIDAD, SIG,  
SOSTENIBILIDAD & IMAGEN



## LABMEP

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN  
INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-076

## INFORME DE ENSAYO

0577/22  
2022-11-17  
Pág. 2 de 3



Registro N° LE - 076

Este informe no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización del LABMEP

02.07/02.08 - Densidad, Gravedad Específica y Absorción de los Agregados / Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate	ASTM C127-15 / ASTM C128-15	<b>Fración Gruesa:</b> Material Retenido en el Tamiz ¾ in: $\rho_{\text{obj}} = 2720 \text{ kg/m}^3$ $\rho_{\text{SSD}} = 2730 \text{ kg/m}^3$ $\rho_{\text{Aparato}} = 2760 \text{ kg/m}^3$ WA = 0.5 %	1347.22
01.19 - Contenido de Materia Orgánica (Pérdida por Ignición) / Standard Test Methods for Determining the Water (Moisture) Content, Ash Content, and Organic Material of Peat and Other Organic Soils	ASTM D2974-20e1 - Método A	MO = 0.6 %	1348.22
01.39 - pH en Suelos (*) / Standard Test Methods for pH of Soils (*)	ASTM D4972-19 - Método A	pH = 7.9	1349.22
01.04 - Ensayo de Compactación Proctor con Corrección del Peso Específico y Contenido de Humedad para Suelos con Partículas Sobredimensionadas (*) / Standard Practice for Correction of Unit Weight and Water Content for Soils Containing Oversize Particles (*)	ASTM D4718 / D4718M-15	$\gamma_{\text{Máx. Seca}} = 2.241 \text{ g/cm}^3$ $w_{\text{Óptimo}} = 7.4 \%$ $\gamma_{\text{Máx. Seca Corregido}} = 2.344 \text{ g/cm}^3$ $w_{\text{Óptimo Corregido}} = 5.7 \%$	1350.22
01.20 - Índice Californiano de Capacidad de Carga - CBR (*) / Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils (*)	ASTM D1883-21	CBR ( $\phi$ 1 in / 25 mm - 100%) = 155.8 % CBR ( $\phi$ 1 in / 25 mm - 95%) = 114.4 % CBR ( $\phi$ 2 in / 5.1 mm - 100%) = 201.2 % CBR ( $\phi$ 2 in / 5.1 mm - 95%) = 153.6 % Expansión = 0.0 %	1351.22
01.22 - Ensayo CBR Inmediato (*) / Sols: Reconnaissance et essais - Indice CBR après immersion - Indice CBR immédiat - Indice Portant Immédiat - Mesure sur échantillon compacté dans le moule CBR (*)	NF P 94-078	CBR ( $\phi$ 1 in / 25 mm - 100%) = 132.6 % CBR ( $\phi$ 1 in / 25 mm - 95%) = 113.7 % CBR ( $\phi$ 2 in / 5.1 mm - 100%) = 173.7 % CBR ( $\phi$ 2 in / 5.1 mm - 95%) = 145.8 %	1352.22
01.16 - Clasificación de Suelos - AASHTO (*)	AASHTO	Clasificación de Suelo AASHTO = A-1-a (0)	1520.22

Todos los ensayos del presente informe de ensayo han sido realizados en las instalaciones del LABMEP, salvo el caso se apliquen subcontrataciones. Los resultados de ensayo presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

Los resultados del presente informe de ensayo no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

El LABMEP no se responsabiliza cuando la información proporcionada por el solicitante pueda afectar a la validez de los resultados reportados.

Los resultados reportados en el presente informe de ensayo son aplicables a la muestra de acuerdo a las condiciones en que se recibió. El muestreo y entrega de la muestra en las instalaciones del LABMEP son responsabilidad del solicitante.

La fecha de ejecución de los ensayos se indica en los reportes de ensayo adjuntos que forman parte del presente informe.

(\*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA.

Informe Autorizado por

## LABMEP

Av. Nicolás Ayllón 2634 Ate - Lima 3 - Perú  
Teléfono: +51 1 414 3570  
e-mail: laboratoriomep@mota-engill.pe

LABMEP.670.4

  
MOTA-ENGLIL PERU S.A.  
Ing. Martha Torres  
GERENTE DE CALIDAD, SIG,  
SOSTENIBILIDAD & IMAGEN

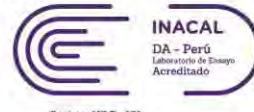


**LABMEP**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN  
INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-076

**INFORME DE ENSAYO**

0577/22  
2022-11-17  
Pág. 3 de 3



Registro N° LE - 076

**Observaciones:** ---

**Anexos:** 11 Reportes de Ensayo (16 Páginas)

----- FIN DE DOCUMENTO -----

Este informe no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización del LABMEP

Todos los ensayos del presente informe de ensayo han sido realizados en las instalaciones del LABMEP, salvo el caso se apliquen subcontrataciones. Los resultados de ensayo presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

Los resultados del presente informe de ensayo no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

El LABMEP no se responsabiliza cuando la información proporcionada por el solicitante pueda afectar a la validez de los resultados reportados.

Los resultados reportados en el presente informe de ensayo son aplicables a la muestra de acuerdo a las condiciones en que se recibió. El muestreo y entrega de la muestra en las instalaciones del LABMEP son responsabilidad del solicitante.

La fecha de ejecución de los ensayos se indica en los reportes de ensayo adjuntos que forman parte del presente informe.

(\* ) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA.

Informe Autorizado por

**LABMEP**  
Av. Nicolás Ayllón 2634 Ate – Lima 3 - Perú  
Teléfono: +51 1 414 3570  
e-mail: laboratoriomep@mota-engil.pe

LABMEP.670.4

  
**MOTAENGLIL PERU S.A.**  
**Ing. Martha Torres**  
GERENTE DE CALIDAD, SIG,  
SOSTENIBILIDAD & IMAGEN

**LABMEP**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN  
INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-076

**INFORME DE ENSAYO**

0578/22  
2022-11-17  
Pág. 1 de 3



Registro N° LE - 076

**Información interna del LABMEP:**

Caracterización del proceso  
Caracterización de Suelos

Estudio N.º L.021.22 Muestra N.º **A0155/22** Fecha de recepción 2022-03-25

**Información proporcionada por el cliente:**

Nombre del proyecto  
Investigaciones LABMEP

Datos del cliente

Mota-Engil Perú S.A.

Muestreo  
Responsabilidad del solicitante

Fecha de muestreo  
2022-03-24

Av. Nicolás Ayllón, N.º2634, Ate, Lima -  
Perú, Mota-Engil Perú S.A.

Tipo de material / Referencia del cliente

**Terreno Natural**

Procedencia  
Acopio en Obra - Zona N°6 - Material de Corte

**Informe:**

ENSAYO	MÉTODO	RESULTADO [Incertidumbre si aplica]	REPORTE DE ENSAYO N.º																																
01.01 - Análisis Granulométrico por Tamizado en Suelos / Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils	ASTM D422-63 (Reaprobado 2007)e2	<table border="1"> <tr> <th>Material Retenido en el Tamiz No. 10</th> <th>Pasante Fracción</th> <th>Material Pasante Fracción</th> <th>Pasante en el Tamiz No. 10</th> </tr> <tr> <td>2 in = 100.0 %</td> <td></td> <td>No. 20 = 78.3 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1 ½ in = 97.8 %</td> <td></td> <td>No. 40 = 73.8 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1 in = 94.8 %</td> <td></td> <td>No. 60 = 65.7 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td>¾ in = 91.4 %</td> <td></td> <td>No. 140 = 46.4 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3/8 in = 87.2 %</td> <td></td> <td>No. 200 = 36.2 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td>No. 4 = 82.9 %</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>No. 10 = 79.2 %</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	Material Retenido en el Tamiz No. 10	Pasante Fracción	Material Pasante Fracción	Pasante en el Tamiz No. 10	2 in = 100.0 %		No. 20 = 78.3 %		1 ½ in = 97.8 %		No. 40 = 73.8 %		1 in = 94.8 %		No. 60 = 65.7 %		¾ in = 91.4 %		No. 140 = 46.4 %		3/8 in = 87.2 %		No. 200 = 36.2 %		No. 4 = 82.9 %				No. 10 = 79.2 %				1353.22
Material Retenido en el Tamiz No. 10	Pasante Fracción	Material Pasante Fracción	Pasante en el Tamiz No. 10																																
2 in = 100.0 %		No. 20 = 78.3 %																																	
1 ½ in = 97.8 %		No. 40 = 73.8 %																																	
1 in = 94.8 %		No. 60 = 65.7 %																																	
¾ in = 91.4 %		No. 140 = 46.4 %																																	
3/8 in = 87.2 %		No. 200 = 36.2 %																																	
No. 4 = 82.9 %																																			
No. 10 = 79.2 %																																			
01.02 - Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad de Suelos / Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils	ASTM D4318-17e1	LL = NP LP = NP IP = NP	1354.22																																
01.06 - Sistema de Clasificación Unificada de Suelos - SUCS (*) / Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System) (*)	ASTM D2487-17e1	SM - Arena limosa con grava	1355.22																																
01.10 - Gravedad Específica de Suelos / Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer	ASTM D854-14	Gravedad Específica (Promedio de las partículas a 20°C) = 2.69	1356.22																																

Este informe no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización del LABMEP

Todos los ensayos del presente informe de ensayo han sido realizados en las instalaciones del LABMEP, salvo el caso se apliquen subcontrataciones. Los resultados de ensayo presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

Los resultados del presente informe de ensayo no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

El LABMEP no se responsabiliza cuando la información proporcionada por el solicitante pueda afectar a la validez de los resultados reportados.

Los resultados reportados en el presente informe de ensayo son aplicables a la muestra de acuerdo a las condiciones en que se recibió. El muestreo y entrega de la muestra en las instalaciones del LABMEP son responsabilidad del solicitante.

La fecha de ejecución de los ensayos se indica en los reportes de ensayo adjuntos que forman parte del presente informe.

(\*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA.

Informe Autorizado por

**LABMEP**

Av. Nicolás Ayllón 2634 Ate - Lima 3 - Perú  
Teléfono: +51 1 414 3570  
e-mail: laboratoriomep@mota-engil.pe

LABMEP.670.4

  
MOTA-ENGIL PERU S.A.  
Ing. Martha Torres  
GERENTE DE CALIDAD, SIG,  
SOSTENIBILIDAD E IMAGEN



## LABMEP

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN  
INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-076

## INFORME DE ENSAYO

0578/22  
2022-11-17  
Pág. 2 de 3



Registro N° LE - 076

Este informe no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización del LABMEP

02.07/02.08 - Densidad, Gravedad Específica y Absorción de los Agregados / Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate	ASTM C127-15 / ASTM C128-15	<b>Fración Gruesa:</b> Material Retenido en el Tamiz ¾ in: $\rho_{\text{rod}} = 2680 \text{ kg/m}^3$ $\rho_{\text{SSD}} = 2700 \text{ kg/m}^3$ $\rho_{\text{Aparente}} = 2730 \text{ kg/m}^3$ WA = 0.6 %	1357.22
01.19 - Contenido de Materia Orgánica (Pérdida por Ignición) / Standard Test Methods for Determining the Water (Moisture) Content, Ash Content, and Organic Material of Peat and Other Organic Soils	ASTM D2974-20e1 - Método A	MO = 0.9 %	1358.22
01.39 - pH en Suelos (*) / Standard Test Methods for pH of Soils (*)	ASTM D4972-19 - Método A	pH = 7.8	1359.22
01.04 - Ensayo de Compactación Proctor con Corrección del Peso Específico y Contenido de Humedad para Suelos con Partículas Sobredimensionadas (*) / Standard Practice for Correction of Unit Weight and Water Content for Soils Containing Oversize Particles (*)	ASTM D4718 / D4718M-15	$\gamma_{\text{Máx. Seca}} = 1.966 \text{ g/cm}^3$ $w_{\text{Óptimo}} = 10.5 \%$ $\gamma_{\text{Máx. Seca Corregido}} = 2.013 \text{ g/cm}^3$ $w_{\text{Óptimo Corregido}} = 9.7 \%$	1360.22
01.20 - Índice Californiano de Capacidad de Carga - CBR (*) / Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils (*)	ASTM D1883-21	CBR ( $\phi$ 1 in / 25 mm - 100%) = 41.4 % CBR ( $\phi$ 1 in / 25 mm - 95%) = 27.3 % CBR ( $\phi$ 2 in / 5.1 mm - 100%) = 54.9 % CBR ( $\phi$ 2 in / 5.1 mm - 95%) = 34.7 % Expansión = 0.3 %	1361.22
01.22 - Ensayo CBR Inmediato (*) / Sols: Reconnaissance et essais - Índice CBR après immersion - Índice CBR immédiat - Índice Portant Immédiat - Mesure sur échantillon compacté dans le moule CBR (*)	NF P 94-078	CBR ( $\phi$ 1 in / 25 mm - 100%) = 74.2 % CBR ( $\phi$ 1 in / 25 mm - 95%) = 54.0 % CBR ( $\phi$ 2 in / 5.1 mm - 100%) = 97.8 % CBR ( $\phi$ 2 in / 5.1 mm - 95%) = 69.9 %	1362.22
01.16 - Clasificación de Suelos - AASHTO (*)	AASHTO	Clasificación de Suelo AASHTO = A-4 (0)	1521.22

Todos los ensayos del presente informe de ensayo han sido realizados en las instalaciones del LABMEP, salvo el caso se apliquen subcontrataciones. Los resultados de ensayo presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

Los resultados del presente informe de ensayo no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

El LABMEP no se responsabiliza cuando la información proporcionada por el solicitante pueda afectar a la validez de los resultados reportados.

Los resultados reportados en el presente informe de ensayo son aplicables a la muestra de acuerdo a las condiciones en que se recibió. El muestreo y entrega de la muestra en las instalaciones del LABMEP son responsabilidad del solicitante.

La fecha de ejecución de los ensayos se indica en los reportes de ensayo adjuntos que forman parte del presente informe.

(\*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA.

Informe Autorizado por

## LABMEP

Av. Nicolás Ayllón 2634 Ate - Lima 3 - Perú  
Teléfono: +51 1 414 3570  
e-mail: laboratoriomep@mota-engil.pe

LABMEP.670.4

  
MOTA-ENGIL PERU S.A.  
Ing. Martha Torres  
SERVIDORA DE CALIDAD, SIG,  
SOSTENIBILIDAD E IMAGEN

**LABMEP**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN  
INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-076

**INFORME DE ENSAYO**

0578/22  
2022-11-17  
Pág. 3 de 3



Registro N° LE - 076

**Observaciones:** ---**Anexos:** 11 Reportes de Ensayo (16 Páginas)----- **FIN DE DOCUMENTO** -----

Este informe no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización del LABMEP

Todos los ensayos del presente informe de ensayo han sido realizados en las instalaciones del LABMEP, salvo el caso se apliquen subcontrataciones. Los resultados de ensayo presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

Los resultados del presente informe de ensayo no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

El LABMEP no se responsabiliza cuando la información proporcionada por el solicitante pueda afectar a la validez de los resultados reportados.

Los resultados reportados en el presente informe de ensayo son aplicables a la muestra de acuerdo a las condiciones en que se recibió. El muestreo y entrega de la muestra en las instalaciones del LABMEP son responsabilidad del solicitante.

La fecha de ejecución de los ensayos se indica en los reportes de ensayo adjuntos que forman parte del presente informe.

(\* ) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA.

Informe Autorizado por

**LABMEP**

Av. Nicolás Ayllón 2634 Ate – Lima 3 - Perú  
Teléfono: +51 1 414 3570  
e-mail: laboratoriomep@mota-engil.pe

LABMEP.670.4

  
MOTA-ENGIL PERU S.A.  
Ing. María Torres  
SERVENTE DE CALIDAD, SIG,  
SOSTENIBILIDAD & IMAGEN

**LABMEP**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN  
INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-076

**INFORME DE ENSAYO**

0580/22  
2022-11-17  
Pág. 1 de 3



Registro N° LE - 076

**Información interna del LABMEP:**

Caracterización del proceso  
Caracterización de Suelos

Estudio N.º L.021.22 Muestra N.º **A0223/22** Fecha de recepción 2022-04-25

**Información proporcionada por el cliente:**

Nombre del proyecto  
Investigaciones LABMEP

Datos del cliente

Mota-Engil Perú S.A.

Muestreo  
Responsabilidad del solicitante

Fecha de muestreo  
2022-04-25

Av. Nicolás Ayllón, N.º2634, Ate, Lima -  
Perú, Mota-Engil Perú S.A.

Tipo de material / Referencia del cliente

**Base Granular**

Procedencia  
Acopio en Obra - Zona N°4 - Cantera Posada

**Informe:**

ENSAYO	MÉTODO	RESULTADO [Incertidumbre si aplica]	REPORTE DE ENSAYO N.º																																
01.01 - Análisis Granulométrico por Tamizado en Suelos / Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils	ASTM D422-63 (Reaprobado 2007)e2	<table border="1"> <tr> <th>Material Retenido en el Tamiz No. 10</th> <th>Pasante Fracción</th> <th>Material Pasante Fracción</th> <th>Pasante en el Tamiz No. 10</th> </tr> <tr> <td>2 in = 100.0 %</td> <td></td> <td>No. 20 = 19.2 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1 ½ in = 98.6 %</td> <td></td> <td>No. 40 = 13.7 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1 in = 96.4 %</td> <td></td> <td>No. 60 = 11.0 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td>¾ in = 89.6 %</td> <td></td> <td>No. 140 = 8.0 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3/8 in = 66.6 %</td> <td></td> <td>No. 200 = 6.9 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td>No. 4 = 47.7 %</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>No. 10 = 30.1 %</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	Material Retenido en el Tamiz No. 10	Pasante Fracción	Material Pasante Fracción	Pasante en el Tamiz No. 10	2 in = 100.0 %		No. 20 = 19.2 %		1 ½ in = 98.6 %		No. 40 = 13.7 %		1 in = 96.4 %		No. 60 = 11.0 %		¾ in = 89.6 %		No. 140 = 8.0 %		3/8 in = 66.6 %		No. 200 = 6.9 %		No. 4 = 47.7 %				No. 10 = 30.1 %				1543.22
Material Retenido en el Tamiz No. 10	Pasante Fracción	Material Pasante Fracción	Pasante en el Tamiz No. 10																																
2 in = 100.0 %		No. 20 = 19.2 %																																	
1 ½ in = 98.6 %		No. 40 = 13.7 %																																	
1 in = 96.4 %		No. 60 = 11.0 %																																	
¾ in = 89.6 %		No. 140 = 8.0 %																																	
3/8 in = 66.6 %		No. 200 = 6.9 %																																	
No. 4 = 47.7 %																																			
No. 10 = 30.1 %																																			
01.02 - Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad de Suelos / Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils	ASTM D4318-17e1	LL = NP LP = NP IP = NP	1544.22																																
01.06 - Sistema de Clasificación Unificada de Suelos - SUCS (*) / Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System) (*)	ASTM D2487-17e1	GW-GM - Grava bien graduada con limo y arena	1545.22																																
01.10 - Gravedad Específica de Suelos / Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer	ASTM D854-14	Gravedad Específica (Promedio de las partículas a 20°C) = 2.78	1546.22																																

Este informe no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización del LABMEP

Todos los ensayos del presente informe de ensayo han sido realizados en las instalaciones del LABMEP, salvo el caso se apliquen subcontrataciones. Los resultados de ensayo presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

Los resultados del presente informe de ensayo no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

El LABMEP no se responsabiliza cuando la información proporcionada por el solicitante pueda afectar a la validez de los resultados reportados.

Los resultados reportados en el presente informe de ensayo son aplicables a la muestra de acuerdo a las condiciones en que se recibió. El muestreo y entrega de la muestra en las instalaciones del LABMEP son responsabilidad del solicitante.

La fecha de ejecución de los ensayos se indica en los reportes de ensayo adjuntos que forman parte del presente informe.

(\*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA.

Informe Autorizado por

**LABMEP**

Av. Nicolás Ayllón 2634 Ate - Lima 3 - Perú  
Teléfono: +51 1 414 3570  
e-mail: laboratoriomep@mota-engil.pe

LABMEP.670.4

  
MOTA-ENGIL PERU S.A.  
Ing. Martha Torres  
GERENTE DE CALIDAD, SIG,  
SOSTENIBILIDAD & IMAGEN



## LABMEP

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN  
INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-076

## INFORME DE ENSAYO

0580/22  
2022-11-17  
Pág. 2 de 3



Registro N° LE - 076

Este informe no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización del LABMEP

02.07/02.08 - Densidad, Gravedad Específica y Absorción de los Agregados / Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate	ASTM C127-15 / ASTM C128-15	<b>Fración Gruesa:</b> Material Retenido en el Tamiz ¾ in: $\rho_{\text{rod}} = 2680 \text{ kg/m}^3$ $\rho_{\text{SSD}} = 2700 \text{ kg/m}^3$ $\rho_{\text{Aparente}} = 2730 \text{ kg/m}^3$ WA = 0.8 %	1547.22
01.19 - Contenido de Materia Orgánica (Pérdida por Ignición) / Standard Test Methods for Determining the Water (Moisture) Content, Ash Content, and Organic Material of Peat and Other Organic Soils	ASTM D2974-20e1 - Método A	MO = 0.8 %	1548.22
01.39 - pH en Suelos (*) / Standard Test Methods for pH of Soils (*)	ASTM D4972-19 - Método A	pH = 6.5	1549.22
01.04 - Ensayo de Compactación Proctor con Corrección del Peso Específico y Contenido de Humedad para Suelos con Partículas Sobredimensionadas (*) / Standard Practice for Correction of Unit Weight and Water Content for Soils Containing Oversize Particles (*)	ASTM D4718 / D4718M-15	$\gamma_{\text{Máx. Seca}} = 2.269 \text{ g/cm}^3$ $w_{\text{Óptimo}} = 6.7 \%$ $\gamma_{\text{Máx. Seca Corregida}} = 2.305 \text{ g/cm}^3$ $w_{\text{Óptimo Corregida}} = 6.1 \%$	1550.22
01.20 - Índice Californiano de Capacidad de Carga - CBR (*) / Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils (*)	ASTM D1883-21	CBR ( $\phi$ 1 in / 25 mm - 100%) = 160.5 % CBR ( $\phi$ 1 in / 25 mm - 95%) = 92.9 % CBR ( $\phi$ 2 in / 5.1 mm - 100%) = 195.9 % CBR ( $\phi$ 2 in / 5.1 mm - 95%) = 117.3 % Expansión = 0.0 %	1551.22
01.22 - Ensayo CBR Inmediato (*) / Sols: Reconnaissance et essais - Indice CBR après immersion - Indice CBR immédiat - Indice Portant Immédiat - Mesure sur échantillon compacté dans le moule CBR (*)	NF P 94-078	CBR ( $\phi$ 1 in / 25 mm - 100%) = 162.6 % CBR ( $\phi$ 1 in / 25 mm - 95%) = 102.7 % CBR ( $\phi$ 2 in / 5.1 mm - 100%) = 200.3 % CBR ( $\phi$ 2 in / 5.1 mm - 95%) = 129.5 %	1552.22
01.16 - Clasificación de Suelos - AASHTO (*)	AASHTO	Clasificación de Suelo AASHTO = A-1-a (0)	1553.22

Todos los ensayos del presente informe de ensayo han sido realizados en las instalaciones del LABMEP, salvo el caso se apliquen subcontrataciones. Los resultados de ensayo presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

Los resultados del presente informe de ensayo no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

El LABMEP no se responsabiliza cuando la información proporcionada por el solicitante pueda afectar a la validez de los resultados reportados.

Los resultados reportados en el presente informe de ensayo son aplicables a la muestra de acuerdo a las condiciones en que se recibió. El muestreo y entrega de la muestra en las instalaciones del LABMEP son responsabilidad del solicitante.

La fecha de ejecución de los ensayos se indica en los reportes de ensayo adjuntos que forman parte del presente informe.

(\*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA.

Informe Autorizado por

## LABMEP

Av. Nicolás Ayllón 2634 Ate - Lima 3 - Perú  
Teléfono: +51 1 414 3570  
e-mail: laboratoriomep@mota-engil.pe

LABMEP.670.4

  
MOTA-ENGLIL PERU S.A.  
Ing. Martha Torres  
GERENTE DE CALIDAD, SIG,  
SOSTENIBILIDAD & IMAGEN

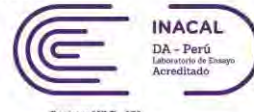


**LABMEP**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN  
INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-076

**INFORME DE ENSAYO**

0580/22  
2022-11-17  
Pág. 3 de 3



Registro N° LE - 076

**Observaciones:** ---

**Anexos:** 11 Reportes de Ensayo (16 Páginas)

----- **FIN DE DOCUMENTO** -----

Este informe no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización del LABMEP

Todos los ensayos del presente informe de ensayo han sido realizados en las instalaciones del LABMEP, salvo el caso se apliquen subcontrataciones. Los resultados de ensayo presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

Los resultados del presente informe de ensayo no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

El LABMEP no se responsabiliza cuando la información proporcionada por el solicitante pueda afectar a la validez de los resultados reportados.

Los resultados reportados en el presente informe de ensayo son aplicables a la muestra de acuerdo a las condiciones en que se recibió. El muestreo y entrega de la muestra en las instalaciones del LABMEP son responsabilidad del solicitante.

La fecha de ejecución de los ensayos se indica en los reportes de ensayo adjuntos que forman parte del presente informe.

(\* ) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA.

Informe Autorizado por

**LABMEP**  
Av. Nicolás Ayllón 2634 Ate – Lima 3 - Perú  
Teléfono: +51 1 414 3570  
e-mail: laboratoriomep@mota-engil.pe

LABMEP.670.4

**MOTAENGLIL PERU S.A.**  
Ing. Martha Torres  
GERENTE DE CALIDAD, SIG,  
SOSTENIBILIDAD & IMAGEN

**LABMEP**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN  
INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-076

**INFORME DE ENSAYO**

0581/22  
2022-11-17  
Pág. 1 de 3



Registro N° LE - 076

**Información interna del LABMEP:**

Caracterización del proceso  
Caracterización de Suelos

Estudio N.º L.021.22 Muestra N.º **A0224/22** Fecha de recepción 2022-04-25

**Información proporcionada por el cliente:**

Nombre del proyecto  
Investigaciones LABMEP

Datos del cliente

Mota-Engil Perú S.A.

Muestreo  
Responsabilidad del solicitante

Fecha de muestreo  
2022-04-25

Av. Nicolás Ayllón, N.º2634, Ate, Lima -  
Perú, Mota-Engil Perú S.A.

Tipo de material / Referencia del cliente

**Base Granular**

Procedencia  
Acopio en Obra - Zona N°4 - Cantera Birrak

**Informe:**

ENSAYO	MÉTODO	RESULTADO [Incertidumbre si aplica]	REPORTE DE ENSAYO N.º																																
01.01 - Análisis Granulométrico por Tamizado en Suelos / Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils	ASTM D422-63 (Reaprobado 2007)e2	<table border="1"> <tr> <th>Material Retenido en el Tamiz No. 10</th> <th>Pasante Fracción</th> <th>Material Pasante Fracción</th> <th>Pasante en el Tamiz No. 10</th> </tr> <tr> <td>2 in = 100.0 %</td> <td></td> <td>No. 20 = 16.0 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1 ½ in = 100.0 %</td> <td></td> <td>No. 40 = 11.1 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1 in = 98.3 %</td> <td></td> <td>No. 60 = 8.7 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td>¾ in = 91.0 %</td> <td></td> <td>No. 140 = 6.2 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3/8 in = 61.8 %</td> <td></td> <td>No. 200 = 5.5 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td>No. 4 = 41.6 %</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>No. 10 = 25.7 %</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	Material Retenido en el Tamiz No. 10	Pasante Fracción	Material Pasante Fracción	Pasante en el Tamiz No. 10	2 in = 100.0 %		No. 20 = 16.0 %		1 ½ in = 100.0 %		No. 40 = 11.1 %		1 in = 98.3 %		No. 60 = 8.7 %		¾ in = 91.0 %		No. 140 = 6.2 %		3/8 in = 61.8 %		No. 200 = 5.5 %		No. 4 = 41.6 %				No. 10 = 25.7 %				1554.22
Material Retenido en el Tamiz No. 10	Pasante Fracción	Material Pasante Fracción	Pasante en el Tamiz No. 10																																
2 in = 100.0 %		No. 20 = 16.0 %																																	
1 ½ in = 100.0 %		No. 40 = 11.1 %																																	
1 in = 98.3 %		No. 60 = 8.7 %																																	
¾ in = 91.0 %		No. 140 = 6.2 %																																	
3/8 in = 61.8 %		No. 200 = 5.5 %																																	
No. 4 = 41.6 %																																			
No. 10 = 25.7 %																																			
01.02 - Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad de Suelos / Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils	ASTM D4318-17e1	LL = NP LP = NP IP = NP	1555.22																																
01.06 - Sistema de Clasificación Unificada de Suelos - SUCS (*) / Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System) (*)	ASTM D2487-17e1	GW-GM - Grava bien graduada con limo y arena	1556.22																																
01.10 - Gravedad Específica de Suelos / Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer	ASTM D854-14	Gravedad Específica (Promedio de las partículas a 20°C) = 2.77	1557.22																																

Este informe no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización del LABMEP

Todos los ensayos del presente informe de ensayo han sido realizados en las instalaciones del LABMEP, salvo el caso se apliquen subcontrataciones. Los resultados de ensayo presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

Los resultados del presente informe de ensayo no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

El LABMEP no se responsabiliza cuando la información proporcionada por el solicitante pueda afectar a la validez de los resultados reportados.

Los resultados reportados en el presente informe de ensayo son aplicables a la muestra de acuerdo a las condiciones en que se recibió. El muestreo y entrega de la muestra en las instalaciones del LABMEP son responsabilidad del solicitante.

La fecha de ejecución de los ensayos se indica en los reportes de ensayo adjuntos que forman parte del presente informe.

(\*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA.

Informe Autorizado por

**LABMEP**

Av. Nicolás Ayllón 2634 Ate - Lima 3 - Perú  
Teléfono: +51 1 414 3570  
e-mail: laboratoriomep@mota-engil.pe

LABMEP.670.4

  
MOTA-ENGIL PERU S.A.  
Ing. Manda Torres  
ESLENTE DE CALIDAD, SIG,  
SOSTENIBILIDAD e IMAGEN



## LABMPEP

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN  
INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-076

## INFORME DE ENSAYO

0581/22  
2022-11-17  
Pág. 2 de 3



Registro N° LE - 076

Este informe no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización del LABMPEP

02.07/02.08 - Densidad, Gravedad Específica y Absorción de los Agregados / Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate	ASTM C127-15 / ASTM C128-15	<b>Fración Gruesa:</b> Material Retenido en el Tamiz ¾ in: $\rho_{\text{pob}} = 2650 \text{ kg/m}^3$ $\rho_{\text{SSD}} = 2680 \text{ kg/m}^3$ $\rho_{\text{Aparente}} = 2720 \text{ kg/m}^3$ WA = 1.0 %	1558.22
01.19 - Contenido de Materia Orgánica (Pérdida por Ignición) / Standard Test Methods for Determining the Water (Moisture) Content, Ash Content, and Organic Material of Peat and Other Organic Soils	ASTM D2974-20e1 - Método A	MO = 0.9 %	1559.22
01.39 - pH en Suelos (*) / Standard Test Methods for pH of Soils (*)	ASTM D4972-19 - Método A	pH = 6.5	1560.22
01.04 - Ensayo de Compactación Proctor con Corrección del Peso Específico y Contenido de Humedad para Suelos con Partículas Sobredimensionadas (*) / Standard Practice for Correction of Unit Weight and Water Content for Soils Containing Oversize Particles (*)	ASTM D4718 / D4718M-15	$\gamma_{\text{Máx. Seca}} = 2.235 \text{ g/cm}^3$ $w_{\text{Óptimo}} = 6.2 \%$ $\gamma_{\text{Máx. Seca Corregida}} = 2.268 \text{ g/cm}^3$ $w_{\text{Óptimo Corregida}} = 5.8 \%$	1561.22
01.20 - Índice Californiano de Capacidad de Carga - CBR (*) / Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils (*)	ASTM D1883-21	CBR $(\phi 1 \text{ in} / 2.5 \text{ mm} - 100\%) = 101.6 \%$ CBR $(\phi 1 \text{ in} / 2.5 \text{ mm} - 95\%) = 80.7 \%$ CBR $(\phi 2 \text{ in} / 5.1 \text{ mm} - 100\%) = 133.3 \%$ CBR $(\phi 2 \text{ in} / 5.1 \text{ mm} - 95\%) = 101.9 \%$ Expansión = 0.0 %	1562.22
01.22 - Ensayo CBR Inmediato (*) / Sols: Reconnaissance et essais - Indice CBR après immersion - Indice CBR immédiat - Indice Portant Immédiat - Mesure sur échantillon compacté dans le moule CBR (*)	NF P 94-078	CBR $(\phi 1 \text{ in} / 2.5 \text{ mm} - 100\%) = 136.3 \%$ CBR $(\phi 1 \text{ in} / 2.5 \text{ mm} - 95\%) = 82.5 \%$ CBR $(\phi 2 \text{ in} / 5.1 \text{ mm} - 100\%) = 167.5 \%$ CBR $(\phi 2 \text{ in} / 5.1 \text{ mm} - 95\%) = 106.6 \%$	1563.22
01.16 - Clasificación de Suelos - AASHTO (*)	AASHTO	Clasificación de Suelo AASHTO = A-1-a (0)	1564.22

Todos los ensayos del presente informe de ensayo han sido realizados en las instalaciones del LABMPEP, salvo el caso se apliquen subcontrataciones. Los resultados de ensayo presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

Los resultados del presente informe de ensayo no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

El LABMPEP no se responsabiliza cuando la información proporcionada por el solicitante pueda afectar a la validez de los resultados reportados.

Los resultados reportados en el presente informe de ensayo son aplicables a la muestra de acuerdo a las condiciones en que se recibió. El muestreo y entrega de la muestra en las instalaciones del LABMPEP son responsabilidad del solicitante.

La fecha de ejecución de los ensayos se indica en los reportes de ensayo adjuntos que forman parte del presente informe.

(\*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA.

Informe Autorizado por

## LABMPEP

Av. Nicolás Ayllón 2634 Ate - Lima 3 - Perú  
Teléfono: +51 1 414 3570  
e-mail: laboratoriompep@mota-engil.pe

LABMPEP.670.4

  
MOTA-ENGIL PERU S.A.  
Ing. Manda Torres  
IDENTE DE CALIDAD, SIG,  
SOSTENIBILIDAD e IMAGEN

**LABMEP**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN  
INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-076

**INFORME DE ENSAYO**

0581/22  
2022-11-17  
Pág. 3 de 3



Registro N° LE - 076

**Observaciones:** ---**Anexos:** 11 Reportes de Ensayo (16 Páginas)----- **FIN DE DOCUMENTO** -----

Este informe no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización del LABMEP

Todos los ensayos del presente informe de ensayo han sido realizados en las instalaciones del LABMEP, salvo el caso se apliquen subcontrataciones. Los resultados de ensayo presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

Los resultados del presente informe de ensayo no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

El LABMEP no se responsabiliza cuando la información proporcionada por el solicitante pueda afectar a la validez de los resultados reportados.

Los resultados reportados en el presente informe de ensayo son aplicables a la muestra de acuerdo a las condiciones en que se recibió. El muestreo y entrega de la muestra en las instalaciones del LABMEP son responsabilidad del solicitante.

La fecha de ejecución de los ensayos se indica en los reportes de ensayo adjuntos que forman parte del presente informe.

(\* ) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA.

Informe Autorizado por

**LABMEP**

Av. Nicolás Ayllón 2634 Ate – Lima 3 - Perú  
Teléfono: +51 1 414 3570  
e-mail: laboratoriomep@mota-engil.pe

LABMEP.670.4

  
MOTAENGLIL PERU S.A.  
Ing. Manda Torres  
IDENENTE DE CALIDAD, SIG,  
SOSTENIBILIDAD & IMAGEN



## LABMEP

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN  
INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-076

## INFORME DE ENSAYO

0582/22  
2022-11-17  
Pág. 1 de 3



Registro N° LE - 076

**Información interna del LABMEP:**

Caracterización del proceso  
Caracterización de Suelos

Estudio N.º L.021.22 Muestra N.º A0226/22 Fecha de recepción 2022-05-02

**Información proporcionada por el cliente:**

Nombre del proyecto  
Investigaciones LABMEP

Datos del cliente

Mota-Engil Perú S.A.

Muestreo  
Responsabilidad del solicitante

Fecha de muestreo  
2022-03-08

Av. Nicolás Ayllón, N.º2634, Ate, Lima -  
Perú, Mota-Engil Perú S.A.

Tipo de material / Referencia del cliente

**Material 1B – Las Bambas (P1B-00008 al P1B-00016)**

Procedencia

Construcción Etapa 5 Presa de Relaves – Las Bambas

**Informe:**

ENSAYO	MÉTODO	RESULTADO [Incertidumbre si aplica]	REPORTE DE ENSAYO N.º																																
01.01 – Análisis Granulométrico por Tamizado en Suelos / Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils	ASTM D422-63 (Reaprobado 2007)e2	<table border="1"> <tr> <th>Material Retenido en el Tamiz No. 10</th> <th>Pasante Fracción</th> <th>Material Pasante Fracción</th> <th>Pasante en el Tamiz No. 10</th> </tr> <tr> <td>2 in = 100.0 %</td> <td></td> <td>No. 20 = 16.9 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1 ½ in = 99.0 %</td> <td></td> <td>No. 40 = 12.5 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1 in = 89.0 %</td> <td></td> <td>No. 60 = 9.7 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td>¾ in = 74.7 %</td> <td></td> <td>No. 140 = 6.4 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3/8 in = 50.6 %</td> <td></td> <td>No. 200 = 5.3 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td>No. 4 = 36.3 %</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>No. 10 = 24.7 %</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	Material Retenido en el Tamiz No. 10	Pasante Fracción	Material Pasante Fracción	Pasante en el Tamiz No. 10	2 in = 100.0 %		No. 20 = 16.9 %		1 ½ in = 99.0 %		No. 40 = 12.5 %		1 in = 89.0 %		No. 60 = 9.7 %		¾ in = 74.7 %		No. 140 = 6.4 %		3/8 in = 50.6 %		No. 200 = 5.3 %		No. 4 = 36.3 %				No. 10 = 24.7 %				1571.22
Material Retenido en el Tamiz No. 10	Pasante Fracción	Material Pasante Fracción	Pasante en el Tamiz No. 10																																
2 in = 100.0 %		No. 20 = 16.9 %																																	
1 ½ in = 99.0 %		No. 40 = 12.5 %																																	
1 in = 89.0 %		No. 60 = 9.7 %																																	
¾ in = 74.7 %		No. 140 = 6.4 %																																	
3/8 in = 50.6 %		No. 200 = 5.3 %																																	
No. 4 = 36.3 %																																			
No. 10 = 24.7 %																																			
01.02 – Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad de Suelos / Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils	ASTM D4318-17e1	LL = NP LP = NP IP = NP	1572.22																																
01.06 – Sistema de Clasificación Unificada de Suelos – SUCS (*) / Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System) (*)	ASTM D2487-17e1	GW-GM – Grava bien graduada con limo y arena	1573.22																																
01.10 – Gravedad Específica de Suelos / Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer	ASTM D854-14	Gravedad Específica (Promedio de las partículas a 20°C) = 2.71	1574.22																																

Este informe no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización del LABMEP

Todos los ensayos del presente informe de ensayo han sido realizados en las instalaciones del LABMEP, salvo el caso se apliquen subcontrataciones. Los resultados de ensayo presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

Los resultados del presente informe de ensayo no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

El LABMEP no se responsabiliza cuando la información proporcionada por el solicitante pueda afectar a la validez de los resultados reportados.

Los resultados reportados en el presente informe de ensayo son aplicables a la muestra de acuerdo a las condiciones en que se recibió. El muestreo y entrega de la muestra en las instalaciones del LABMEP son responsabilidad del solicitante.

La fecha de ejecución de los ensayos se indica en los reportes de ensayo adjuntos que forman parte del presente informe.

(\*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA.

Informe Autorizado por

## LABMEP

Av. Nicolás Ayllón 2634 Ate – Lima 3 - Perú  
Teléfono: +51 1 414 3570  
e-mail: laboratoriomep@mota-engil.pe

LABMEP.670.4

  
MOTA-ENGIL PERU S.A.  
Ing. Martha Torres  
GERENTE DE CALIDAD, SIG,  
SOSTENIBILIDAD & IMAGEN



## LABMEP

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN  
INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-076

## INFORME DE ENSAYO

0582/22  
2022-11-17  
Pág. 2 de 3



Registro N° LE - 076

Este informe no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización del LABMEP

02.07/02.08 - Densidad, Gravedad Específica y Absorción de los Agregados / Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate	ASTM C127-15 / ASTM C128-15	<b>Fración Gruesa:</b> Material Retenido en el Tamiz ¾ in: $\rho_{\text{rod}} = 2590 \text{ kg/m}^3$ $\rho_{\text{SSD}} = 2620 \text{ kg/m}^3$ $\rho_{\text{Aparente}} = 2680 \text{ kg/m}^3$ WA = 1.2 %	1575.22
01.19 - Contenido de Materia Orgánica (Pérdida por Ignición) / Standard Test Methods for Determining the Water (Moisture) Content, Ash Content, and Organic Material of Peat and Other Organic Soils	ASTM D2974-20e1 - Método A	MO = 0.3 %	1576.22
01.39 - pH en Suelos (*) / Standard Test Methods for pH of Soils (*)	ASTM D4972-19 - Método A	pH = 8.1	1577.22
01.04 - Ensayo de Compactación Proctor con Corrección del Peso Específico y Contenido de Humedad para Suelos con Partículas Sobredimensionadas (*) / Standard Practice for Correction of Unit Weight and Water Content for Soils Containing Oversize Particles (*)	ASTM D4718 / D4718M-15	$\gamma_{\text{Máx. Seca}} = 2.278 \text{ g/cm}^3$ $w_{\text{Óptimo}} = 6.4 \%$ $\gamma_{\text{Máx. Seca Corregida}} = 2.351 \text{ g/cm}^3$ $w_{\text{Óptimo Corregida}} = 5.1 \%$	1578.22
01.20 - Índice Californiano de Capacidad de Carga - CBR (*) / Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils (*)	ASTM D1883-21	CBR ( $\phi$ 1 in / 25 mm - 100%) = 246.7 % CBR ( $\phi$ 1 in / 25 mm - 95%) = 133.5 % CBR ( $\phi$ 2 in / 5.1 mm - 100%) = 278.0 % CBR ( $\phi$ 2 in / 5.1 mm - 95%) = 149.7 % Expansión = 0.0 %	1579.22
01.22 - Ensayo CBR Inmediato (*) / Sols: Reconnaissance et essais - Indice CBR après immersion - Indice CBR immédiat - Indice Portant Immédiat - Mesure sur échantillon compacté dans le moule CBR (*)	NF P 94-078	CBR ( $\phi$ 1 in / 25 mm - 100%) = 286.6 % CBR ( $\phi$ 1 in / 25 mm - 95%) = 140.8 % CBR ( $\phi$ 2 in / 5.1 mm - 100%) = 326.9 % CBR ( $\phi$ 2 in / 5.1 mm - 95%) = 170.4 %	1580.22
01.16 - Clasificación de Suelos - AASHTO (*)	AASHTO	Clasificación de Suelo AASHTO = A-1-a (0)	1581.22

Todos los ensayos del presente informe de ensayo han sido realizados en las instalaciones del LABMEP, salvo el caso se apliquen subcontrataciones. Los resultados de ensayo presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

Los resultados del presente informe de ensayo no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

El LABMEP no se responsabiliza cuando la información proporcionada por el solicitante pueda afectar a la validez de los resultados reportados.

Los resultados reportados en el presente informe de ensayo son aplicables a la muestra de acuerdo a las condiciones en que se recibió. El muestreo y entrega de la muestra en las instalaciones del LABMEP son responsabilidad del solicitante.

La fecha de ejecución de los ensayos se indica en los reportes de ensayo adjuntos que forman parte del presente informe.

(\*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA.

Informe Autorizado por

## LABMEP

Av. Nicolás Ayllón 2634 Ate - Lima 3 - Perú  
Teléfono: +51 1 414 3570  
e-mail: laboratoriomep@mota-engil.pe

LABMEP.670.4

  
MOTA-ENGIL PERU S.A.  
Ing. Martha Torres  
GERENTE DE CALIDAD, SIG,  
SOSTENIBILIDAD & IMAGEN

**LABMEP**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN  
INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-076

**INFORME DE ENSAYO**

0582/22  
2022-11-17  
Pág. 3 de 3



Registro N° LE - 076

**Observaciones:** ---

**Anexos:** 11 Reportes de Ensayo (16 Páginas)

----- **FIN DE DOCUMENTO** -----

Este informe no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización del LABMEP

Todos los ensayos del presente informe de ensayo han sido realizados en las instalaciones del LABMEP, salvo el caso se apliquen subcontrataciones. Los resultados de ensayo presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

Los resultados del presente informe de ensayo no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

El LABMEP no se responsabiliza cuando la información proporcionada por el solicitante pueda afectar a la validez de los resultados reportados.

Los resultados reportados en el presente informe de ensayo son aplicables a la muestra de acuerdo a las condiciones en que se recibió. El muestreo y entrega de la muestra en las instalaciones del LABMEP son responsabilidad del solicitante.

La fecha de ejecución de los ensayos se indica en los reportes de ensayo adjuntos que forman parte del presente informe.

(\* ) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA.

Informe Autorizado por

**LABMEP**

Av. Nicolás Ayllón 2634 Ate – Lima 3 - Perú  
Teléfono: +51 1 414 3570  
e-mail: laboratoriomep@mota-engil.pe

LABMEP.670.4

  
**MOTA-ENGIL PERU S.A.**  
Ing. Martha Torres  
GERENTE DE CALIDAD, SIG,  
SOSTENIBILIDAD & IMAGEN

**LABMEP**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN  
INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-076

**INFORME DE ENSAYO**

0583/22  
2022-11-17  
Pág. 1 de 3



Registro N° LE - 076

**Información interna del LABMEP:**

Caracterización del proceso  
Caracterización de Suelos

Estudio N.º L.021.22 Muestra N.º **A0246/22** Fecha de recepción 2022-05-18

**Información proporcionada por el cliente:**

Nombre del proyecto  
Investigaciones LABMEP

Datos del cliente

Mota-Engil Perú S.A.

Muestreo  
Responsabilidad del solicitante

Fecha de muestreo  
2022-05-18

Av. Nicolás Ayllón, N.º2634, Ate, Lima -  
Perú, Mota-Engil Perú S.A.

Tipo de material / Referencia del cliente

**Material Arenoso**

Procedencia  
Material de Corte - Av. Nueva Toledo km 29 Margen Derecho,  
Cieneguilla, Lima

Informe:

Este informe no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización del LABMEP

ENSAYO	MÉTODO	RESULTADO [Incertidumbre si aplica]	REPORTE DE ENSAYO N.º	
01.01 - Análisis Granulométrico por Tamizado en Suelos / Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils	ASTM D422-63 (Reaprobado 2007)e2	<b>Material Pasante Fracción Retenida en el Tamiz No. 10</b> 2 in = 100.0 % 1 ½ in = 100.0 % 1 in = 99.0 % ¾ in = 95.7 % 3/8 in = 90.8 % No. 4 = 83.4 % No. 10 = 67.8 %	<b>Material Pasante Fracción Pasante en el Tamiz No. 10</b> No. 20 = 49.4 % No. 40 = 34.2 % No. 60 = 24.2 % No. 140 = 13.3 % No. 200 = 10.7 %	1634.22
01.02 - Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad de Suelos / Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils	ASTM D4318-17e1	LL = NP LP = NP IP = NP	1635.22	
01.06 - Sistema de Clasificación Unificada de Suelos - SUCS (*) / Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System) (*)	ASTM D2487-17e1	SW-SM - Arena bien graduada con limo y grava	1636.22	
01.10 - Gravedad Específica de Suelos / Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer	ASTM D854-14	Gravedad Específica (Promedio de las partículas a 20°C) = 2.76	1637.22	

Todos los ensayos del presente informe de ensayo han sido realizados en las instalaciones del LABMEP, salvo el caso se apliquen subcontrataciones. Los resultados de ensayo presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

Los resultados del presente informe de ensayo no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

El LABMEP no se responsabiliza cuando la información proporcionada por el solicitante pueda afectar a la validez de los resultados reportados.

Los resultados reportados en el presente informe de ensayo son aplicables a la muestra de acuerdo a las condiciones en que se recibió. El muestreo y entrega de la muestra en las instalaciones del LABMEP son responsabilidad del solicitante.

La fecha de ejecución de los ensayos se indica en los reportes de ensayo adjuntos que forman parte del presente informe.

(\*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA.

Informe Autorizado por

**LABMEP**

Av. Nicolás Ayllón 2634 Ate - Lima 3 - Perú  
Teléfono: +51 1 414 3570  
e-mail: laboratoriomep@mota-engil.pe

LABMEP.670.4

  
MOTA-ENGIL PERU S.A.  
Ing. Martha Torres  
GERENTE DE CALIDAD, SIG,  
SOSTENIBILIDAD & IMAGEN



## LABMEP

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN  
INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-076

## INFORME DE ENSAYO

0583/22  
2022-11-17  
Pág. 2 de 3



Registro N° LE - 076

Este informe no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización del LABMEP.

02.07/02.08 – Densidad, Gravedad Específica y Absorción de los Agregados / Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate	ASTM C127-15 / ASTM C128-15	<b>Fración Gruesa:</b> Material Retenido en el Tamiz ¾ in: $\rho_{\text{pod}} = 2690 \text{ kg/m}^3$ $\rho_{\text{SSD}} = 2710 \text{ kg/m}^3$ $\rho_{\text{Aparente}} = 2750 \text{ kg/m}^3$ WA = 0.8 %	1638.22
01.19 – Contenido de Materia Orgánica (Pérdida por Ignición) / Standard Test Methods for Determining the Water (Moisture) Content, Ash Content, and Organic Material of Peat and Other Organic Soils	ASTM D2974-20e1 – Método A	MO = 0.6 %	1639.22
01.39 – pH en Suelos (*) / Standard Test Methods for pH of Soils (*)	ASTM D4972-19 – Método A	pH = 6.2	1640.22
01.03 – Ensayo de Compactación Proctor Modificado (*) / 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> )) (*)	ASTM D1557-12e1 (2021)	$\gamma_{\text{Max,Seca}} = 2.205 \text{ g/cm}^3$ $w_{\text{óptimo}} = 6.6 \%$	1641.22
01.20 – Índice Californiano de Capacidad de Carga - CBR (*) / Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils (*)	ASTM D1883-21	CBR (0.1 in / 2.5 mm – 100%) = 100.7 % CBR (0.1 in / 2.5 mm – 95%) = 55.2 % CBR (0.2 in / 5.1 mm – 100%) = 131.5 % CBR (0.2 in / 5.1 mm – 95%) = 71.9 % Expansión = 0.0 %	1642.22
01.22 – Ensayo CBR Inmediato (*) / Sols: Reconnaissance et essais – Indice CBR après immersion – Indice CBR immédiat – Indice Portant Immédiat – Mesure sur échantillon compacté dans le moule CBR (*)	NF P 94-078	CBR (0.1 in / 2.5 mm – 100%) = 94.8 % CBR (0.1 in / 2.5 mm – 95%) = 64.1 % CBR (0.2 in / 5.1 mm – 100%) = 124.9 % CBR (0.2 in / 5.1 mm – 95%) = 84.5 %	1643.22
01.16 – Clasificación de Suelos – AASHTO (*)	AASHTO	Clasificación de Suelo AASHTO = A-1-b (0)	1644.22

Todos los ensayos del presente informe de ensayo han sido realizados en las instalaciones del LABMEP, salvo el caso se apliquen subcontrataciones. Los resultados de ensayo presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

Los resultados del presente informe de ensayo no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

El LABMEP no se responsabiliza cuando la información proporcionada por el solicitante pueda afectar a la validez de los resultados reportados.

Los resultados reportados en el presente informe de ensayo son aplicables a la muestra de acuerdo a las condiciones en que se recibió. El muestreo y entrega de la muestra en las instalaciones del LABMEP son responsabilidad del solicitante.

La fecha de ejecución de los ensayos se indica en los reportes de ensayo adjuntos que forman parte del presente informe.

(\*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA.

Informe Autorizado por

## LABMEP

Av. Nicolás Ayllón 2634 Ate – Lima 3 – Perú  
Teléfono: +51 1 414 3570  
e-mail: laboratoriomep@mota-engil.pe

LABMEP.670.4

  
MOTA-ENGIL PERU S.A.  
Ing. Martha Torres  
GERENTE DE CALIDAD, SIG,  
SOSTENIBILIDAD & IMAGEN

**LABMEP**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN  
INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-076

**INFORME DE ENSAYO**

0583/22  
2022-11-17  
Pág. 3 de 3



Registro N° LE - 076

**Observaciones:** ---**Anexos:** 11 Reportes de Ensayo (16 Páginas)----- **FIN DE DOCUMENTO** -----

Este informe no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización del LABMEP

Todos los ensayos del presente informe de ensayo han sido realizados en las instalaciones del LABMEP, salvo el caso se apliquen subcontrataciones. Los resultados de ensayo presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

Los resultados del presente informe de ensayo no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

El LABMEP no se responsabiliza cuando la información proporcionada por el solicitante pueda afectar a la validez de los resultados reportados.

Los resultados reportados en el presente informe de ensayo son aplicables a la muestra de acuerdo a las condiciones en que se recibió. El muestreo y entrega de la muestra en las instalaciones del LABMEP son responsabilidad del solicitante.

La fecha de ejecución de los ensayos se indica en los reportes de ensayo adjuntos que forman parte del presente informe.

(\* ) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA.

Informe Autorizado por

**LABMEP**

Av. Nicolás Ayllón 2634 Ate – Lima 3 - Perú  
Teléfono: +51 1 414 3570  
e-mail: laboratoriomep@mota-engil.pe

LABMEP.670.4

  
MOTA-ENGLIL PERU S.A.  
Ing. Martha Torres  
GERENTE DE CALIDAD, SIG,  
SOSTENIBILIDAD & IMAGEN

**LABMEP**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN  
INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-076

**INFORME DE ENSAYO**

0584/22  
2022-11-17  
Pág. 1 de 3



Registro N° LE - 076

**Información interna del LABMEP:**

Caracterización del proceso  
Caracterización de Suelos

Estudio N.º L.021.22 Muestra N.º **A0247/22** Fecha de recepción 2022-05-18

**Información proporcionada por el cliente:**

Nombre del proyecto  
Investigaciones LABMEP

Datos del cliente

Mota-Engil Perú S.A.

Muestreo  
Responsabilidad del solicitante

Fecha de muestreo  
2022-05-18

Av. Nicolás Ayllón, N.º2634, Ate, Lima -  
Perú, Mota-Engil Perú S.A.

Tipo de material / Referencia del cliente

**Material Limoso**

Procedencia  
Material de Corte - Av. Nueva Toledo km 29 Margen Derecho,  
Cieneguilla, Lima

**Informe:**

Este informe no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización del LABMEP

ENSAYO	MÉTODO	RESULTADO [Incertidumbre si aplica]	REPORTE DE ENSAYO N.º																
01.01 - Análisis Granulométrico por Tamizado en Suelos / Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils	ASTM D422-63 (Reaprobado 2007)e2	<table border="1"> <tr> <td><b>Material Retenido en el Tamiz No. 10</b></td> <td><b>Material Pasante Fracción Pasante en el Tamiz No. 10</b></td> </tr> <tr> <td>2 in = 100.0 %</td> <td>No. 20 = 62.4 %</td> </tr> <tr> <td>1 ½ in = 98.8 %</td> <td>No. 40 = 49.9 %</td> </tr> <tr> <td>1 in = 98.2 %</td> <td>No. 60 = 41.1 %</td> </tr> <tr> <td>¾ in = 97.4 %</td> <td>No. 140 = 31.5 %</td> </tr> <tr> <td>3/8 in = 94.5 %</td> <td>No. 200 = 29.1 %</td> </tr> <tr> <td>No. 4 = 87.4 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td>No. 10 = 75.2 %</td> <td></td> </tr> </table>	<b>Material Retenido en el Tamiz No. 10</b>	<b>Material Pasante Fracción Pasante en el Tamiz No. 10</b>	2 in = 100.0 %	No. 20 = 62.4 %	1 ½ in = 98.8 %	No. 40 = 49.9 %	1 in = 98.2 %	No. 60 = 41.1 %	¾ in = 97.4 %	No. 140 = 31.5 %	3/8 in = 94.5 %	No. 200 = 29.1 %	No. 4 = 87.4 %		No. 10 = 75.2 %		1645.22
<b>Material Retenido en el Tamiz No. 10</b>	<b>Material Pasante Fracción Pasante en el Tamiz No. 10</b>																		
2 in = 100.0 %	No. 20 = 62.4 %																		
1 ½ in = 98.8 %	No. 40 = 49.9 %																		
1 in = 98.2 %	No. 60 = 41.1 %																		
¾ in = 97.4 %	No. 140 = 31.5 %																		
3/8 in = 94.5 %	No. 200 = 29.1 %																		
No. 4 = 87.4 %																			
No. 10 = 75.2 %																			
01.02 - Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad de Suelos / Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils	ASTM D4318-17e1	LL = 32 LP = 22 IP = 10	1646.22																
01.06 - Sistema de Clasificación Unificada de Suelos - SUCS (*) / Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System) (*)	ASTM D2487-17e1	SC - Arena arcillosa	1647.22																
01.10 - Gravedad Específica de Suelos / Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer	ASTM D854-14	Gravedad Específica (Promedio de las partículas a 20°C) = 2.73	1648.22																

Todos los ensayos del presente informe de ensayo han sido realizados en las instalaciones del LABMEP, salvo el caso se apliquen subcontrataciones. Los resultados de ensayo presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

Los resultados del presente informe de ensayo no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

El LABMEP no se responsabiliza cuando la información proporcionada por el solicitante pueda afectar a la validez de los resultados reportados.

Los resultados reportados en el presente informe de ensayo son aplicables a la muestra de acuerdo a las condiciones en que se recibió. El muestreo y entrega de la muestra en las instalaciones del LABMEP son responsabilidad del solicitante.

La fecha de ejecución de los ensayos se indica en los reportes de ensayo adjuntos que forman parte del presente informe.

(\*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA.

Informe Autorizado por

**LABMEP**

Av. Nicolás Ayllón 2634 Ate - Lima 3 - Perú  
Teléfono: +51 1 414 3570  
e-mail: laboratoriomep@mota-engil.pe

LABMEP.670.4

  
MOTA-ENGIL PERU S.A.  
Ing. Martha Torres  
GERENTE DE CALIDAD, SIG,  
SOSTENIBILIDAD & IMAGEN



## LABMEP

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN  
INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-076

## INFORME DE ENSAYO

0584/22  
2022-11-17  
Pág. 2 de 3



Registro N° LE - 076

Este informe no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización del LABMEP

02.07/02.08 - Densidad, Gravedad Específica y Absorción de los Agregados / Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate	ASTM C127-15 / ASTM C128-15	<b>Fracción Gruesa:</b> Material Retenido en el Tamiz ¾ in: $\rho_{\text{pod}} = 2650 \text{ kg/m}^3$ $\rho_{\text{psd}} = 2690 \text{ kg/m}^3$ $\rho_{\text{aparente}} = 2770 \text{ kg/m}^3$ WA = 1.5 %	1649.22
01.19 - Contenido de Materia Orgánica (Pérdida por Ignición) / Standard Test Methods for Determining the Water (Moisture) Content, Ash Content, and Organic Material of Peat and Other Organic Soils	ASTM D2974-20e1 - Método A	MO = 0.5 %	1650.22
01.39 - pH en Suelos (*) / Standard Test Methods for pH of Soils (*)	ASTM D4972-19 - Método A	pH = 6.5	1651.22
01.03 - Ensayo de Compactación Proctor Modificado (*) / 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> )) (*)	ASTM D1557-12e1 (2021)	$\gamma_{\text{Máx.Seca}} = 2.216 \text{ g/cm}^3$ $w_{\text{Óptimo}} = 7.5 \%$	1652.22
01.20 - Índice Californiano de Capacidad de Carga - CBR (*) / Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils (*)	ASTM D1883-21	CBR (0.1 in / 2.5 mm - 100%) = 62.9 % CBR (0.1 in / 2.5 mm - 95%) = 42.4 % CBR (0.2 in / 5.1 mm - 100%) = 80.6 % CBR (0.2 in / 5.1 mm - 95%) = 53.8 % Expansión = 1.4 %	1653.22
01.22 - Ensayo CBR Inmediato (*) / Sols: Reconnaissance et essais - Indice CBR après immersion - Indice CBR immédiat - Indice Portant Immédiat - Mesure sur échantillon compacté dans le moule CBR (*)	NF P 94-078	CBR (0.1 in / 2.5 mm - 100%) = 87.6 % CBR (0.1 in / 2.5 mm - 95%) = 73.6 % CBR (0.2 in / 5.1 mm - 100%) = 104.7 % CBR (0.2 in / 5.1 mm - 95%) = 85.3 %	1654.22
01.16 - Clasificación de Suelos - AASHTO (*)	AASHTO	Clasificación de Suelo AASHTO = A-2-4 (0)	1655.22

Todos los ensayos del presente informe de ensayo han sido realizados en las instalaciones del LABMEP, salvo el caso se apliquen subcontrataciones. Los resultados de ensayo presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

Los resultados del presente informe de ensayo no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

El LABMEP no se responsabiliza cuando la información proporcionada por el solicitante pueda afectar a la validez de los resultados reportados.

Los resultados reportados en el presente informe de ensayo son aplicables a la muestra de acuerdo a las condiciones en que se recibió. El muestreo y entrega de la muestra en las instalaciones del LABMEP son responsabilidad del solicitante.

La fecha de ejecución de los ensayos se indica en los reportes de ensayo adjuntos que forman parte del presente informe.

(\*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA.

Informe Autorizado por

## LABMEP

Av. Nicolás Ayllón 2634 Ate - Lima 3 - Perú  
Teléfono: +51 1 414 3570  
e-mail: laboratoriomep@mota-engill.pe

LABMEP.670.4

  
MOTA-ENGLIL PERU S.A.  
Ing. Martha Torres  
GERENTE DE CALIDAD, SIG,  
SOSTENIBILIDAD & IMAGEN



**LABMEP**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN  
INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-076

**INFORME DE ENSAYO**

0584/22  
2022-11-17  
Pág. 3 de 3



Registro N° LE - 076

**Observaciones:** ---

**Anexos:** 11 Reportes de Ensayo (16 Páginas)

----- **FIN DE DOCUMENTO** -----

Este informe no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización del LABMEP

Todos los ensayos del presente informe de ensayo han sido realizados en las instalaciones del LABMEP, salvo el caso se apliquen subcontrataciones. Los resultados de ensayo presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

Los resultados del presente informe de ensayo no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

El LABMEP no se responsabiliza cuando la información proporcionada por el solicitante pueda afectar a la validez de los resultados reportados.

Los resultados reportados en el presente informe de ensayo son aplicables a la muestra de acuerdo a las condiciones en que se recibió. El muestreo y entrega de la muestra en las instalaciones del LABMEP son responsabilidad del solicitante.

La fecha de ejecución de los ensayos se indica en los reportes de ensayo adjuntos que forman parte del presente informe.

(\* ) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA.

Informe Autorizado por

**LABMEP**  
Av. Nicolás Ayllón 2634 Ate – Lima 3 - Perú  
Teléfono: +51 1 414 3570  
e-mail: laboratoriomep@mota-engil.pe

LABMEP.670.4

  
**MOTA-ENGIL PERU S.A.**  
Ing. Martha Torres  
GERENTE DE CALIDAD, SIG,  
SOSTENIBILIDAD & IMAGEN


**LABMEP**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN  
INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-076

**INFORME DE ENSAYO**

0586/22  
2022-11-17  
Pág. 1 de 3



Registro N° LE - 076

**Información interna del LABMEP:**

Caracterización del proceso  
Caracterización de Suelos

Estudio N.º L.021.22 Muestra N.º A0249/22 Fecha de recepción 2022-05-20

**Información proporcionada por el cliente:**

Nombre del proyecto  
Investigaciones LABMEP

Datos del cliente

Mota-Engil Perú S.A.

Muestreo  
Responsabilidad del solicitante

Fecha de muestreo  
2022-05-20

Av. Nicolás Ayllón, N.º2634, Ate, Lima -  
Perú, Mota-Engil Perú S.A.

Tipo de material / Referencia del cliente

**Terreno Natural**

Procedencia  
Material de Terreno de Fundación - Carretera Chontay km 2  
Margen Derecho, Cieneguilla, Lima

**Informe:**

Este informe no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización del LABMEP

ENSAYO	MÉTODO	RESULTADO [Incertidumbre si aplica]	REPORTE DE ENSAYO N.º	
01.01 - Análisis Granulométrico por Tamizado en Suelos / Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils	ASTM D422-63 (Reaprobado 2007)e2	Material Pasante Fracción Retenida en el Tamiz No. 10 2 in = 100.0 % 1 ½ in = 100.0 % 1 in = 98.9 % ¾ in = 97.6 % 3/8 in = 95.8 % No. 4 = 94.6 % No. 10 = 90.8 %	Material Pasante Fracción Pasante en el Tamiz No. 10 No. 20 = 82.9 % No. 40 = 72.3 % No. 60 = 62.8 % No. 140 = 49.0 % No. 200 = 44.1 %	1667.22
01.02 - Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad de Suelos / Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils	ASTM D4318-17e1	LL = 30 LP = 19 IP = 11	1668.22	
01.06 - Sistema de Clasificación Unificada de Suelos - SUCS (*) / Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System) (*)	ASTM D2487-17e1	SC - Arena arcillosa	1669.22	
01.10 - Gravedad Específica de Suelos / Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer	ASTM D854-14	Gravedad Específica (Promedio de las partículas a 20°C) = 2.71	1670.22	

Todos los ensayos del presente informe de ensayo han sido realizados en las instalaciones del LABMEP, salvo el caso se apliquen subcontrataciones. Los resultados de ensayo presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

Los resultados del presente informe de ensayo no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

El LABMEP no se responsabiliza cuando la información proporcionada por el solicitante pueda afectar a la validez de los resultados reportados.

Los resultados reportados en el presente informe de ensayo son aplicables a la muestra de acuerdo a las condiciones en que se recibió. El muestreo y entrega de la muestra en las instalaciones del LABMEP son responsabilidad del solicitante.

La fecha de ejecución de los ensayos se indica en los reportes de ensayo adjuntos que forman parte del presente informe.

(\*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA.

Informe Autorizado por

**LABMEP**

Av. Nicolás Ayllón 2634 Ate - Lima 3 - Perú  
Teléfono: +51 1 414 3570  
e-mail: laboratoriomep@mota-engil.pe

LABMEP.670.4

  
**MOTA-ENGIL PERU S.A.**  
 Ing. Martha Torres  
 GERENTE DE CALIDAD, SIG,  
 SOSTENIBILIDAD & IMAGEN



## LABMEP

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN  
INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-076

## INFORME DE ENSAYO

0586/22  
2022-11-17  
Pág. 2 de 3



Registro N° LE - 076

Este informe no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización del LABMEP

02.07/02.08 - Densidad, Gravedad Específica y Absorción de los Agregados / Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate	ASTM C127-15 / ASTM C128-15	<b>Fración Gruesa:</b> Material Retenido en el Tamiz ¾ in: $\rho_{\text{rod}} = 2640 \text{ kg/m}^3$ $\rho_{\text{SSD}} = 2670 \text{ kg/m}^3$ $\rho_{\text{Aparato}} = 2710 \text{ kg/m}^3$ WA = 0.9 %	1671.22
01.19 - Contenido de Materia Orgánica (Pérdida por Ignición) / Standard Test Methods for Determining the Water (Moisture) Content, Ash Content, and Organic Material of Peat and Other Organic Soils	ASTM D2974-20e1 - Método A	MO = 0.9 %	1672.22
01.39 - pH en Suelos (*) / Standard Test Methods for pH of Soils (*)	ASTM D4972-19 - Método A	pH = 7.8	1673.22
01.03 - Ensayo de Compactación Proctor Modificado (*) / 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> )) (*)	ASTM D1557-12e1 (2021)	$\gamma_{\text{Máx. Seca}} = 2.071 \text{ g/cm}^3$ $w_{\text{óptimo}} = 9.9\%$	1674.22
01.20 - Índice Californiano de Capacidad de Carga - CBR (*) / Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils (*)	ASTM D1883-21	CBR $(\phi 1 \text{ in} / 2.5 \text{ mm} - 100\%) = 22.8 \%$ CBR $(\phi 1 \text{ in} / 2.5 \text{ mm} - 95\%) = 24.1 \%$ CBR $(\phi 2 \text{ in} / 5.1 \text{ mm} - 100\%) = 30.0 \%$ CBR $(\phi 2 \text{ in} / 5.1 \text{ mm} - 95\%) = 28.7 \%$ Expansión = 0.0 %	1675.22
01.22 - Ensayo CBR Inmediato (*) / Soils: Reconnaissance et essais - Indice CBR après immersion - Indice CBR immédiat - Indice Portant Immédiat - Mesure sur échantillon compacté dans le moule CBR (*)	NF P 94-078	CBR $(\phi 1 \text{ in} / 2.5 \text{ mm} - 100\%) = 41.3 \%$ CBR $(\phi 1 \text{ in} / 2.5 \text{ mm} - 95\%) = 47.3 \%$ CBR $(\phi 2 \text{ in} / 5.1 \text{ mm} - 100\%) = 48.3 \%$ CBR $(\phi 2 \text{ in} / 5.1 \text{ mm} - 95\%) = 50.6 \%$	1676.22
01.16 - Clasificación de Suelos - AASHTO (*)	AASHTO	Clasificación de Suelo AASHTO = A-6 (2)	1677.22

Todos los ensayos del presente informe de ensayo han sido realizados en las instalaciones del LABMEP, salvo el caso se apliquen subcontrataciones. Los resultados de ensayo presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

Los resultados del presente informe de ensayo no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

El LABMEP no se responsabiliza cuando la información proporcionada por el solicitante pueda afectar a la validez de los resultados reportados.

Los resultados reportados en el presente informe de ensayo son aplicables a la muestra de acuerdo a las condiciones en que se recibió. El muestreo y entrega de la muestra en las instalaciones del LABMEP son responsabilidad del solicitante.

La fecha de ejecución de los ensayos se indica en los reportes de ensayo adjuntos que forman parte del presente informe.

(\*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA.

Informe Autorizado por

## LABMEP

Av. Nicolás Ayllón 2634 Ate - Lima 3 - Perú  
Teléfono: +51 1 414 3570  
e-mail: laboratoriomep@mota-engil.pe

LABMEP.670.4

  
MOTA-ENGIL PERU S.A.  
Ing. Martha Torres  
GERENTE DE CALIDAD, SIG,  
SOSTENIBILIDAD & IMAGEN



**LABMEP**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN  
INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-076

**INFORME DE ENSAYO**

0586/22  
2022-11-17  
Pág. 3 de 3



Registro N° LE - 076

**Observaciones:** ---

**Anexos:** 11 Reportes de Ensayo (16 Páginas)

----- **FIN DE DOCUMENTO** -----

Este informe no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización del LABMEP

Todos los ensayos del presente informe de ensayo han sido realizados en las instalaciones del LABMEP, salvo el caso se apliquen subcontrataciones. Los resultados de ensayo presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

Los resultados del presente informe de ensayo no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

El LABMEP no se responsabiliza cuando la información proporcionada por el solicitante pueda afectar a la validez de los resultados reportados.

Los resultados reportados en el presente informe de ensayo son aplicables a la muestra de acuerdo a las condiciones en que se recibió. El muestreo y entrega de la muestra en las instalaciones del LABMEP son responsabilidad del solicitante.

La fecha de ejecución de los ensayos se indica en los reportes de ensayo adjuntos que forman parte del presente informe.

(\* ) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA.

Informe Autorizado por

**LABMEP**

Av. Nicolás Ayllón 2634 Ate – Lima 3 - Perú  
Teléfono: +51 1 414 3570  
e-mail: laboratoriomep@mota-engilil.pe

LABMEP.670.4

  
**MOTAENGLIL PERU S.A.**  
Ing. Martha Torres  
GERENTE DE CALIDAD, SIG,  
SOSTENIBILIDAD & IMAGEN



## LABMEP

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN  
INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-076

## INFORME DE ENSAYO

0587/22  
2022-11-17  
Pág. 1 de 3



Registro N° LE - 076

**Información interna del LABMEP:**

Caracterización del proceso  
Caracterización de Suelos

Estudio N.º L.021.22 Muestra N.º A0250/22 Fecha de recepción 2022-05-20

**Información proporcionada por el cliente:**

Nombre del proyecto  
Investigaciones LABMEP

Datos del cliente

Mota-Engil Perú S.A.

Muestreo  
Responsabilidad del solicitante

Fecha de muestreo  
2022-05-20

Av. Nicolás Ayllón, N.º2634, Ate, Lima -  
Perú, Mota-Engil Perú S.A.

Tipo de material / Referencia del cliente

**Base Granular**

Procedencia

Material de Corte - Av. La Molina km 6+200 Margen Derecho,  
Cieneguilla, Lima

Informe:

Este informe no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización del LABMEP

ENSAYO	MÉTODO	RESULTADO [Incertidumbre si aplica]	REPORTE DE ENSAYO N.º																		
01.01 - Análisis Granulométrico por Tamizado en Suelos / Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils	ASTM D422-63 (Reaprobado 2007)e2	<table border="1"> <tr> <th>Material Retenido en el Tamiz No. 10</th> <th>Material Pasante Fracción</th> </tr> <tr> <td>3 in = 100.0 %</td> <td>No. 20 = 18.7 %</td> </tr> <tr> <td>2 in = 93.3 %</td> <td>No. 40 = 14.5 %</td> </tr> <tr> <td>1 ½ in = 89.0 %</td> <td>No. 60 = 11.5 %</td> </tr> <tr> <td>1 in = 83.9 %</td> <td>No. 140 = 7.1 %</td> </tr> <tr> <td>¾ in = 77.1 %</td> <td>No. 200 = 5.3 %</td> </tr> <tr> <td>¾ in = 55.7 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td>No. 4 = 38.8 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td>No. 10 = 24.9 %</td> <td></td> </tr> </table>	Material Retenido en el Tamiz No. 10	Material Pasante Fracción	3 in = 100.0 %	No. 20 = 18.7 %	2 in = 93.3 %	No. 40 = 14.5 %	1 ½ in = 89.0 %	No. 60 = 11.5 %	1 in = 83.9 %	No. 140 = 7.1 %	¾ in = 77.1 %	No. 200 = 5.3 %	¾ in = 55.7 %		No. 4 = 38.8 %		No. 10 = 24.9 %		1678.22
Material Retenido en el Tamiz No. 10	Material Pasante Fracción																				
3 in = 100.0 %	No. 20 = 18.7 %																				
2 in = 93.3 %	No. 40 = 14.5 %																				
1 ½ in = 89.0 %	No. 60 = 11.5 %																				
1 in = 83.9 %	No. 140 = 7.1 %																				
¾ in = 77.1 %	No. 200 = 5.3 %																				
¾ in = 55.7 %																					
No. 4 = 38.8 %																					
No. 10 = 24.9 %																					
01.02 - Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad de Suelos / Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils	ASTM D4318-17e1	LL = NP LP = NP IP = NP	1679.22																		
01.06 - Sistema de Clasificación Unificada de Suelos - SUCS (*) / Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System) (*)	ASTM D2487-17e1	GP-GM - Grava pobremente graduada con limo y arena	1680.22																		
01.10 - Gravedad Específica de Suelos / Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer	ASTM D854-14	Gravedad Específica (Promedio de las partículas a 20°C) = 2.85	1681.22																		

Todos los ensayos del presente informe de ensayo han sido realizados en las instalaciones del LABMEP, salvo el caso se apliquen subcontrataciones. Los resultados de ensayo presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

Los resultados del presente informe de ensayo no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

El LABMEP no se responsabiliza cuando la información proporcionada por el solicitante pueda afectar a la validez de los resultados reportados.

Los resultados reportados en el presente informe de ensayo son aplicables a la muestra de acuerdo a las condiciones en que se recibió. El muestreo y entrega de la muestra en las instalaciones del LABMEP son responsabilidad del solicitante.

La fecha de ejecución de los ensayos se indica en los reportes de ensayo adjuntos que forman parte del presente informe.

(\*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA.

Informe Autorizado por

## LABMEP

Av. Nicolás Ayllón 2634 Ate - Lima 3 - Perú  
Teléfono: +51 1 414 3570  
e-mail: laboratoriompe@mota-engil.pe

LABMEP.670.4

  
MOTA-ENGIL PERU S.A.  
Ing. Martha Torres  
GERENTE DE CALIDAD, SIG,  
SOSTENIBILIDAD & IMAGEN



## LABMEP

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN  
INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-076

## INFORME DE ENSAYO

0587/22  
2022-11-17  
Pág. 2 de 3



Registro N° LE - 076

Este informe no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización del LABMEP

02.07/02.08 - Densidad, Gravedad Específica y Absorción de los Agregados / Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate	ASTM C127-15 / ASTM C128-15	<b>Fración Gruesa:</b> Material Retenido en el Tamiz ¾ in: $\rho_{\text{obj}} = 2710 \text{ kg/m}^3$ $\rho_{\text{SSD}} = 2750 \text{ kg/m}^3$ $\rho_{\text{Aparente}} = 2830 \text{ kg/m}^3$ WA = 1.5 %	1682.22
01.19 - Contenido de Materia Orgánica (Pérdida por Ignición) / Standard Test Methods for Determining the Water (Moisture) Content, Ash Content, and Organic Material of Peat and Other Organic Soils	ASTM D2974-20e1 - Método A	MO = 1.3 %	1683.22
01.39 - pH en Suelos (*) / Standard Test Methods for pH of Soils (*)	ASTM D4972-19 - Método A	pH = 7.7	1684.22
01.04 - Ensayo de Compactación Proctor con Corrección del Peso Específico y Contenido de Humedad para Suelos con Partículas Sobredimensionadas (*) / Standard Practice for Correction of Unit Weight and Water Content for Soils Containing Oversize Particles (*)	ASTM D4718 / D4718M-15	$\gamma_{\text{Máx. Seca}} = 2.224 \text{ g/cm}^3$ $w_{\text{Óptimo}} = 5.7 \%$ $\gamma_{\text{Máx. Seca Corregido}} = 2.320 \text{ g/cm}^3$ $w_{\text{Óptimo Corregido}} = 4.8 \%$	1685.22
01.20 - Índice Californiano de Capacidad de Carga - CBR (*) / Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils (*)	ASTM D1883-21	CBR ( $\phi$ 1 in / 25 mm - 100%) = 85.5 % CBR ( $\phi$ 1 in / 25 mm - 95%) = 66.6 % CBR ( $\phi$ 2 in / 5.1 mm - 100%) = 102.9 % CBR ( $\phi$ 2 in / 5.1 mm - 95%) = 80.1 % Expansión = 0.0 %	1686.22
01.22 - Ensayo CBR Inmediato (*) / Sols: Reconnaissance et essais - Indice CBR après immersion - Indice CBR immédiat - Indice Portant Immédiat - Mesure sur échantillon compacté dans le moule CBR (*)	NF P 94-078	CBR ( $\phi$ 1 in / 25 mm - 100%) = 138.6 % CBR ( $\phi$ 1 in / 25 mm - 95%) = 106.8 % CBR ( $\phi$ 2 in / 5.1 mm - 100%) = 158.7 % CBR ( $\phi$ 2 in / 5.1 mm - 95%) = 123.6 %	1687.22
01.16 - Clasificación de Suelos - AASHTO (*)	AASHTO	Clasificación de Suelo AASHTO = A-1-a (0)	1688.22

Todos los ensayos del presente informe de ensayo han sido realizados en las instalaciones del LABMEP, salvo el caso se apliquen subcontrataciones. Los resultados de ensayo presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

Los resultados del presente informe de ensayo no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

El LABMEP no se responsabiliza cuando la información proporcionada por el solicitante pueda afectar a la validez de los resultados reportados.

Los resultados reportados en el presente informe de ensayo son aplicables a la muestra de acuerdo a las condiciones en que se recibió. El muestreo y entrega de la muestra en las instalaciones del LABMEP son responsabilidad del solicitante.

La fecha de ejecución de los ensayos se indica en los reportes de ensayo adjuntos que forman parte del presente informe.

(\*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA.

Informe Autorizado por

## LABMEP

Av. Nicolás Ayllón 2634 Ate - Lima 3 - Perú  
Teléfono: +51 1 414 3570  
e-mail: laboratoriomep@mota-engil.pe

LABMEP.670.4

  
MOTA-ENGIL PERU S.A.  
Ing. Mariana Torres  
GERENTE DE CALIDAD, SIG,  
SOSTENIBILIDAD & IMAGEN

**LABMEP**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN  
INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-076

**INFORME DE ENSAYO**

0587/22  
2022-11-17  
Pág. 3 de 3



Registro N° LE - 076

**Observaciones:** ---

**Anexos:** 11 Reportes de Ensayo (16 Páginas)

----- FIN DE DOCUMENTO -----

Este informe no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización del LABMEP

Todos los ensayos del presente informe de ensayo han sido realizados en las instalaciones del LABMEP, salvo el caso se apliquen subcontrataciones. Los resultados de ensayo presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

Los resultados del presente informe de ensayo no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

El LABMEP no se responsabiliza cuando la información proporcionada por el solicitante pueda afectar a la validez de los resultados reportados.

Los resultados reportados en el presente informe de ensayo son aplicables a la muestra de acuerdo a las condiciones en que se recibió. El muestreo y entrega de la muestra en las instalaciones del LABMEP son responsabilidad del solicitante.

La fecha de ejecución de los ensayos se indica en los reportes de ensayo adjuntos que forman parte del presente informe.

(\* ) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA.

Informe Autorizado por

**LABMEP**

Av. Nicolás Ayllón 2634 Ate – Lima 3 - Perú  
Teléfono: +51 1 414 3570  
e-mail: laboratoriomep@mota-engil.pe

LABMEP.670.4

  
**MOTAENGLIL PERU S.A.**  
Ing. María Torres  
GERENTE DE CALIDAD, SIG,  
SOSTENIBILIDAD & IMAGEN

**LABMEP**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN  
INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-076

**INFORME DE ENSAYO**

0588/22  
2022-11-17  
Pág. 1 de 2



Registro N° LE - 076

**Información interna del LABMEP:**

Caracterización del proceso  
Caracterización de Suelos

Estudio N.º L.021.22 Muestra N.º **A0494/22** Fecha de recepción 2022-09-26

**Información proporcionada por el cliente:**

Nombre del proyecto  
Investigaciones LABMEP

Datos del cliente

Mota-Engil Perú S.A.

Muestreo  
Responsabilidad del solicitante

Fecha de muestreo  
2022-09-16

Av. Nicolás Ayllón, N.º2634, Ate, Lima -  
Perú, Mota-Engil Perú S.A.

Tipo de material / Referencia del cliente

**Terreno Natural**

Procedencia  
Material de Corte - Pasaje Primavera, Baños del Inca,  
Cajamarca

**Informe:**

ENSAYO	MÉTODO	RESULTADO [Incertidumbre si aplica]	REPORTE DE ENSAYO N.º																
01.01 - Análisis Granulométrico por Tamizado en Suelos / Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils	ASTM D422-63 (Reaprobado 2007)e2	<table border="1"> <tr> <td><b>Material Retenido en el Tamiz No. 10</b></td> <td><b>Material Pasante Fracción Pasante en el Tamiz No. 10</b></td> </tr> <tr> <td>2 in = 100.0 %</td> <td>No. 20 = 98.8 %</td> </tr> <tr> <td>1 ½ in = 100.0 %</td> <td>No. 40 = 98.4 %</td> </tr> <tr> <td>1 in = 100.0 %</td> <td>No. 60 = 97.5 %</td> </tr> <tr> <td>¾ in = 100.0 %</td> <td>No. 140 = 93.1 %</td> </tr> <tr> <td>3/8 in = 100.0 %</td> <td>No. 200 = 91.9 %</td> </tr> <tr> <td>No. 4 = 100.0 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td>No. 10 = 99.2 %</td> <td></td> </tr> </table>	<b>Material Retenido en el Tamiz No. 10</b>	<b>Material Pasante Fracción Pasante en el Tamiz No. 10</b>	2 in = 100.0 %	No. 20 = 98.8 %	1 ½ in = 100.0 %	No. 40 = 98.4 %	1 in = 100.0 %	No. 60 = 97.5 %	¾ in = 100.0 %	No. 140 = 93.1 %	3/8 in = 100.0 %	No. 200 = 91.9 %	No. 4 = 100.0 %		No. 10 = 99.2 %		2811.22
<b>Material Retenido en el Tamiz No. 10</b>	<b>Material Pasante Fracción Pasante en el Tamiz No. 10</b>																		
2 in = 100.0 %	No. 20 = 98.8 %																		
1 ½ in = 100.0 %	No. 40 = 98.4 %																		
1 in = 100.0 %	No. 60 = 97.5 %																		
¾ in = 100.0 %	No. 140 = 93.1 %																		
3/8 in = 100.0 %	No. 200 = 91.9 %																		
No. 4 = 100.0 %																			
No. 10 = 99.2 %																			
01.02 - Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad de Suelos / Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils	ASTM D4318-17e1	LL = 71 LP = 29 IP = 42	2812.22																
01.06 - Sistema de Clasificación Unificada de Suelos - SUCS (*) / Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System) (*)	ASTM D2487-17e1	CH - Arcilla alta plasticidad	2813.22																
01.10 - Gravedad Específica de Suelos / Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer	ASTM D854-14	Gravedad Específica (Promedio de las partículas a 20°C) = 2.70	2814.22																

Este informe no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización del LABMEP

Todos los ensayos del presente informe de ensayo han sido realizados en las instalaciones del LABMEP, salvo el caso se apliquen subcontrataciones. Los resultados de ensayo presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

Los resultados del presente informe de ensayo no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

El LABMEP no se responsabiliza cuando la información proporcionada por el solicitante pueda afectar a la validez de los resultados reportados.

Los resultados reportados en el presente informe de ensayo son aplicables a la muestra de acuerdo a las condiciones en que se recibió. El muestreo y entrega de la muestra en las instalaciones del LABMEP son responsabilidad del solicitante.

La fecha de ejecución de los ensayos se indica en los reportes de ensayo adjuntos que forman parte del presente informe.

(\*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA.

Informe Autorizado por

**LABMEP**

Av. Nicolás Ayllón 2634 Ate - Lima 3 - Perú  
Teléfono: +51 1 414 3570  
e-mail: laboratoriomep@mota-engil.pe

LABMEP.670.4

  
**MOTA-ENGIL PERU S.A.**  
Ing. María Torres  
GERENTE DE CALIDAD, SIG,  
SOSTENIBILIDAD & IMAGEN



**LABMEP**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-076

**INFORME DE ENSAYO**

0588/22  
2022-11-17  
Pág. 2 de 2



Registro N° LE - 076

Este informe no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización del LABMEP

01.19 – Contenido de Materia Orgánica (Pérdida por Ignición) / Standard Test Methods for Determining the Water (Moisture) Content, Ash Content, and Organic Material of Peat and Other Organic Soils	ASTM D2974-20e1 – Método A	MO = 4.0 %	2816.22
01.39 – pH en Suelos (*) / Standard Test Methods for pH of Soils (*)	ASTM D4972-19 – Método A	pH = 5.2	2817.22
01.03 – Ensayo de Compactación Proctor Modificado (*) / 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> )) (*)	ASTM D1557-12e1 (2021)	$\gamma_{Max, Seca} = 1.695 \text{ g/cm}^3$ $w_{Optimo} = 19.1 \%$	2818.22
01.20 – Índice Californiano de Capacidad de Carga - CBR (*) / Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils (*)	ASTM D1883-21	CBR ( $\phi$ 1 in / 2.5 mm – 100%) = 2.9 % CBR ( $\phi$ 1 in / 2.5 mm – 95%) = 2.1 % CBR ( $\phi$ 2 in / 5.1 mm – 100%) = 2.4 % CBR ( $\phi$ 2 in / 5.1 mm – 95%) = 1.9 % Expansión = 5.0 %	2819.22
01.22 – Ensayo CBR Inmediato (*) / Sols: Reconnaissance et essais – Indice CBR après immersion – Indice CBR immédiat – Indice Portant Immédiat – Mesure sur échantillon compacté dans le moule CBR (*)	NF P 94-078	CBR ( $\phi$ 1 in / 2.5 mm – 100%) = 45.1 % CBR ( $\phi$ 1 in / 2.5 mm – 95%) = 38.2 % CBR ( $\phi$ 2 in / 5.1 mm – 100%) = 36.2 % CBR ( $\phi$ 2 in / 5.1 mm – 95%) = 34.2 %	2820.22
01.16 - Clasificación de Suelos – AASHTO (*)	AASHTO	Clasificación de Suelo AASHTO = A-7-6 (45)	2821.22

**Observaciones:** ---

**Anexos:** 10 Reportes de Ensayo (15 Páginas)

----- **FIN DE DOCUMENTO** -----

Todos los ensayos del presente informe de ensayo han sido realizados en las instalaciones del LABMEP, salvo el caso se apliquen subcontrataciones. Los resultados de ensayo presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

Los resultados del presente informe de ensayo no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

El LABMEP no se responsabiliza cuando la información proporcionada por el solicitante pueda afectar a la validez de los resultados reportados.

Los resultados reportados en el presente informe de ensayo son aplicables a la muestra de acuerdo a las condiciones en que se recibió. El muestreo y entrega de la muestra en las instalaciones del LABMEP son responsabilidad del solicitante.

La fecha de ejecución de los ensayos se indica en los reportes de ensayo adjuntos que forman parte del presente informe.

(\*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA.

Informe Autorizado por

**LABMEP**  
Av. Nicolás Ayllón 2634 Ate – Lima 3 - Perú  
Teléfono: +51 1 414 3570  
e-mail: laboratoriomep@mota-engil.pe

LABMEP.670.4

  
**MOTA-ENGIL PERU S.A.**  
Ing. Martha Torres  
GERENTE DE CALIDAD, SIG,  
SOSTENIBILIDAD & IMAGEN



## LABMEP

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN  
INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-076

## INFORME DE ENSAYO

0589/22  
2022-11-17  
Pág. 1 de 2



Registro N° LE - 076

**Información interna del LABMEP:**

Caracterización del proceso  
Caracterización de Suelos

Estudio N.º L.021.22 Muestra N.º A0517/22 Fecha de recepción 2022-10-03

**Información proporcionada por el cliente:**

Nombre del proyecto  
Investigaciones LABMEP

Datos del cliente

Mota-Engil Perú S.A.

Muestreo  
Responsabilidad del solicitante

Fecha de muestreo  
2022-10-01

Av. Nicolás Ayllón, N.º2634, Ate, Lima -  
Perú, Mota-Engil Perú S.A.

Tipo de material / Referencia del cliente

**Terreno Natural**

Procedencia

Material de Corte - Continuación de la Autopista Ramiro Prialé,  
Ñaña, Lurigancho-Chosica, Lima

Informe:

Este informe no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización del LABMEP

ENSAYO	MÉTODO	RESULTADO [Incertidumbre si aplica]	REPORTE DE ENSAYO N.º																
01.01 - Análisis Granulométrico por Tamizado en Suelos / Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils	ASTM D422-63 (Reaprobado 2007)e2	<table border="1"> <tr> <th>Material Retenido en el Tamiz No. 10</th> <th>Material Pasante Fracción</th> </tr> <tr> <td>2 in = 100.0 %</td> <td>No. 20 = 96.5 %</td> </tr> <tr> <td>1 ½ in = 100.0 %</td> <td>No. 40 = 92.6 %</td> </tr> <tr> <td>1 in = 100.0 %</td> <td>No. 60 = 86.5 %</td> </tr> <tr> <td>¾ in = 100.0 %</td> <td>No. 140 = 67.9 %</td> </tr> <tr> <td>3/8 in = 100.0 %</td> <td>No. 200 = 59.4 %</td> </tr> <tr> <td>No. 4 = 100.0 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td>No. 10 = 98.7 %</td> <td></td> </tr> </table>	Material Retenido en el Tamiz No. 10	Material Pasante Fracción	2 in = 100.0 %	No. 20 = 96.5 %	1 ½ in = 100.0 %	No. 40 = 92.6 %	1 in = 100.0 %	No. 60 = 86.5 %	¾ in = 100.0 %	No. 140 = 67.9 %	3/8 in = 100.0 %	No. 200 = 59.4 %	No. 4 = 100.0 %		No. 10 = 98.7 %		2887.22
Material Retenido en el Tamiz No. 10	Material Pasante Fracción																		
2 in = 100.0 %	No. 20 = 96.5 %																		
1 ½ in = 100.0 %	No. 40 = 92.6 %																		
1 in = 100.0 %	No. 60 = 86.5 %																		
¾ in = 100.0 %	No. 140 = 67.9 %																		
3/8 in = 100.0 %	No. 200 = 59.4 %																		
No. 4 = 100.0 %																			
No. 10 = 98.7 %																			
01.02 - Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad de Suelos / Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils	ASTM D4318-17e1	LL = 23 LP = 19 IP = 4	2888.22																
01.06 - Sistema de Clasificación Unificada de Suelos - SUCS (*) / Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System) (*)	ASTM D2487-17e1	CL-ML - Arcilla limo-arenosa	2889.22																
01.10 - Gravedad Específica de Suelos / Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer	ASTM D854-14	Gravedad Específica (Promedio de las partículas a 20°C) = 2.75	2890.22																

Todos los ensayos del presente informe de ensayo han sido realizados en las instalaciones del LABMEP, salvo el caso se apliquen subcontrataciones. Los resultados de ensayo presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

Los resultados del presente informe de ensayo no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

El LABMEP no se responsabiliza cuando la información proporcionada por el solicitante pueda afectar a la validez de los resultados reportados.

Los resultados reportados en el presente informe de ensayo son aplicables a la muestra de acuerdo a las condiciones en que se recibió. El muestreo y entrega de la muestra en las instalaciones del LABMEP son responsabilidad del solicitante.

La fecha de ejecución de los ensayos se indica en los reportes de ensayo adjuntos que forman parte del presente informe.

(\*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA.

Informe Autorizado por

## LABMEP

Av. Nicolás Ayllón 2634 Ate - Lima 3 - Perú  
Teléfono: +51 1 414 3570  
e-mail: laboratoriomep@mota-engil.pe

LABMEP.670.4

  
MOTAENGIL PERU S.A.  
Ing. Martha Torres  
GERENTE DE CALIDAD, SIG,  
SOSTENIBILIDAD & IMAGEN



## LABMEP

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN  
INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-076

## INFORME DE ENSAYO

0589/22  
2022-11-17  
Pág. 2 de 2



Registro N° LE - 076

Este informe no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización del LABMEP

01.19 – Contenido de Materia Orgánica (Pérdida por Ignición) / Standard Test Methods for Determining the Water (Moisture) Content, Ash Content, and Organic Material of Peat and Other Organic Soils	ASTM D2974-20e1 – Método A	MO = 1.4 %	2892.22
01.39 – pH en Suelos (*) / Standard Test Methods for pH of Soils (*)	ASTM D4972-19 – Método A	pH = 7.6	2893.22
01.03 – Ensayo de Compactación Proctor Modificado (*) / 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> )) (*)	ASTM D1557-12e1 (2021)	$\gamma_{Max, Seca} = 2.006 \text{ g/cm}^3$ $w_{Optimo} = 11.1 \%$	2894.22
01.20 – Índice Californiano de Capacidad de Carga - CBR (*) / Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils (*)	ASTM D1883-21	CBR ( $\phi$ 1 in / 2.5 mm – 100%) = 17.9 % CBR ( $\phi$ 1 in / 2.5 mm – 95%) = 15.8 % CBR ( $\phi$ 2 in / 5.1 mm – 100%) = 20.5 % CBR ( $\phi$ 2 in / 5.1 mm – 95%) = 18.4 % Expansión = 0.8 %	2895.22
01.22 – Ensayo CBR Inmediato (*) / Sols: Reconnaissance et essais – Indice CBR après immersion – Indice CBR immédiat – Indice Portant Immédiat – Mesure sur échantillon compacté dans le moule CBR (*)	N F P 94-078	CBR ( $\phi$ 1 in / 2.5 mm – 100%) = 46.1 % CBR ( $\phi$ 1 in / 2.5 mm – 95%) = 36.1 % CBR ( $\phi$ 2 in / 5.1 mm – 100%) = 47.8 % CBR ( $\phi$ 2 in / 5.1 mm – 95%) = 42.2 %	2896.22
01.16 - Clasificación de Suelos – AASHTO (*)	AASHTO	Clasificación de Suelo AASHTO = A-4 (0)	2897.22

**Observaciones:** ---

**Anexos:** 10 Reportes de Ensayo (15 Páginas)

----- FIN DE DOCUMENTO -----

Todos los ensayos del presente informe de ensayo han sido realizados en las instalaciones del LABMEP, salvo el caso se apliquen subcontrataciones. Los resultados de ensayo presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

Los resultados del presente informe de ensayo no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

El LABMEP no se responsabiliza cuando la información proporcionada por el solicitante pueda afectar a la validez de los resultados reportados.

Los resultados reportados en el presente informe de ensayo son aplicables a la muestra de acuerdo a las condiciones en que se recibió. El muestreo y entrega de la muestra en las instalaciones del LABMEP son responsabilidad del solicitante.

La fecha de ejecución de los ensayos se indica en los reportes de ensayo adjuntos que forman parte del presente informe.

(\*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA.

Informe Autorizado por

## LABMEP

Av. Nicolás Ayllón 2634 Ate – Lima 3 - Perú  
Teléfono: +51 1 414 3570  
e-mail: laboratoriomep@mota-engil.pe

LABMEP.670.4

  
MOTAENGIL PERU S.A.  
Ing. Martha Torres  
GERENTE DE CALIDAD, SIG,  
SOSTENIBILIDAD & IMAGEN

**LABMEP**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN  
INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-076

**INFORME DE ENSAYO**

0590/22  
2022-11-17  
Pág. 1 de 2



Registro N° LE - 076

**Información interna del LABMEP:**

Caracterización del proceso  
Caracterización de Suelos

Estudio N.º L.021.22 Muestra N.º **A0573/22** Fecha de recepción 2022-10-24

**Información proporcionada por el cliente:**

Nombre del proyecto  
Investigaciones LABMEP

Datos del cliente

Mota-Engil Perú S.A.

Muestreo  
Responsabilidad del solicitante

Fecha de muestreo  
2022-10-20

Av. Nicolás Ayllón, N.º2634, Ate, Lima -  
Perú, Mota-Engil Perú S.A.

Tipo de material / Referencia del cliente

**Terreno Natural**

Procedencia  
Material de Corte - Av. Leoncio Prado Cuadra 7, Uchiza,  
Tocache, San Martín

**Informe:**

Este informe no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización del LABMEP

ENSAYO	MÉTODO	RESULTADO [Incertidumbre si aplica]	REPORTE DE ENSAYO N.º																
01.01 - Análisis Granulométrico por Tamizado en Suelos / Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils	ASTM D422-63 (Reaprobado 2007)e2	<table border="1"> <tr> <th>Material Retenido en el Tamiz No. 10</th> <th>Material Pasante Fracción Pasante en el Tamiz No. 10</th> </tr> <tr> <td>2 in = 100.0 %</td> <td>No. 20 = 98.3 %</td> </tr> <tr> <td>1 ½ in = 100.0 %</td> <td>No. 40 = 90.7 %</td> </tr> <tr> <td>1 in = 100.0 %</td> <td>No. 60 = 81.9 %</td> </tr> <tr> <td>¾ in = 100.0 %</td> <td>No. 140 = 74.7 %</td> </tr> <tr> <td>3/8 in = 100.0 %</td> <td>No. 200 = 71.4 %</td> </tr> <tr> <td>No. 4 = 100.0 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td>No. 10 = 100.0 %</td> <td></td> </tr> </table>	Material Retenido en el Tamiz No. 10	Material Pasante Fracción Pasante en el Tamiz No. 10	2 in = 100.0 %	No. 20 = 98.3 %	1 ½ in = 100.0 %	No. 40 = 90.7 %	1 in = 100.0 %	No. 60 = 81.9 %	¾ in = 100.0 %	No. 140 = 74.7 %	3/8 in = 100.0 %	No. 200 = 71.4 %	No. 4 = 100.0 %		No. 10 = 100.0 %		3106.22
Material Retenido en el Tamiz No. 10	Material Pasante Fracción Pasante en el Tamiz No. 10																		
2 in = 100.0 %	No. 20 = 98.3 %																		
1 ½ in = 100.0 %	No. 40 = 90.7 %																		
1 in = 100.0 %	No. 60 = 81.9 %																		
¾ in = 100.0 %	No. 140 = 74.7 %																		
3/8 in = 100.0 %	No. 200 = 71.4 %																		
No. 4 = 100.0 %																			
No. 10 = 100.0 %																			
01.02 - Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad de Suelos / Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils	ASTM D4318-17e1	LL = 45 LP = 28 IP = 17	3107.22																
01.06 - Sistema de Clasificación Unificada de Suelos - SUCS (*) / Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System) (*)	ASTM D2487-17e1	ML - Limo con arena	3108.22																
01.10 - Gravedad Específica de Suelos / Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer	ASTM D854-14	Gravedad Específica (Promedio de las partículas a 20°C) = 2.65	3109.22																

Todos los ensayos del presente informe de ensayo han sido realizados en las instalaciones del LABMEP, salvo el caso se apliquen subcontrataciones. Los resultados de ensayo presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

Los resultados del presente informe de ensayo no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

El LABMEP no se responsabiliza cuando la información proporcionada por el solicitante pueda afectar a la validez de los resultados reportados.

Los resultados reportados en el presente informe de ensayo son aplicables a la muestra de acuerdo a las condiciones en que se recibió. El muestreo y entrega de la muestra en las instalaciones del LABMEP son responsabilidad del solicitante.

La fecha de ejecución de los ensayos se indica en los reportes de ensayo adjuntos que forman parte del presente informe.

(\*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA.

Informe Autorizado por

**LABMEP**

Av. Nicolás Ayllón 2634 Ate - Lima 3 - Perú  
Teléfono: +51 1 414 3570  
e-mail: laboratoriomep@mota-engil.pe

LABMEP.670.4

  
MOTA-ENGIL PERU S.A.  
Ing. Martha Torres  
GERENTE DE CALIDAD, SIG,  
SOSTENIBILIDAD & IMAGEN


**LABMEP**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN  
INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-076

**INFORME DE ENSAYO**

0590/22  
2022-11-17  
Pág. 2 de 2



Registro N° LE - 076

Este informe no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización del LABMEP

01.19 – Contenido de Materia Orgánica (Pérdida por Ignición) / Standard Test Methods for Determining the Water (Moisture) Content, Ash Content, and Organic Material of Peat and Other Organic Soils	ASTM D2974-20e1 – Método A	MO = 2.4 %	3111.22
01.39 – pH en Suelos (*) / Standard Test Methods for pH of Soils (*)	ASTM D4972-19 – Método A	pH = 5.6	3112.22
01.03 – Ensayo de Compactación Proctor Modificado (*) / 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> )) (*)	ASTM D1557-12e1 (2021)	$\gamma_{Max, Seca} = 1.743 \text{ g/cm}^3$ $w_{Optimo} = 17.0 \%$	3113.22
01.20 – Índice Californiano de Capacidad de Carga - CBR (*) / Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils (*)	ASTM D1883-21	CBR ( $\phi$ 1 in / 2.5 mm – 100%) = 28.3 % CBR ( $\phi$ 1 in / 2.5 mm – 95%) = 16.6 % CBR ( $\phi$ 2 in / 5.1 mm – 100%) = 25.1 % CBR ( $\phi$ 2 in / 5.1 mm – 95%) = 17.8 % Expansión = 0.3 %	3114.22
01.22 – Ensayo CBR Inmediato (*) / Sols: Reconnaissance et essais – Indice CBR après immersion – Indice CBR immédiat – Indice Portant Immédiat – Mesure sur échantillon compacté dans le moule CBR (*)	NF P 94-078	CBR ( $\phi$ 1 in / 2.5 mm – 100%) = 53.3 % CBR ( $\phi$ 1 in / 2.5 mm – 95%) = 37.4 % CBR ( $\phi$ 2 in / 5.1 mm – 100%) = 51.8 % CBR ( $\phi$ 2 in / 5.1 mm – 95%) = 35.3 %	3115.22
01.16 – Clasificación de Suelos – AASHTO (*)	AASHTO	Clasificación de Suelo AASHTO = A-7-6 (12)	3116.22

**Observaciones:** ---

**Anexos:** 10 Reportes de Ensayo (15 Páginas)

----- **FIN DE DOCUMENTO** -----

Todos los ensayos del presente informe de ensayo han sido realizados en las instalaciones del LABMEP, salvo el caso se apliquen subcontrataciones. Los resultados de ensayo presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

Los resultados del presente informe de ensayo no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

El LABMEP no se responsabiliza cuando la información proporcionada por el solicitante pueda afectar a la validez de los resultados reportados.

Los resultados reportados en el presente informe de ensayo son aplicables a la muestra de acuerdo a las condiciones en que se recibió. El muestreo y entrega de la muestra en las instalaciones del LABMEP son responsabilidad del solicitante.

La fecha de ejecución de los ensayos se indica en los reportes de ensayo adjuntos que forman parte del presente informe.

(\*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA.

Informe Autorizado por

**LABMEP**

Av. Nicolás Ayllón 2634 Ate – Lima 3 – Perú  
Teléfono: +51 1 414 3570  
e-mail: laboratoriomep@mota-engil.pe

LABMEP.670.4

  
**MOTA-ENGLIL PERU S.A.**  
Ing. Martha Torres  
GERENTE DE CALIDAD, SIG,  
SOSTENIBILIDAD & IMAGEN