

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y
CIVIL**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS:

**Influencia de la diatomita calcinada en el CBR,
plasticidad y Proctor de la subrasante arcillosa en la
carretera AP-102, sector Sarahuarcay, Apurímac**

Para optar el título profesional de:
INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:
Bach. Efrain Lizardo DAMIANO ALARCON

ASESOR:
Msc. Ing. Hemerson LIZARBE ALARCÓN

AYACUCHO - PERÚ

2026

*A mi familia, por enseñarme que los logros
se disfrutan más cuando se comparten.
Este trabajo es el resultado de su paciencia,
de sus buenos deseos y de todo el cariño
que me dieron durante estos años.*

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Ing. Hemerson Lizarbe Alarcón, por su asesoría académica brindada durante el desarrollo de esta tesis. Gracias por su exigencia y por orientar este trabajo de investigación con tanta claridad.

Al Msc. Ing. Víctor Bellido Aedo, por su valiosa disposición y consejos. Gracias por ayudarme a pulir el enfoque de mi investigación y por compartir su conocimiento conmigo; su mentoría hizo que este proceso fuera de mucho más aprendizaje.

Al Mg. Ing. Abner Curi Vega, por su labor como jurado evaluador. Le agradezco el interés puesto en este proyecto y las sugerencias brindadas, las cuales fueron muy importantes para la culminación de mi tesis.

Al Ing. Arturo Delgado Baldeón y a su laboratorio *Delay-Ingenieros*, por el excelente soporte técnico brindado. Gracias por realizar los ensayos de laboratorio con tanto profesionalismo; su ayuda fue vital para contar con los datos reales que permitieron desarrollar esta investigación.

Finalmente, no quiero cerrar esta etapa sin dar las gracias a mi familia, a mis amigos, conocidos y a todas aquellas personas que me dieron una mano de forma desinteresada. Gracias a todos los que de alguna manera me animaron a seguir adelante, por su buena energía y por acompañarme en este viaje.

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo determinar la influencia de la diatomita calcinada en la plasticidad, los parámetros de compactación Proctor Modificado y la capacidad de soporte de una subrasante arcillosa ubicada en la carretera AP-102, sector Sarahuarcay, región Apurímac. El estudio se desarrolló con material procedente de la calicata crítica C-02, seleccionada por representar la condición más desfavorable del tramo evaluado.

El trabajo experimental se realizó bajo un Diseño Completamente Aleatorizado, considerando cinco niveles de adición de diatomita calcinada: 0 %, 3 %, 6 %, 9 % y 12 %, con tres repeticiones por tratamiento. Se efectuaron ensayos de límites de Atterberg, Proctor Modificado y CBR en condición remojada durante 96 horas, de acuerdo con normas ASTM y el Manual de Ensayo de Materiales del MTC. Asimismo, los resultados fueron analizados mediante estadística descriptiva, ANOVA de un factor y prueba de Tukey, con un nivel de significancia de 0.05.

Los resultados mostraron que, a medida que aumentó el contenido de diatomita calcinada, el índice de plasticidad disminuyó de manera progresiva, el óptimo contenido de humedad aumentó y la máxima densidad seca se redujo. En cuanto a la capacidad de soporte, el CBR remojado presentó una mejora importante respecto al suelo natural, tanto al 95 % como al 100 % de la MDS. El mayor promedio de CBR se obtuvo con 6 % de diatomita calcinada; aunque su comportamiento fue estadísticamente similar al 9 % en algunas comparaciones, el 6 % se consideró el contenido más eficiente por alcanzar el mayor desempeño con menor consumo de aditivo. En conjunto, se concluye que la diatomita calcinada mejoró favorablemente el comportamiento geotécnico de la subrasante arcillosa evaluada, dentro de las condiciones de laboratorio estudiadas.

Los resultados se interpretan como evidencia experimental del suelo evaluado y pueden servir como antecedente técnico para subrasantes arcillosas de comportamiento geotécnico similar, siempre que se verifiquen previamente las propiedades del suelo y del aditivo en el nuevo contexto de aplicación.

Palabras clave: diatomita calcinada, subrasante arcillosa, índice de plasticidad, Proctor Modificado, CBR remojado, ingeniería vial.

ABSTRACT

This research aimed to determine the influence of calcined diatomite on the plasticity, Modified Proctor compaction parameters, and bearing capacity of a clayey subgrade located on the AP-102 road, Sarahuarcay sector, Apurímac region. The study was carried out using material obtained from the critical test pit C-02, selected for representing the most unfavorable condition within the evaluated section.

The experimental program was conducted under a Completely Randomized Design, considering five levels of calcined diatomite addition: 0 %, 3 %, 6 %, 9 %, and 12 %, with three repetitions per treatment. Atterberg limits, Modified Proctor, and soaked CBR tests were performed under ASTM standards and the Peruvian MTC Materials Testing Manual. The results were analyzed through descriptive statistics, one-way ANOVA, and Tukey's post hoc test, using a significance level of 0.05.

The results showed that, as the calcined diatomite content increased, the plasticity index progressively decreased, the optimum moisture content increased, and the maximum dry density decreased. Regarding bearing capacity, soaked CBR values showed a clear improvement compared to the natural soil, both at 95 % and 100 % of maximum dry density. The highest average CBR value was obtained with 6 % calcined diatomite. Although its behavior was statistically similar to the 9 % treatment in some comparisons, the 6 % content was considered the most efficient because it achieved the highest performance with lower additive consumption. Overall, it is concluded that calcined diatomite favorably improved the geotechnical behavior of the evaluated clayey subgrade under the laboratory conditions considered in this study.

The results are interpreted as experimental evidence for the evaluated soil and may serve as a technical reference for clayey subgrades with similar geotechnical behavior, provided that the soil and additive properties are previously verified for the new application context.

Keywords: calcined diatomite, clayey subgrade, plasticity index, Modified Proctor, soaked CBR, pavement engineering.

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
RESUMEN.....	IV
ABSTRACT	V
ÍNDICE	VI
LISTA DE FIGURAS	X
LISTA DE TABLAS.....	XII
INTRODUCCIÓN	XIV
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.	1
1.2 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.	5
1.2.1 Espacial.....	5
1.2.2 Temporal.....	6
1.3 TEMÁTICA Y UNIDAD DE ANÁLISIS.....	6
1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.	6
1.5 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.	7
1.6 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	7
1.7 ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN.....	8
1.8 OBJETIVOS.....	9
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	10
2.1 ANTECEDENTES.....	10
2.1.1 Investigaciones internacionales.	10
2.1.2 Investigaciones nacionales.	11
2.1.3 Síntesis crítica de antecedentes y vacío de investigación.....	12
2.1.4 Criterio de transferibilidad técnica de los resultados.....	12
2.2 BASES TEÓRICAS	14
2.2.1 Subrasante en carreteras: contexto y desempeño.....	14
2.2.1.1 Función estructural de la subrasante en pavimentos.....	14
2.2.1.2 Rol del CBR en el dimensionamiento y sus alcances	15
2.2.1.3 Frecuencia mínima de exploración geotécnica mediante calicatas.....	15
2.2.2 SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE.....	16
2.2.2.1 Clasificación SUCS/AASHTO de suelos finos de subrasante	17
Sistema SUCS para suelos finos	17
Sistema AASHTO para subrasantes.....	18
2.2.2.2 Propiedades índice relevantes para el diseño (granulometría, LL, LP, IP)	18
2.2.3 Plasticidad	19
2.2.3.1 Fundamentos de los Límites de Atterberg (LL, LP, IP).....	19
2.2.3.2 Implicaciones de la plasticidad en el comportamiento de la subrasante.....	19
2.2.4 Compactación Proctor	20
2.2.4.1 Teoría de la compactación: energía, MDS y OCH	21
2.2.5 CAPACIDAD PORTANTE POR CBR.....	21
2.2.5.1 Fundamento del CBR y parámetros medidos	22
2.2.5.2 Variables que sensibilizan el CBR (densidad, humedad, remojo, estructura)	22
2.2.6 Aditivos silíceos finos y diatomita calcinada	23

2.2.6.1 Diatomita: origen, morfología (frústulas) y propiedades físicas	23
2.2.6.2 Disponibilidad de diatomita en el Perú y fuente regional	24
2.2.6.3 Calcinación de la diatomita	25
Zona térmica recomendada y su justificación teórica (700 °C en 2 h)	25
Cristalinidad y reactividad puzolánica del SiO ₂	27
2.2.6.4 Mecanismos de acción en suelos arcillosos: puzolanidad, efecto “filler”, refinamiento de poros, floculación/aglomeración	27
CAPÍTULO III MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN	29
3.1 ENFOQUE	29
3.2 ALCANCE	29
3.3 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	30
3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA	30
3.4.1 Población	30
3.4.2 Muestra	31
3.4.3 Justificación del número de repeticiones y unidades experimentales	33
3.5 HIPÓTESIS	34
3.5.1 Hipótesis general	34
3.5.2 Hipótesis específicas	34
3.6 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	35
3.7 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	35
3.7.1 Plasticidad (LL, LP, IP)	36
3.7.2 Compactación (OCH y MDS)	36
3.7.3 Capacidad de soporte (CBR)	36
3.8 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	37
3.8.1 Estadística descriptiva	37
3.8.2 Verificación de supuestos del análisis paramétrico	37
3.8.3 Análisis inferencial (ANOVA)	37
3.8.4 Comparaciones múltiples	38
3.8.5 Análisis complementario de tendencia	38
3.8.6 Tamaño del efecto	38
3.8.7 Software utilizado	38
3.9 DESARROLLO DEL TRABAJO DE TESIS	39
3.9.1 Localización del proyecto y delimitación del área de estudio	40
3.9.1.1 Ubicación geográfica del proyecto	40
3.9.1.2 Ubicación de los puntos de muestreo (calicatas C-01 a C-04)	42
3.9.2 Trabajo de campo: reconocimiento geotécnico y muestreo de la subrasante	43
3.9.2.1 Excavación de calicatas y descripción del suelo	43
3.9.2.2 Muestreo y selección de la calicata crítica	44
3.9.3 Preparación y control del aditivo (diatomita calcinada)	46
3.9.3.1 Obtención de diatomita y acondicionamiento físico previo	46
3.9.3.2 Calcinación controlada de la diatomita	48
3.9.3.3 Molienda y control de finura del aditivo	48
3.9.3.4 Caracterización física, química y mineralógica de la diatomita calcinada	50
3.9.4 Aplicación del diseño experimental (Diseño Completamente Aleatorizado – DCA)	53
3.9.4.1 Tratamientos (niveles del factor)	53
3.9.4.2 Unidades experimentales y repeticiones	54
3.9.4.3 Preparación estandarizada de mezclas (suelo–diatomita)	54
Aleatorización	55
3.9.5 Programa de ensayos de laboratorio para la evaluación de variables dependientes	55
3.9.5.1 Ensayo de límites de Atterberg (variable dependiente: LL, LP e IP)	56
Normas de referencia	56
Objetivo del ensayo	56
Procedimiento del ensayo	56
3.9.5.2 Ensayo de compactación Proctor (variable dependiente: OCH y MDS)	60
Normas de referencia	60
Objetivo del ensayo	60

Procedimiento del ensayo.....	60
3.9.5.3 Ensayo CBR de suelos compactados en laboratorio (CBR remojado y expansión)	63
Normas de referencia	63
Objetivo del ensayo.....	63
Procedimiento del ensayo.....	63
3.10 CONTROL DE CALIDAD, TRAZABILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD EXPERIMENTAL	66
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	67
4.1 RESULTADOS COMPARATIVOS DE LA CARACTERIZACIÓN INICIAL DE LA SUBRASANTE.....	67
4.1.1 <i>Resultados de clasificación y propiedades índice por calicata</i>	67
4.1.2 <i>Resultados granulométricos por calicata</i>	68
4.1.3 <i>Identificación de la calicata crítica</i>	69
4.2 ANÁLISIS DESCRIPTIVO	71
4.2.1 <i>Resultados de los límites de plasticidad</i>	71
4.2.1.1 Resultados del límite líquido (LL), límite plástico (LP) e índice de plasticidad (IP) por tratamiento y repetición	71
4.2.1.2 Estadísticos descriptivos de los parámetros de plasticidad	72
4.2.1.3 Análisis descriptivo del comportamiento de la plasticidad.....	74
4.2.2 <i>Resultados del ensayo Proctor Modificado</i>	75
4.2.2.1 Curvas de compactación por tratamiento	75
4.2.2.2 Análisis descriptivo del comportamiento de compactación	78
4.2.3 <i>Resultados del CBR por tratamiento y repetición (condición remojada 96 h)</i>	79
4.2.3.1 Estadísticos descriptivos del CBR por tratamiento (condición remojada 96 h)	79
4.2.3.2 Representación gráfica del CBR en función del contenido de diatomita calcinada	80
4.2.3.3 Análisis descriptivo del comportamiento del CBR (condición remojada 96 h)	81
4.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO INFERENCIAL Y CONTRASTE DE HIPÓTESIS	81
4.3.1 <i>Modelo estadístico y criterio de decisión</i>	81
4.3.2 <i>Verificación de los supuestos del ANOVA</i>	81
4.3.2.1 Independencia	81
4.3.2.2 Normalidad de residuos (Shapiro–Wilk)	82
4.3.2.3 Homogeneidad de varianzas (Levene)	82
4.3.3 <i>Contraste de hipótesis estadísticas por variable dependiente</i>	83
4.3.3.1 Contraste de hipótesis para la plasticidad (IP)	83
Hipótesis estadísticas contrastadas	83
ANOVA para IP	84
Tukey (HSD) para IP	84
Conclusión inferencial para la plasticidad	84
4.3.3.2 Contraste de hipótesis para los parámetros de compactación Proctor Modificado	85
Hipótesis estadísticas contrastadas	85
a) Óptimo contenido de humedad	85
b) Máxima densidad seca	86
Conclusión inferencial para los parámetros de compactación Proctor	87
4.3.3.3 Contraste de hipótesis para la capacidad de soporte (CBR remojado).....	87
Hipótesis estadísticas contrastadas	87
a) CBR al 95 % de la MDS (condición remojada 96 h)	87
b) CBR al 100 % de la MDS (condición remojada 96 h)	88
Conclusión inferencial para la capacidad de soporte (CBR).....	89
4.3.4 <i>Análisis de tendencia de las variables en función del contenido de diatomita calcinada</i> ...	89
4.3.5 <i>Magnitud del efecto del contenido de diatomita calcinada (η^2 y ω^2)</i>	91
4.4 DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	92
CAPÍTULO V CONCLUSIONES	98
CAPÍTULO VI RECOMENDACIONES	100
FUTURAS INVESTIGACIONES	102
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	103

LISTA DE ABREVIATURAS	110
GLOSARIO.....	111
ANEXOS	112
A.1 MATRIZ DE CONSISTENCIA	112
A.2 MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	113
A.3 PLANO DE UBICACIÓN	114
A.4 COMPARACIÓN REFERENCIAL DE DESEMPEÑO ENTRE DIATOMITA CALCINADA, CAL Y CEMENTO	115
A.5 COMPARACIÓN REFERENCIAL DE HUELLA DE CO ₂ INCORPORADO ENTRE DIATOMITA CALCINADA, CAL Y CEMENTO.....	117
A.6 ANÁLISIS REFERENCIAL DE COSTO Y COSTO-EFECTIVIDAD DE LA DIATOMITA CALCINADA.....	119
A.6.1 <i>Distancia de acarreo considerada</i>	119
A.6.2 <i>Costo referencial de diatomita calcinada puesta en obra</i>	119
A.6.3 <i>Comparación con cemento Portland tipo I y cal hidratada</i>	121
A.6.4 <i>APU simplificado de aplicación básica en obra</i>	122
A.6.5 <i>Sensibilidad económica de la diatomita calcinada</i>	124
A.6.6 <i>Costo-efectividad respecto al CBR</i>	125
A.7 ENSAYOS FÍSICOS DE LA DIATOMITA CALCINADA	126
A.8 ENSAYOS MINERALÓGICOS Y QUÍMICOS DE LA DIATOMITA CALCINADA	131
A.9 RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA CON DIATOMITA CALCINADA.....	136
A.10 CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS UTILIZADOS EN LOS ENSAYOS DE LA DIATOMITA CALCINADA	224
A.11 CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS UTILIZADOS EN LOS ENSAYOS DE SUELO CON DIATOMITA CALCINADA	228

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Distribución porcentual estimada de la red vial global según tipo de superficie.....	1
Figura 2 América Latina: condición general de caminos rurales (buen estado vs. mal estado).....	2
Figura 3 Perú: composición de la red vial secundaria y terciaria por tipo de superficie	2
Figura 4 Tipo de superficie de rodadura por departamento (2022): Apurímac.....	3
Figura 5 Condición de transitabilidad de la carretera AP-102 en el sector Sarahuacay, distrito de Ocobamba.....	4
Figura 6 Sección transversal típica y ubicación de la subrasante en una carretera no pavimentada (afirmado)	14
Figura 7 Microestructura de la diatomita observada mediante microscopía electrónica de barrido (SEM).....	24
Figura 8 Mecanismos conceptuales de acción de la diatomita calcinada en suelos arcillosos	28
Figura 9 Flujo de análisis estadístico bajo DCA.....	39
Figura 10 Esquema general del desarrollo metodológico del trabajo de tesis.....	40
Figura 11 Ubicación del área de estudio en la carretera AP-102 (km 26+000 – km 29+000), sector Sarahuacay, distrito de Ocobamba, región Apurímac.	41
Figura 12 Ubicación del tramo de estudio de la carretera AP-102 entre las progresivas km 26+000 y km 29+000.....	42
Figura 13 Calicatas C-01 a C-04: evidencia fotográfica de excavación en el tramo evaluado	44
Figura 14 Transporte de muestras de las calicatas C-01, C-02, C-03 y C-04.....	45
Figura 15 Vertido de muestra sobre tamices normalizados para el ensayo de análisis granulométrico	45
Figura 16 Extracción de diatomita en cantera Tambillo (muestra base del aditivo)46	
Figura 17 Proceso de molienda de la diatomita natural en molino	47
Figura 18 Diatomita natural luego del proceso de molienda	47
Figura 19 Calcinación de diatomita en horno tipo mufla (700 °C, 2 h).....	48
Figura 20 Muestra de diatomita calcinada (aditivo listo para mezclas).....	49
Figura 21 Control de finura del aditivo: diatomita calcinada pasante por malla N.° 325 en suspensión acuosa.....	49
Figura 22 Difractograma de rayos X de la diatomita calcinada de la cantera Tambillo	52
Figura 23 Pesaje de diatomita calcinada para la preparación de mezclas suelo–aditivo.....	54
Figura 24 Preparación de muestras de suelo–diatomita calcinada para el ensayo de límites de Atterberg (LL–LP–IP).....	55

Figura 25	Especímenes preparados para los ensayos de límites de consistencia	56
Figura 26	Muestra de material acondicionada con agua para ensayo	57
Figura 27	Ensayo de Límite Líquido: material ranurado en la copa de Casagrande	57
Figura 28	Ensayo de límite líquido (LL): secado de la muestra en horno	58
Figura 29	Ensayo de LP: conformación de barritas (rollitos) del suelo	58
Figura 30	Ensayo de LP: barritas en condición de desmoronamiento.....	59
Figura 31	Ensayos de plasticidad: pesado de muestras en balanza analítica.....	59
Figura 32	Acondicionamiento de muestras para el ensayo Proctor modificado.....	60
Figura 33	Ensayo Proctor Modificado: adición controlada de agua a la muestra ..	61
Figura 34	Ensayo Proctor Modificado: compactación de la muestra por capas	61
Figura 35	Pesaje de especímenes para determinación de humedad en el ensayo Proctor modificado	62
Figura 36	Ensayo Proctor Modificado: secado de muestras en horno	62
Figura 37	Compactación del material para el ensayo CBR con distintas energías de compactación	64
Figura 38	Medición de expansión del espécimen en el ensayo CBR	64
Figura 39	Aplicación de la carga de penetración en el ensayo CBR	65
Figura 40	Muestras compactadas con 12, 25 y 56 golpes luego del ensayo de penetración	65
Figura 41	Curvas granulométricas superpuestas de las calicatas C-01 a C-04	69
Figura 42	Variación del LL en función del contenido de diatomita calcinada	73
Figura 43	Variación del LP en función del contenido de diatomita calcinada	73
Figura 44	Variación del IP en función del contenido de diatomita calcinada	74
Figura 45	Curvas de compactación del ensayo Proctor Modificado	75
Figura 46	Variación del OCH en función del contenido de diatomita calcinada	77
Figura 47	Variación de la MDS en función del contenido de diatomita calcinada ..	78
Figura 48	Variación del CBR al 95 % y 100 % MDS en función del contenido de diatomita calcinada (condición remojada 96 h).....	80
Figura 49	Comparación relativa de plasticidad, compactación y capacidad de soporte al 6 % de aditivo	116
Figura 50	Huella de CO ₂ incorporado de diatomita calcinada, cal y cemento a 6 % de dosificación	118
Figura 51	Comparación referencial del costo directo con aplicación básica en obra	123

LISTA DE TABLAS

Tabla 1	Tipos de subrasante según el CBR (%).....	15
Tabla 2	Frecuencia mínima de exploración geotécnica mediante calicatas según la clasificación de la vía	16
Tabla 3	Criterios SUCS típicos para suelos finos (fracción que pasa tamiz N.º 200 predominante)	17
Tabla 4	Criterios AASHTO (M 145) para suelos finos de subrasante (fracción fina > 35 % pasando el tamiz N.º 200)	18
Tabla 5	Clasificación de suelos según el índice de plasticidad	20
Tabla 6	Recursos referenciales de diatomita reportados en el Perú	25
Tabla 7	Condiciones de calcinación de la diatomita reportadas en la literatura y criterios para evitar la recristalización de la sílice	26
Tabla 8	Criterios de similitud para el uso referencial de los resultados	32
Tabla 9	Variables e indicadores	35
Tabla 10	Normas técnicas empleadas y alcance de aplicación	36
Tabla 11	Ubicación de calicatas para muestreo de subrasante	42
Tabla 12	Ficha resumida de calicata y estratigrafía	43
Tabla 13	Propiedades físicas y de control de la diatomita calcinada	50
Tabla 14	Parámetros químicos complementarios de la diatomita calcinada	50
Tabla 15	Comparación referencial de la composición química en óxidos de la diatomita natural y calcinada de la cantera Tambillo	51
Tabla 16	Antecedentes recientes usados para justificar el rango de dosificación ..	53
Tabla 17	Resultados comparativos de clasificación y propiedades índice por calicata	68
Tabla 18	Resumen granulométrico por calicata (grava, arena y finos)	68
Tabla 19	Resumen del CBR y expansión registrada en la calicata C-02 patrón	70
Tabla 20	Resultados de los límites de Atterberg por tratamiento y repetición	71
Tabla 21	Estadísticos descriptivos de los límites de plasticidad por tratamiento....	72
Tabla 22	Resultados del ensayo Proctor Modificado por tratamiento y repetición .	76
Tabla 23	Estadísticos descriptivos del ensayo Proctor Modificado por tratamiento	77
Tabla 24	Resultados del ensayo CBR por tratamiento y repetición (condición remojada 96 h)	79
Tabla 25	Estadísticos descriptivos del ensayo CBR por tratamiento (condición remojada 96 h)	80
Tabla 26	Prueba de Shapiro–Wilk para normalidad de residuos ($\alpha = 0.05$)	82
Tabla 27	Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas ($\alpha = 0.05$)	82
Tabla 28	ANOVA de un factor para el IP	84
Tabla 29	Comparación de medias del IP mediante la prueba de Tukey	84

Tabla 30	ANOVA de un factor para el OCH	85
Tabla 31	Comparación de medias del OCH mediante la prueba de Tukey.....	86
Tabla 32	ANOVA de un factor para MDS.....	86
Tabla 33	Comparación de medias de la MDS mediante la prueba de Tukey.....	86
Tabla 34	ANOVA de un factor para CBR al 95 % de la MDS (remojado 96 h)	87
Tabla 35	Comparación de medias del CBR al 95 % de la MDS mediante la prueba de Tukey	88
Tabla 36	ANOVA de un factor para CBR al 100 % de la MDS (remojado 96 h)	88
Tabla 37	Comparación de medias del CBR al 100 % de la MDS mediante la prueba de Tukey	89
Tabla 38	Modelos complementarios de tendencia de las variables evaluadas	90
Tabla 39	Tamaño del efecto y sensibilidad estadística del contenido de diatomita calcinada por variable	91
Tabla 40	Matriz de consistencia	112
Tabla 41	Matriz de operacionalización de variables	113
Tabla 42	Comparación relativa de desempeño al 6 % de aditivo	115
Tabla 43	Parámetro referencial de huella de CO ₂ incorporada.....	117
Tabla 44	Distancia referencial de acarreo de diatomita desde Tambillo hasta Sarahuarcay.....	119
Tabla 45	APU referencial de diatomita calcinada puesta en obra	120
Tabla 46	Equipos referenciales requeridos para producir diatomita calcinada	120
Tabla 47	Precio referencial de aditivos tradicionales.....	121
Tabla 48	Comparación referencial del costo del aditivo por tonelada de suelo tratado al 6 %	121
Tabla 49	APU simplificado para suministro, dosificación y extendido de diatomita calcinada al 6 %	122
Tabla 50	Comparación referencial incluyendo aplicación básica en obra	123
Tabla 51	Sensibilidad del costo de diatomita calcinada puesta en obra, incluyendo aplicación básica.....	124
Tabla 52	Costo-efectividad de la diatomita calcinada al 6 %, incluyendo aplicación básica.....	125

INTRODUCCIÓN

Las subrasantes arcillosas representan una condición problemática en ingeniería vial debido a su alta sensibilidad a la humedad y a su limitada capacidad de soporte. Cuando el contenido de agua aumenta, este tipo de suelo puede perder estabilidad, deformarse con mayor facilidad y acelerar el deterioro de la estructura vial, especialmente en caminos con drenaje deficiente o expuestos a condiciones climáticas variables.

Frente a esta situación, el mejoramiento de suelos se ha desarrollado tradicionalmente mediante estabilización con cal, cemento o procedimientos mecánicos. Sin embargo, últimamente ha cobrado interés el uso de materiales alternativos que, además de mejorar el comportamiento del suelo, puedan resultar viables desde el punto de vista local y técnico. En ese sentido, la diatomita calcinada se presenta como una alternativa de interés por su naturaleza silícea, su finura y su posible influencia sobre la plasticidad, la compactación y la capacidad de soporte de los suelos finos.

En la carretera AP-102, sector Sarahuarcay, en la región Apurímac, se identificaron tramos con subrasante arcillosa de comportamiento desfavorable, dados por elevada plasticidad y baja capacidad de soporte. A partir de la evaluación inicial del tramo, se seleccionó como muestra base el material de la calicata C-02, por representar la condición más crítica dentro del área estudiada.

Sobre esa base, la presente investigación tuvo como objetivo determinar la influencia de la diatomita calcinada en la plasticidad del suelo, en los parámetros de compactación Proctor Modificado y en la capacidad de soporte medida mediante el ensayo CBR en condición remojada. Para ello, se trabajó con cinco niveles de adición del material, correspondientes a 0 %, 3 %, 6 %, 9 % y 12 %, bajo un Diseño Completamente Aleatorizado y con ensayos ejecutados conforme a normas ASTM y al Manual de Ensayo de Materiales del MTC.

Los resultados obtenidos permiten aportar evidencia experimental sobre el comportamiento de un suelo arcilloso de subrasante tratado con diatomita calcinada en un caso real de la red vial regional. En ese sentido, el estudio busca contribuir con información técnica útil para evaluar alternativas de mejoramiento en suelos con características geotécnicas similares. No obstante, los resultados no se plantean como una dosificación universal, sino como un antecedente técnico que requiere verificación de laboratorio antes de ser aplicado en otros contextos.

Capítulo I

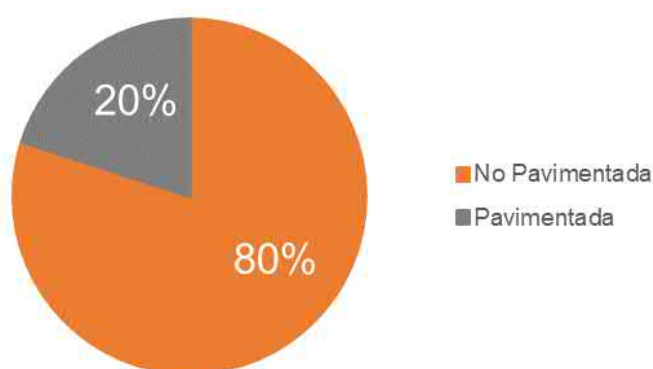
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.

A nivel mundial, una parte importante de la infraestructura vial se construye sobre suelos con comportamiento desfavorable y una gran proporción de la red corresponde a vías no pavimentadas (World Bank, 2016). Estudios recientes indican que aproximadamente el 80 % de las carreteras en el mundo no están pavimentadas, y que en países en desarrollo esta cifra puede llegar hasta el 90 % (Kamara et al., 2025). En estos contextos, las lluvias afectan de manera directa la estabilidad de las vías, ya que la pérdida de soporte y la erosión generan barro y deformaciones que dificultan la transitabilidad (Workman et al., 2023).

Figura 1

Distribución porcentual estimada de la red vial global según tipo de superficie



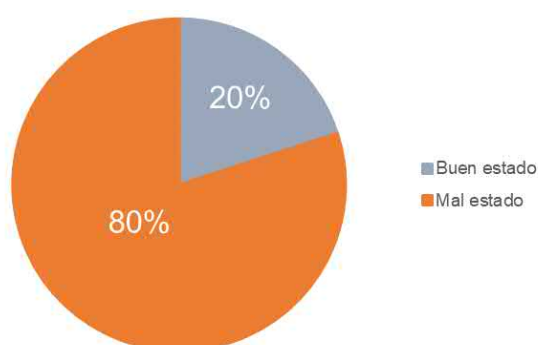
Nota. Elaboración propia con base en datos de (Kamara et al., 2025).

En América Latina, la transitabilidad rural sigue siendo un problema importante. Según la CAF – Banco de Desarrollo de América Latina y el Caribe (2024), menos del 20 % de los caminos rurales se encuentra en buen estado, lo que muestra una

clara falta de mantenimiento y mejora de la infraestructura. Esta situación es más delicada cuando las vías se construyen sobre suelos finos, como arcillas y limos, que son sensibles al agua. Cuando aumenta la humedad, disminuye la succión del suelo y también su resistencia al corte, lo que genera más deformaciones en la subrasante (Lu & Likos, 2006). Por eso, en temporada de lluvias, la superficie de rodadura se deteriora más rápido y la transitabilidad se ve afectada.

Figura 2

América Latina: condición general de caminos rurales (buen estado vs. mal estado)

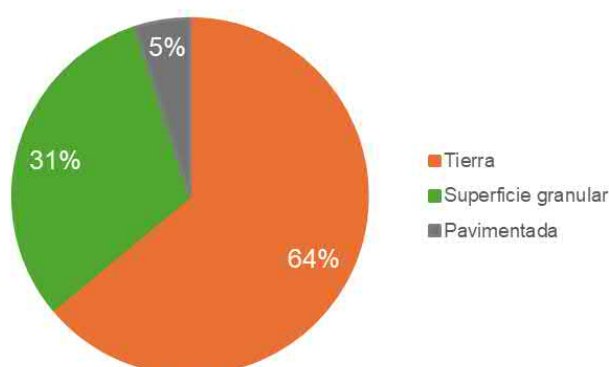


Nota. Representación elaborada con base en el informe de CAF (2024) que indica que menos del 20 % de los caminos rurales en los países evaluados se encuentra en buen estado.

En el Perú, la red vial secundaria y terciaria sigue siendo bastante vulnerable. Según CAF (2024), solo el 5 % de la red departamental y local está pavimentada; el 31 % tiene superficie granular y el 64 % corresponde a vías de tierra. En la práctica, esto significa que muchos caminos dependen del comportamiento de la subrasante y de un mantenimiento constante. Cuando llegan las lluvias, el aumento de humedad en suelos finos como arcillas y limos reduce su resistencia, y por eso aparecen más deformaciones y tramos intransitables con mayor facilidad (Lu & Likos, 2006).

Figura 3

Perú: composición de la red vial secundaria y terciaria por tipo de superficie

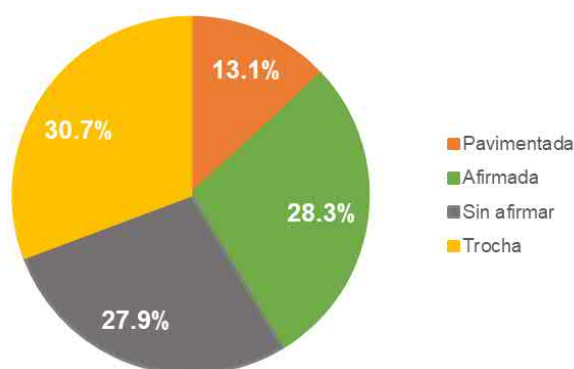


Nota. Distribución de superficie de rodadura de la red vial departamental y local: pavimentada (5 %), granular (31 %) y tierra (64 %). Adaptado de CAF (2024).

A nivel regional, la situación es similar. Según la información oficial del Sistema Nacional de Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC] (2022), en Apurímac la mayor parte de las vías no está pavimentada. La red se distribuye en aproximadamente 13.1 % pavimentada, 28.3 % afirmada, 27.9 % sin afirmar y 30.7 % de trocha. Estos datos muestran que gran parte de la conectividad del departamento depende del comportamiento de la subrasante y del mantenimiento que se realice en las vías.

Figura 4

Tipo de superficie de rodadura por departamento (2022): Apurímac



Nota. Elaboración basada en la base de datos del Sistema Nacional de Carreteras del MTC (2022).

La problemática de la infraestructura vial peruana también se observa en la necesidad constante de ejecutar labores de mantenimiento y atención de emergencias en distintas regiones del país. En ese sentido, el Congreso de la República del Perú (2025) informó que funcionarios del Ministerio de Transportes y Comunicaciones dieron cuenta de acciones de control y mantenimiento en vías dañadas por eventos que afectan la infraestructura vial en diversas regiones. De manera complementaria, estudios sobre caminos no pavimentados muestran que la lluvia y la erosión aceleran el desgaste superficial y la pérdida de material, especialmente cuando intervienen pendientes y suelos susceptibles, lo que termina afectando la estabilidad de la vía y la transitabilidad (Valencia-Gallego & Montoya, 2024).

En este contexto, la carretera AP-102, en el tramo comprendido entre Ocobamba y Sarahuarcay, presenta afectaciones recurrentes asociadas a las lluvias, la inestabilidad del terreno y el deterioro de la plataforma vial. De acuerdo con el COEN-INDECI (2021), las lluvias intensas registradas en la localidad de Sarahuarcay generaron derrumbes en distintos puntos y afectaron la transitabilidad vehicular en la ruta departamental AP-102. Asimismo, dicho reporte señala que fue necesaria la

intervención con maquinaria pesada para la limpieza y rehabilitación de la vía, manteniéndose labores de atención debido a la inestabilidad del suelo y a la ocurrencia constante de derrumbes.

Figura 5

Condición de transitabilidad de la carretera AP-102 en el sector Sarahuar cay, distrito de Ocobamba



Nota. Imagen de la atención de emergencia vial en el sector Sarahuar cay. Fuente: Municipalidad Distrital de Ocobamba - Gestión 2023/2026 (2026), publicación en Facebook.

Como se aprecia en la Figura 5, la acumulación de lodo y la saturación de la superficie afectan directamente la transitabilidad y obligan a intervenciones continuas para restablecer el paso vehicular. Esta imagen refuerza la problemática del tramo estudiado, ya que muestra una vía expuesta a condiciones desfavorables de humedad y a la pérdida de estabilidad de su plataforma. En ese sentido, el problema no solo se relaciona con la aparición de lluvias, sino también con el comportamiento desfavorable del suelo de fundación frente al incremento de humedad, lo que justifica evaluar alternativas de mejoramiento para la subrasante arcillosa.

En resumen, el problema principal está en la baja capacidad portante y el comportamiento poco favorable de la subrasante arcillosa en el sector Sarahuar cay (AP-102), especialmente cuando aumenta la humedad. En suelos finos, el incremento de agua reduce la resistencia y afecta la estabilidad de la vía (Lu & Likos, 2006). Por ello, esta investigación propone modificar la subrasante con diatomita calcinada y evaluar su influencia en el índice de plasticidad (IP), en los parámetros del Proctor Modificado y en el CBR remojado, como alternativa para mejorar el desempeño de caminos rurales, de manera similar a otros estudios donde se emplean materiales de naturaleza puzolánica para estabilizar suelos (Çokça, 2001).

1.2 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.

1.2.1 Espacial.

La investigación se desarrolla entre las progresivas km 26+000 y km 29+000 de la carretera AP-102, en el sector Sarahuarcay, distrito de Ocobamba, provincia de Chincheros, región Apurímac. Este tramo de aproximadamente 3 km fue seleccionado por criterio de criticidad, debido a que se ubica dentro de un sector donde se han reportado problemas recurrentes de transitabilidad asociados a lluvias, derrumbes, saturación de la plataforma y deterioro de la vía.

La elección del tramo se sustentó, en primer lugar, en antecedentes de afectación vial registrados en el sector Sarahuarcay. El COEN-INDECI reportó que las lluvias intensas ocurridas en abril de 2021 generaron derrumbes en distintos puntos, afectando la transitabilidad vehicular en la ruta departamental AP-102, localidad de Sarahuarcay, distrito de Ocobamba (COEN-INDECI, 2021). Asimismo, en abril de 2025 se registró un nuevo deslizamiento que afectó la infraestructura de transporte en la vía AP-102, tramo Andahuaylas-Ocobamba, comunidad de Sarahuarcay, con afectación de 300 m de vía y necesidad de intervención con maquinaria pesada para la limpieza y rehabilitación del tránsito (COEN-INDECI, 2025).

En segundo lugar, la delimitación fue reforzada mediante el reconocimiento de campo y la caracterización geotécnica inicial. En el tramo evaluado se ejecutaron cuatro calicatas, distribuidas entre las progresivas km 26+220 y km 28+500, con el propósito de identificar la variación del material de subrasante. Los resultados permitieron confirmar la presencia de suelos finos y arcillosos en parte del tramo, destacando la calicata C-02 como la condición más desfavorable por su clasificación AASHTO A-7-6 (8), mayor índice de plasticidad y menor valor de CBR respecto a las demás calicatas evaluadas.

Por ello, el tramo km 26+000-km 29+000 no fue seleccionado como una muestra aleatoria de la carretera AP-102, sino como un sector crítico representativo de la problemática identificada en Sarahuarcay. La investigación se delimita a este tramo porque permite evaluar, bajo condiciones controladas de laboratorio, el comportamiento de una subrasante arcillosa de baja capacidad portante y su posible mejoramiento mediante diatomita calcinada.

Esta delimitación espacial corresponde al caso de estudio y a la fuente del material evaluado. No obstante, desde el punto de vista metodológico, la población objetivo de la investigación se define por el tipo de suelo y su comportamiento geotécnico, no únicamente por la ubicación geográfica del tramo.

1.2.2 Temporal.

La investigación tiene un diseño de corte transversal, ya que la recolección de datos se lleva a cabo en un solo momento del tiempo, justo después de preparar las mezclas estabilizadas y realizar los ensayos de laboratorio.

Por tanto, la delimitación temporal se refiere únicamente al periodo en el que se efectuaron los ensayos de laboratorio bajo condiciones controladas, pero no se hizo luego un seguimiento.

1.3 TEMÁTICA Y UNIDAD DE ANÁLISIS.

La **temática del estudio** se limita a evaluar la influencia de la diatomita calcinada como aditivo de mejoramiento sobre tres propiedades geotécnicas de un suelo arcilloso de subrasante: plasticidad, parámetros de compactación Proctor Modificado y capacidad de soporte mediante CBR remojado.

El suelo base corresponde a un material arcilloso de subrasante clasificado como CL según SUCS y A-7-6 según AASHTO, con plasticidad media, predominio de finos y baja capacidad de soporte. Por ello, los resultados se interpretan dentro de ese dominio geotécnico y no como una generalización automática a todos los suelos arcillosos ni a toda la red vial.

La **unidad de análisis** está constituida por cada probeta o muestra de laboratorio preparada con un porcentaje específico de diatomita calcinada y sometida a los ensayos de límites de Atterberg, Proctor Modificado y CBR. Estas unidades experimentales permiten evaluar el efecto del tratamiento bajo condiciones controladas, de acuerdo con el Diseño Completamente Aleatorizado empleado en la investigación.

1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

Problema general.

¿Cuál es el efecto de incorporar diatomita calcinada, en contenidos de 0 %, 3 %, 6 %, 9 % y 12 %, sobre el índice de plasticidad, los parámetros de compactación Proctor Modificado y el CBR remojado de un suelo arcilloso de subrasante tipo CL/A-7-6, de plasticidad media y baja capacidad de soporte, representado por la calicata crítica C-02 de la carretera AP-102, sector Sarahuarcay, Apurímac?

Problemas específicos.

- ¿Cómo varía el índice de plasticidad del suelo arcilloso de subrasante evaluado al incorporar diatomita calcinada en contenidos de 0 %, 3 %, 6 %, 9 % y 12 %?

- ¿Cómo varían el óptimo contenido de humedad y la máxima densidad seca del suelo arcilloso de subrasante tratado con diatomita calcinada, según el ensayo Proctor Modificado?
- ¿Cómo varía el CBR remojado, al 95 % y 100 % de la MDS, del suelo arcilloso de subrasante tratado con diatomita calcinada?

1.5 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.

El presente estudio se justifica científicamente porque aporta evidencia experimental sobre el comportamiento de una subrasante arcillosa modificada con diatomita calcinada. Este material presenta alto contenido de SiO_2 , elevada finura y características físicas que pueden influir en la plasticidad, la compactación y la capacidad de soporte del suelo. En ese sentido, la investigación permite analizar si un material silíceo de disponibilidad regional puede mejorar el desempeño de un suelo fino empleado como subrasante vial. Desde el punto de vista metodológico, el trabajo se sustenta en un diseño completamente aleatorizado, con cinco contenidos de diatomita calcinada y tres repeticiones por tratamiento. Los ensayos se realizaron con procedimientos normalizados ASTM y MTC, y los resultados fueron evaluados mediante estadística descriptiva, ANOVA de un factor y prueba de Tukey. De esta manera, la comparación entre tratamientos no queda solo en una interpretación visual, sino que se respalda con criterios estadísticos.

En el ámbito práctico y aplicado, la investigación adquiere relevancia al trabajar con un suelo real de subrasante arcilloso, identificado en la carretera AP-102, sector Sarahuarcay, donde se han registrado problemas de baja capacidad portante y deterioro de la plataforma vial durante periodos de humedad. No obstante, el aporte del estudio no se limita únicamente al tramo evaluado, ya que los resultados pueden emplearse como antecedente técnico para suelos arcillosos con características geotécnicas similares, siempre que se verifiquen previamente la clasificación, plasticidad, granulometría, compactación, CBR y condiciones ambientales del nuevo proyecto. De esta forma, la investigación contribuye a la evaluación de alternativas de mejoramiento para subrasantes arcillosos en caminos de bajo volumen de tránsito, sin reemplazar el diseño de mezcla específico requerido en cada caso.

1.6 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.

La presente investigación se desarrolló bajo condiciones controladas de laboratorio, lo cual permite asegurar una adecuada validez interna de los resultados. Sin embargo, esta condición limita su extrapolación directa a campo, donde intervienen

factores adicionales como las variaciones climáticas, el drenaje, los procedimientos constructivos, el tránsito real y el control de compactación en obra.

Asimismo, la muestra base fue seleccionada mediante muestreo no probabilístico por criterio, eligiéndose la calicata C-02 por representar la condición más desfavorable del tramo. Esta metodología conforme a las normas es técnicamente adecuada para evaluar el rendimiento del tratamiento en una situación crítica, pero restringe la generalización estadística a toda la subrasante del sector.

Por tanto, los resultados no deben extrapolarse de manera directa a todo suelo clasificado como CL o A-7-6, debido a que la clasificación geotécnica agrupa materiales con comportamiento general semejante, pero no garantiza una respuesta idéntica frente a un aditivo. La mineralogía de la arcilla, el contenido real de finos, la plasticidad, la humedad natural, la presencia de sales, el pH, la disponibilidad de calcio y el ambiente climático pueden modificar la respuesta del suelo tratado.

En consecuencia, la dosificación obtenida en esta investigación debe entenderse como un antecedente técnico para suelos de comportamiento similar y no como una receta de aplicación universal. En nuevos contextos, especialmente en costa, selva o zonas altoandinas con condiciones ambientales distintas, se requiere realizar ensayos de verificación antes de adoptar la dosificación.

1.7 ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación se orienta a evaluar el efecto de la diatomita calcinada como modificador físico-químico de la subrasante arcillosa en el sector Sarahuarcay de la carretera AP-102, considerando un enfoque experimental en laboratorio. El estudio abarca la determinación de la plasticidad del suelo mediante el IP, los parámetros de compactación Proctor Modificado (OCH y MDS) y la capacidad de soporte evaluada mediante el ensayo CBR en condición remojada, como indicadores representativos del comportamiento geotécnico de la subrasante.

El alcance experimental se desarrolló bajo un DCA, evaluando cinco niveles de contenido de diatomita calcinada (0 %, 3 %, 6 %, 9 % y 12 %) sobre una muestra representativa de la calicata crítica (C-02), seleccionada por presentar la condición más desfavorable de soporte dentro del tramo. Los ensayos se ejecutaron conforme a normas ASTM y MTC, con tres repeticiones por tratamiento, lo que permitió identificar tendencias y establecer comparaciones estadísticas entre los diferentes niveles de dosificación del aditivo.

En términos aplicables, los resultados son válidos para el suelo arcilloso evaluado y pueden emplearse como antecedente técnico para subrasantes con características geotécnicas y ambientales similares: clasificación CL/A-7-6, plasticidad media, predominio de finos, baja capacidad de soporte y ubicación en contexto andino o interandino de altitud comparable. Su empleo en otros proyectos debe entenderse como una referencia inicial para orientar el diseño experimental, no como una dosificación definitiva, debido a que la estabilización de suelos requiere verificar la respuesta del material específico mediante ensayos de laboratorio.

La delimitación ambiental también es relevante porque el comportamiento de una subrasante tratada no depende únicamente de la clasificación del suelo, sino de las condiciones de humedad, drenaje, temperatura, régimen climático y nivel de exposición al agua. Los manuales de diseño geotécnico de pavimentos consideran estos factores dentro de la caracterización de subrasantes, la selección de medidas de mejoramiento y los insumos ambientales del diseño (Christopher et al., 2006). Por ello, la aplicación de los resultados fuera de un contexto andino o interandino comparable requiere una nueva verificación del suelo, del aditivo y de las condiciones de servicio.

1.8 OBJETIVOS.

Objetivo general.

Evaluar la influencia de la adición de diatomita calcinada, en contenidos de 0 %, 3 %, 6 %, 9 % y 12 %, sobre el índice de plasticidad, el óptimo contenido de humedad, la máxima densidad seca y el CBR remojado de un suelo arcilloso de subrasante tipo CL/A-7-6, de plasticidad media y baja capacidad de soporte, representado por la calicata crítica C-02 de la carretera AP-102, sector Sarahuarcay, Apurímac.

Objetivos específicos.

- Determinar la variación del índice de plasticidad del suelo arcilloso de subrasante evaluado con diatomita calcinada mediante los límites de Atterberg.
- Determinar la variación del óptimo contenido de humedad y la máxima densidad seca del suelo arcilloso de subrasante evaluado con diatomita calcinada mediante el ensayo Proctor Modificado.
- Determinar la variación del CBR remojado al 95 % y 100 % de la MDS, e identificar el contenido de diatomita calcinada con mejor desempeño dentro de los niveles evaluados.

Capítulo II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES.

2.1.1 Investigaciones internacionales.

Chairullah et al. (2022), evaluaron el efecto de la incorporación de tierra de diatomeas en un suelo fino clasificado como SC según el sistema SUCS y A-6 según AASHTO. Los autores analizaron la variación de los límites de Atterberg, la compactación y el índice CBR bajo diferentes dosificaciones del material. Sus resultados mostraron un incremento del índice de plasticidad y una disminución del CBR, comportamiento que atribuyeron al bajo contenido de sílice y a la escasa capacidad estabilizadora del material empleado. Este estudio muestra que la diatomita no produce mejoras uniformes por sí sola y que su desempeño depende de su composición química, pureza y tratamiento previo.

Adeyanju et al. (2020), analizaron la estabilización de una subrasante arcillosa mediante la incorporación de un material silíceo amorfo combinado con compuestos ricos en calcio. Los resultados muestran una reducción de la plasticidad y un aumento importante en la capacidad de soporte, concluyendo que la presencia de sílice amorfa, cuando interactúa con calcio disponible, puede favorecer la formación de compuestos cementantes y mejorar el comportamiento estructural del suelo.

Singh et al. (2020), estudiaron la influencia del humo de sílice sobre un suelo expansivo, evaluando límites de Atterberg, parámetros de compactación y CBR. Reportaron un aumento de la humedad óptima y una disminución de la densidad seca máxima, comportamiento asociado a la elevada finura y superficie específica del aditivo. Sus hallazgos constituyen un referente importante para interpretar la

modificación de la compactación cuando se incorporan materiales silíceos finos a suelos arcillosos.

Tankiewicz et al. (2023) evaluaron el efecto de la nanosílice en un suelo cohesivo, observando mejoras en la resistencia no drenada y en la capacidad portante del material. A pesar de que el estudio no trabajó directamente con CBR ni con límites de Atterberg, sus resultados confirman que los materiales silíceos de alta finura pueden modificar considerablemente la estructura interna del suelo y mejorar su respuesta mecánica.

Aksakal et al. (2013), investigaron el efecto de la diatomita sobre la plasticidad y la compactación de suelos con diferentes texturas. Encontraron aumentos en el límite líquido y el límite plástico, así como la disminución de la máxima densidad seca y aumento del óptimo contenido de humedad. Estos resultados demuestran que la diatomita modifica la plasticidad y los parámetros de compactación, aunque la dirección del cambio depende del tipo de suelo y de la dosificación que se aplica.

2.1.2 Investigaciones nacionales.

Piedra et al. (2021) evaluaron la estabilización de un suelo arcilloso con la incorporación de una ceniza de origen agroindustrial rica en sílice. Los resultados mostraron cambios en la plasticidad, variaciones en la compactación y una mejora de la capacidad de soporte, especialmente en dosificaciones intermedias y altas. Este estudio confirma, en el contexto peruano, que los materiales silíceos pueden mejorar el desempeño estructural de subrasantes arcillosas.

Vizcarra et al. (2020) analizaron el efecto de la ceniza de cáscara de arroz en una subrasante arcillosa previamente tratada con cal. Observaron que el CBR mejoró hasta una dosificación óptima, pero disminuyó cuando el contenido del aditivo resultó de más. Este comportamiento fue explicado por el equilibrio necesario entre sílice y calcio para el desarrollo de reacciones puzolánicas. El estudio es importante porque demuestra que el efecto del aditivo depende no solo de su naturaleza, sino también de su dosificación y de la composición química del sistema.

Ormeño et al. (2020), estudiaron la estabilización de una subrasante de baja plasticidad utilizando ceniza de cáscara de arroz. Reportaron un aumento del óptimo contenido de humedad, reducción de la máxima densidad seca y aumento del CBR remojado, especialmente en las dosificaciones más favorables. Sus resultados son comparables con la tendencia esperada cuando se añaden finos silíceos a una matriz arcillosa.

Montejo Rodolfo et al. (2020) desarrollaron un análisis orientado a la viabilidad técnica y económica del uso de ceniza de cáscara de arroz en caminos de bajo tránsito. Aunque su aporte es más contextual que experimental, respaldan la pertinencia del uso de materiales silíceos como alternativa de estabilización en el contexto peruano, especialmente por su disponibilidad y potencial de valorización.

Muñoz Perez et al. (2022) realizaron una revisión sobre el empleo de ceniza de bagazo de caña de azúcar en suelos arcillosos, señalando que estos materiales pueden reducir la plasticidad, modificar la compactación y mejorar el CBR cuando la dosificación se encuentra dentro de un rango correcto. Su aporte refuerza el interés técnico y ambiental de los residuos o minerales ricos en sílice como modificadores de subrasantes.

2.1.3 Síntesis crítica de antecedentes y vacío de investigación

Los antecedentes revisados muestran que los materiales silíceos finos pueden modificar el comportamiento de los suelos arcillosos; sin embargo, sus efectos no son iguales en todos los casos. En algunos estudios se reporta reducción de plasticidad y mejora del CBR, mientras que en otros la incorporación de diatomita o materiales similares no genera mejoras significativas e incluso puede reducir la capacidad de soporte. Esta diferencia se relaciona con la composición química del aditivo, su finura, el tratamiento térmico aplicado, la disponibilidad de calcio en el suelo y la dosificación empleada. Por ello, no es suficiente asumir que todo material silíceo mejora automáticamente una subrasante arcillosa; cada caso debe evaluarse experimentalmente. A partir de esta revisión, se identifica como vacío de investigación la limitada evidencia sobre el uso de diatomita calcinada de procedencia regional en subrasantes arcillosas reales, evaluada mediante límites de Atterberg, Proctor Modificado y CBR remojado, y contrastada con análisis estadístico inferencial. En ese sentido, la presente tesis busca cubrir ese vacío para el caso de la carretera AP-102, sector Sarahuarcay.

2.1.4 Criterio de transferibilidad técnica de los resultados

Los antecedentes revisados muestran que la respuesta de un suelo frente a un aditivo no puede generalizarse únicamente por la nomenclatura SUCS o AASHTO. Dos suelos clasificados como CL o A-7-6 pueden presentar comportamientos distintos si varían su mineralogía, contenido de finos, plasticidad, humedad natural, sales solubles o condiciones ambientales. Por ello, la clasificación geotécnica debe entenderse como un primer criterio de agrupación, pero no como una garantía de

comportamiento idéntico (Lehmann et al., 2021; U.S. Army Corps of Engineers & U.S. Air Force, 1994).

En estabilización de suelos, los manuales técnicos no plantean que un aditivo produzca exactamente el mismo efecto en todos los suelos de una misma clasificación, sino que la selección preliminar del estabilizante puede realizarse con base en la gradación, plasticidad, textura y clasificación del material. El manual TM 5-822-14/AFJMAN 32-1019 indica que la selección del aditivo depende del tipo de suelo, la mejora buscada, la resistencia y durabilidad requeridas, el costo y las condiciones ambientales. Asimismo, señala que, una vez seleccionado el aditivo candidato, deben prepararse y ensayarse mezclas en laboratorio para definir el diseño de estabilización (U.S. Army Corps of Engineers & U.S. Air Force, 1994).

Este criterio permite ubicar la presente investigación como un antecedente técnico transferible bajo condiciones controladas, pero no como una dosificación universal. En ese sentido, los resultados obtenidos con la calicata C-02 pueden servir como referencia para suelos arcillosos de subrasante con características semejantes: clasificación CL según SUCS, clasificación A-7-6 según AASHTO, plasticidad media, predominio de finos, baja capacidad de soporte y exposición a condiciones de humedad propias de caminos de bajo volumen de tránsito en zonas andinas o interandinas.

La utilidad de los resultados también se sustenta en la naturaleza del aditivo. La ASTM C593-19 incluye a la diatomita, tanto cruda como calcinada, dentro de las puzolanas naturales que pueden evaluarse para estabilización de suelos con cal, siempre que la fuente del material sea calificada mediante ensayos de finura, fracción soluble y desarrollo de resistencia. Aunque la presente investigación no evaluó mezclas con cal, esta referencia normativa permite reconocer que la diatomita calcinada posee interés técnico como material silíceo para procesos de modificación o estabilización de suelos (ASTM International, 2019a).

En la misma línea, los antecedentes sobre materiales silíceos finos muestran que estos pueden modificar la plasticidad, la compactación y la capacidad de soporte de suelos arcillosos, pero su efecto depende de la composición química del aditivo, su finura, su tratamiento térmico y su compatibilidad con el suelo tratado. Estudios con humo de sílice, nanosílice, ceniza de cáscara de arroz, metacaolín y diatomita evidencian que las mejoras suelen presentarse en rangos de dosificación bajos o intermedios, y que el exceso de material fino puede reducir parte del beneficio

alcanzado (Aksakal et al., 2013; Dao et al., 2022; Jaiswal & Lal, 2016; Kulanthaivel et al., 2024; Phanikumar et al., 2020).

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Subrasante en carreteras: contexto y desempeño

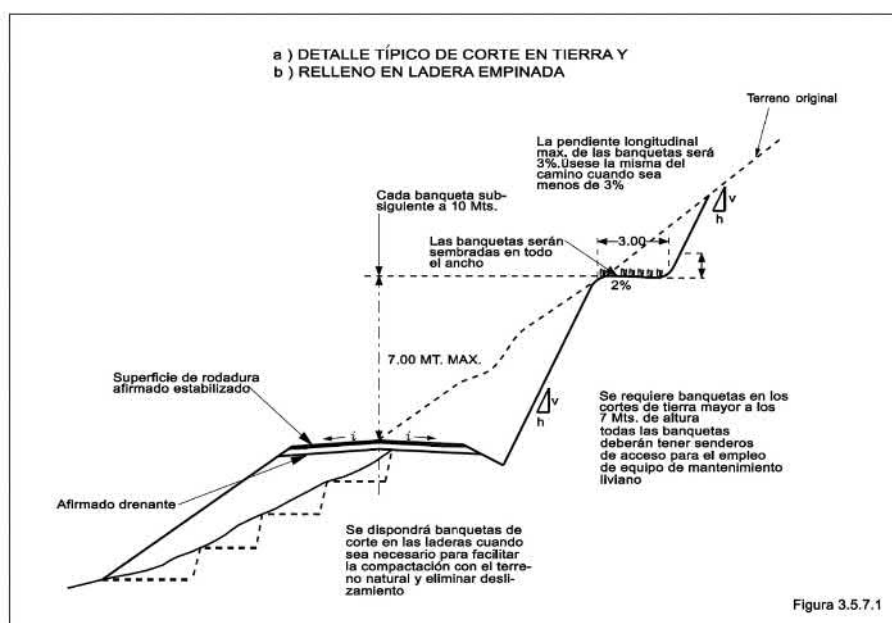
En las carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito, cuya superficie es de material granular o afirmado, la subrasante corresponde a la parte superior del terreno natural donde se apoyan las capas de la estructura vial. Esta capa cumple un papel importante, ya que sobre ella se transmite el peso del tránsito y se sostiene el resto del material granular (MTC, 2014).

2.2.1.1 Función estructural de la subrasante en pavimentos

La subrasante funciona como la base estructural de la vía, ya que brinda soporte al afirmado y ayuda a controlar deformaciones como el ahuellamiento y el bombeo de finos. En las carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito, el MTC considera que la capacidad de soporte de la subrasante y el nivel de tránsito son factores clave para definir el espesor y la solución estructural del afirmado (MTC, 2014). Desde el punto de vista constructivo, esta capa corresponde al terreno natural perfilado y compactado, con pendientes y drenaje adecuados para asegurar la estabilidad del camino.

Figura 6

Sección transversal típica y ubicación de la subrasante en una carretera no pavimentada (afirmado)



Nota. Figura reproducida de la sección transversal convencional (MTC, 2008).

2.2.1.2 Rol del CBR en el dimensionamiento y sus alcances

En el *Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos – Sección Suelos y Pavimentos*, el CBR constituye un parámetro fundamental para determinar la capacidad de soporte de la subrasante y establecer su clasificación técnica. En el Cuadro 13.3 del manual, la subrasante se agrupa en seis tipos: inadecuada, insuficiente, regular, buena, muy buena y excelente en función del rango de CBR, clasificación que sirve de base para la definición estructural del pavimento (MTC, 2014).

Tabla 1

Tipos de subrasante según el CBR (%)

Tipo de subrasante	Interpretación	Rango de CBR (%)
Inadecuada	Subrasante inadecuada	< 3
Insuficiente	Subrasante insuficiente	3 – < 6
Regular	Subrasante regular	6 – < 10
Buena	Subrasante buena	10 – < 20
Muy buena	Subrasante muy buena	20 – < 30
Excelente	Subrasante excelente	≥ 30

Nota. Adaptado del Cuadro 13.3 del Manual de Carreteras – Sección Suelos y Pavimentos (MTC, 2014).

Como se observa en la Tabla 1, los suelos con un CBR menor al 6 % corresponden a subrasantes inadecuadas o insuficientes; por esto, el manual señala que antes de colocar la estructura del pavimento, estos materiales requieren estabilización o mejoramiento previo. En virtud a lo anterior, el CBR no solo permite clasificar la subrasante, sino también saber si el suelo natural puede incorporarse directamente al diseño o si necesita intervención para llegar a una condición estructural aceptable.

2.2.1.3 Frecuencia mínima de exploración geotécnica mediante calicatas

En los estudios geotécnicos viales, la exploración de la subrasante se realiza mediante calicatas o pozos exploratorios con una profundidad mínima de 1.50 m medida desde el nivel de subrasante del proyecto. De acuerdo con el Manual de Carreteras – Sección Suelos y Pavimentos, el número mínimo de calicatas por kilómetro depende de la clasificación de la vía y de la intensidad media diaria anual (IMDA). Asimismo, el manual precisa que, si el tramo evaluado mide entre 500 m y 1000 m, debe considerarse la cantidad de calicatas establecida para un kilómetro;

mientras que, si la longitud es menor de 500 m, corresponde ejecutar la mitad de dicha cantidad (MTC, 2014).

Tabla 2

Frecuencia mínima de exploración geotécnica mediante calicatas según la clasificación de la vía

Clasificación de la vía	IMDA (veh/día)	Número mínimo de calicatas
Autopistas	> 6000	4 calicatas por km por sentido en calzadas de 2 o 3 carriles, y 6 calicatas por km por sentido en calzadas de 4 carriles
Carreteras duales o multicarril	6000 – 4001	4 calicatas por kilómetro por sentido en calzadas de 2 o 3 carriles, y 6 calicatas por kilómetro por sentido en calzadas de 4 carriles
Carreteras de primera clase	4000 – 2001	4 calicatas por kilómetro
Carreteras de segunda clase	2000 – 401	3 calicatas por kilómetro
Carreteras de tercera clase	400 – 201	2 calicatas por kilómetro
Caminos de bajo volumen de tránsito	≤ 200	1 calicata por kilómetro

Nota. Adaptado del Cuadro 4.1 del Manual de Carreteras – Sección Suelos y Pavimentos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Para tramos entre 500 m y 1,000 m se aplica la cantidad de calicatas prevista para un kilómetro; para tramos menores de 500 m, corresponde la mitad (MTC, 2014).

2.2.2 SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTE

Los suelos arcillosos de subrasante son materiales finos cuyo comportamiento depende principalmente de la fracción que pasa el tamiz N.º 200 (75 µm) y de la interacción entre el suelo y el agua. Para su caracterización en carreteras se emplean sistemas de clasificación como el SUCS y el AASHTO, los cuales se basan en la granulometría y en los límites de Atterberg (American Association of State Highway and Transportation Officials [AASHTO], 2020; ASTM International, 2021c).

En el Perú, el MTC cuenta con manuales como el Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos y el Manual de Ensayo de Materiales, donde se establecen criterios de caracterización, ensayo y control de suelos para carreteras (MTC, 2014, 2016b).

2.2.2.1 Clasificación SUCS/AASHTO de suelos finos de subrasante

Sistema SUCS para suelos finos

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) clasifica los suelos a partir de la granulometría, el LL y el IP, y es de uso común en ingeniería geotécnica cuando se requiere una clasificación precisa (ASTM International, 2021c).

En el caso de suelos finos, el sistema SUCS usa la Carta de Plasticidad de Casagrande para diferenciarlos. La línea A permite separar limos y arcillas, mientras que el LL igual a 50 sirve para diferenciar entre baja y alta plasticidad. Cuando el punto formado por LL e IP se ubica en una zona intermedia, se pueden usar símbolos dobles como CL-ML (ASTM International, 2021c).

La línea A, utilizada como criterio de separación entre limos y arcillas en la Carta de Plasticidad de Casagrande, se expresa mediante la siguiente relación:

$$IP = 0.73 (LL - 20) \quad (1)$$

donde IP es el índice de plasticidad y LL es el límite líquido. Esta expresión constituye el criterio de referencia para la diferenciación de limos y arcillas en el sistema SUCS (ASTM International, 2021c).

Tabla 3

Criterios SUCS típicos para suelos finos (fracción que pasa tamiz N.º 200 predominante)

Grupo SUCS	Nombre (resumen)	Criterio principal en carta LL–IP
ML	Limo inorgánico (baja plasticidad)	Punto bajo línea A y $LL < 50$
CL	Arcilla inorgánica (baja plasticidad)	Punto sobre línea A y $LL < 50$
MH	Limo elástico (alta plasticidad)	Punto bajo línea A y $LL \geq 50$
CH	Arcilla inorgánica (alta plasticidad)	Punto sobre línea A y $LL \geq 50$
OL/OH	Suelos orgánicos (baja/alta plasticidad)	Tendencias específicas; se confirma con cambios por secado y comportamiento orgánico
CL-ML	Zona transicional	Punto ubicado en una zona límite entre los dominios de limo y arcilla

Nota. Adaptado de ASTM D2487-17e1, para suelos finos, considerando el límite líquido, el índice de plasticidad y la línea A (ASTM International, 2021c).

Sistema AASHTO para subrasantes

El sistema AASHTO clasifica los suelos y las mezclas suelo-agregado en grupos que van de A-1 a A-7, según su granulometría, LL e IP. Además, incorpora el Índice de Grupo (GI), que permite estimar de manera empírica la calidad del material cuando se usa como subrasante (AASHTO, 2020).

En el sistema AASHTO, los suelos finos de subrasante, los cuales tienen más de 35 % de material que pasa el tamiz N.º 200, suelen ubicarse en los grupos A-4 a A-7. Dentro de estos grupos, los valores de LL e IP permiten diferenciar suelos de comportamiento más limoso o más arcilloso, y en el caso del grupo A-7, se realiza una subclasificación según la relación entre el IP y el LL (AASHTO, 2020).

Tabla 4

Criterios AASHTO (M 145) para suelos finos de subrasante (fracción fina > 35 % pasando el tamiz N.º 200)

Grupo	Condición base (finos)	LL	IP	Interpretación típica
A-4	F > 35 %	≤ 40	≤ 10	Limos no plásticos a moderadamente plásticos
A-5	F > 35 %	> 40	≤ 10	Limos “elásticos”, micáceos, diatomáceos (alta LL)
A-6	F > 35 %	≤ 40	> 10	Arcillas plásticas (LL moderada)
A-7	F > 35 %	> 40	> 10	Arcillas con alta LL (alta variación volumétrica potencial)
A-7-5	(subgrupo)	—	$IP \leq LL - 30$	Plasticidad moderada respecto a LL
A-7-6	(subgrupo)	—	$IP > LL - 30$	Plasticidad alta respecto a LL

Nota. Adaptado de AASHTO M 145 (2020).

2.2.2.2 Propiedades índice relevantes para el diseño (granulometría, LL, LP, IP)

Las propiedades índice más relevantes para caracterizar una subrasante arcillosa son la granulometría, el límite líquido, el límite plástico y el índice de plasticidad. La granulometría permite estimar la proporción de fracción gruesa y fina del suelo, mientras que los límites de Atterberg permiten interpretar la sensibilidad del material frente a cambios de humedad. En sistemas de clasificación como SUCS y AASHTO, estos parámetros se utilizan para ubicar el suelo dentro de grupos de comportamiento geotécnico semejante, aunque no reemplazan la evaluación específica de

resistencia, compactación y capacidad de soporte mediante ensayos de laboratorio (AASHTO, 2020; ASTM International, 2017c; MTC, 2014).

2.2.3 Plasticidad

La plasticidad se refiere al intervalo de humedad en el que un suelo fino puede deformarse sin agrietarse ni comportarse como un líquido. Este comportamiento se mide mediante los límites de Atterberg y el IP, que se utilizan tanto para clasificar el suelo como para estimar su sensibilidad al agua (ASTM International, 2017c; MTC, 2014).

En subrasantes arcillosas, la plasticidad es importante porque está relacionada con el tipo de arcilla y con la forma en que el suelo responde al agua (Lehmann et al., 2021). Cuando cambia el contenido de humedad, la resistencia y la rigidez del material también pueden variar, lo que afecta el desempeño del afirmado y puede hacer necesario aplicar medidas de mejoramiento o estabilización (Rahman & Erlingsson, 2016).

2.2.3.1 Fundamentos de los Límites de Atterberg (LL, LP, IP)

Los límites de Atterberg permiten describir los cambios de consistencia de los suelos finos en función del contenido de agua. En ingeniería vial, los parámetros de mayor uso son el límite líquido, el límite plástico y el índice de plasticidad, debido a que permiten interpretar la sensibilidad del suelo frente a la humedad y su posible comportamiento como subrasante. El índice de plasticidad se calcula como la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico, y representa el intervalo de humedad dentro del cual el suelo conserva comportamiento plástico (ASTM International, 2017c; MTC, 2014).

$$IP = LL - LP \quad (2)$$

donde IP es el índice de plasticidad, LL es el límite líquido y LP es el límite plástico. En esta investigación, este parámetro se emplea para evaluar si la incorporación de diatomita calcinada reduce la plasticidad del suelo arcilloso evaluado.

2.2.3.2 Implicaciones de la plasticidad en el comportamiento de la subrasante

El Manual de Carreteras señala que la plasticidad es una propiedad que está relacionada con la fracción fina del suelo y se evalúa mediante los límites de Atterberg. En este marco, el IP, definido como la diferencia entre el LL y el LP, expresa el rango de humedad en el que el suelo conserva una consistencia plástica.

Asimismo, indica que un IP alto corresponde a suelos más arcillosos, mientras que un IP bajo caracteriza materiales con menor contenido de arcilla (MTC, 2014).

Por esa razón, el IP resulta útil como indicador práctico que permite determinar el comportamiento potencial de la subrasante. Desde el punto de vista vial, el MTC (2014) señala que el contenido de arcilla, según su proporción, puede representar un factor de riesgo en la subrasante y en la estructura del pavimento, principalmente por su alta sensibilidad al agua. De esta forma, el análisis cualitativo del IP permite predecir si el material podría mostrar mayor sensibilidad ante cambios de humedad, dando lugar a una mayor probabilidad de pérdida de estabilidad en servicio.

Tabla 5

Clasificación de suelos según el índice de plasticidad

Índice de plasticidad	Plasticidad	Característica
IP > 20	Alta	Suelos muy arcillosos
$7 < IP \leq 20$	Media	Suelos arcillosos
$0 < IP < 7$	Baja	Suelos poco arcillosos
IP = 0	No plástico (NP)	Suelos exentos de arcilla

Nota. Adaptado del Cuadro 4.6 del Manual de Carreteras – Sección Suelos y Pavimentos (MTC, 2014).

Desde el punto de vista vial, un IP alto suele indicar mayor sensibilidad del suelo frente al aumento de humedad, lo que puede reducir su resistencia y rigidez (Lehmann et al., 2021). En condiciones de tránsito, esta condición favorece la aparición de deformaciones y deterioro del afirmado, especialmente cuando no se controla el contenido de agua (Rahman & Erlingsson, 2016). Por tal razón, se vuelve importante considerar medidas como el control de humedad, un buen drenaje o el mejoramiento del material.

2.2.4 Compactación Proctor

La compactación en suelos de subrasante consiste en incrementar la densidad del material mediante la expulsión de aire de los vacíos al aplicar energía mecánica (Mitchell & Soga, 2005). Este proceso, realizado con un contenido de humedad adecuado, permite mejorar propiedades como la estabilidad, la deformabilidad y la resistencia al corte del suelo (Sridharan & Nagaraj, 2005).

En carreteras, incluyendo las de bajo volumen de tránsito, el control de compactación se basa en los valores obtenidos en laboratorio, como la MDS y el OCH,

determinados mediante el ensayo Proctor (ASTM International, 2021a). Estos parámetros permiten establecer objetivos de obra, como el porcentaje de compactación y el rango de humedad aceptable. Además, el Proctor sirve como base para preparar muestras compactadas en ensayos como el CBR, que evalúa la capacidad de soporte del suelo (ASTM International, 2021b).

2.2.4.1 Teoría de la compactación: energía, MDS y OCH

El ensayo Proctor permite establecer la relación entre el contenido de agua y la densidad seca del suelo para una energía de compactación determinada. Al representar la densidad seca (ρ_d) en función de la humedad (w), se obtiene una curva de compactación cuyo punto más alto corresponde a la MDS y al OCH (ASTM International, 2021a).

Desde el punto de vista físico, cuando el suelo se encuentra en el lado seco del óptimo, el agua disponible no es suficiente para facilitar el reacomodo de las partículas, por lo que la densidad seca es baja. A medida que incrementa el contenido de humedad, el agua ayuda a lubricar las partículas y se logra un mejor reordenamiento, lo que incrementa la densidad seca hasta alcanzar un valor máximo (Sridharan & Nagaraj, 2005). Si el contenido de agua continúa aumentando, el suelo entra en el lado húmedo del óptimo, donde el exceso de agua ocupa espacio que ya no puede ser reemplazado por sólidos bajo la misma energía de compactación, produciendo una disminución de la densidad seca (Rahman & Erlingsson, 2016).

La relación general entre la densidad húmeda y la densidad seca del espécimen compactado se expresa mediante la siguiente ecuación (ASTM International, 2021a):

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + \omega} \quad (3)$$

donde ρ_d es la densidad seca, ρ es la densidad húmeda del espécimen compactado y ω es el contenido de agua expresado en fracción decimal.

2.2.5 CAPACIDAD PORTANTE POR CBR

La Relación de Soporte de California (CBR) es un índice empírico que mide la resistencia del suelo frente a la penetración de un pistón estándar bajo condiciones controladas de humedad y densidad (ASTM International, 2021b). Debido a su aplicación práctica, este parámetro se utiliza ampliamente para estimar la capacidad portante de subrasantes y capas granulares en el diseño de pavimentos (AASHTO, 1993).

2.2.5.1 Fundamento del CBR y parámetros medidos

El ensayo CBR permite evaluar la capacidad de soporte de un suelo compactado mediante la resistencia que ofrece frente a la penetración de un pistón estándar. En subrasantes, este índice se utiliza como parámetro práctico para clasificar el material y estimar su aptitud como apoyo de la estructura vial (ASTM International, 2021b).

El CBR se expresa como la relación entre la carga medida durante el ensayo y una carga estándar de referencia, expresada en porcentaje:

$$CBR(\%) = \left(\frac{P_{corr}}{P_{est}} \right) \times 100 \quad (4)$$

donde P_{corr} es la carga corregida medida a la penetración indicada y P_{est} es la carga estándar para esa misma penetración. En esta investigación se utiliza el CBR remojado, debido a que representa una condición desfavorable para subrasantes arcillosas expuestas a humedad. Además, el registro de expansión durante el remojo se interpreta como un indicador complementario de sensibilidad al agua, sin reemplazar ensayos específicos de expansividad.

2.2.5.2 Variables que sensibilizan el CBR (densidad, humedad, remojo, estructura)

El CBR es muy sensible a la densidad seca que se logra en la compactación, porque al aumentar la densidad se reducen vacíos y mejora el contacto entre partículas, lo que eleva la resistencia a la penetración. Por eso, al interpretar el CBR es importante considerar que el resultado depende del estado de compactación con el que se preparó la muestra (ASTM International, 2021b). En estudios experimentales también se aprecia que la humedad y la densidad seca inciden de manera directa en el CBR, tanto en condición remojada como no remojada (Liu et al., 2023).

El método CBR considera que el resultado está condicionado por las condiciones de compactación con las que se prepare el espécimen. En la norma AASHTO T 193 se contempla la elaboración de muestras con diferentes energías de compactación, como variaciones en la cantidad de golpes por capa, para representar distintos niveles de densidad respecto a la densidad máxima obtenida en Proctor (AASHTO, 2021; ASTM International, 2021b).

La humedad tiene influencia directa en el comportamiento de los suelos finos, ya que modifica la succión matricial, la estructura interna y la lubricación entre partículas (Lu & Likos, 2006). En subrasantes arcillosas, cuando aumenta el contenido de agua, la

resistencia tiende a disminuir, lo que puede reflejarse en valores menores de CBR, especialmente en condición remojada (Al-Mukhtar et al., 2012).

En consecuencia, la interpretación del CBR debe realizarse considerando la densidad seca alcanzada, el contenido de humedad, la condición de remojo y la estructura interna del suelo. Estos factores son especialmente importantes en subrasantes arcillosas, donde el aumento de humedad puede reducir la resistencia y acentuar deformaciones bajo carga.

2.2.6 Aditivos silíceos finos y diatomita calcinada

Los aditivos silíceos finos son materiales con alto contenido de dióxido de silicio (SiO_2), cuya efectividad depende de la composición química, la finura, la mineralogía y el grado de cristalinidad o amorficidad. Entre ellos se encuentran la ceniza de cáscara de arroz, el humo de sílice, la ceniza de bagazo y la diatomita. Su incorporación en suelos finos puede modificar la plasticidad, la compactación y la respuesta mecánica, aunque su desempeño depende de las características del aditivo y del suelo tratado (Kalkan, 2009).

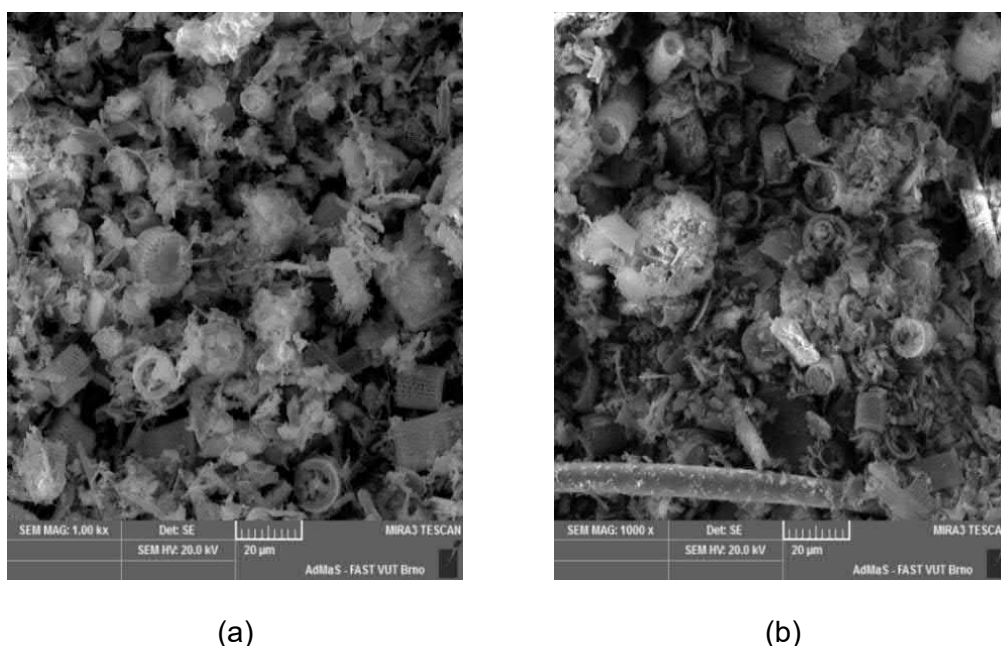
2.2.6.1 Diatomita: origen, morfología (frústulas) y propiedades físicas

La diatomita, también conocida como tierra de diatomeas, es una roca sedimentaria de naturaleza silícea formada por la acumulación de restos de diatomeas, cuyas estructuras son porosas. Por esa microestructura, la diatomita suele presentar alta porosidad, bajo peso y buena capacidad adsorbente, lo que explica su uso como material liviano y absorbente (Pavlíková et al., 2022).

A nivel microestructural, la diatomita tiene frústulas con una geometría muy porosa, lo que aporta alta área superficial y muchas cavidades internas. Esto es útil porque puede ayudar al relleno físico de vacíos (“filler effect”) y también influye en cómo se distribuye el agua dentro de la mezcla suelo–aditivo (Berodier & Scrivener, 2014; Pavlíková et al., 2022).

Figura 7

Microestructura de la diatomita observada mediante microscopía electrónica de barrido (SEM)



Nota. Reproducido de Pavlíková et al. (2022), Materials, licencia CC BY 4.0. (a) Diatomita natural (BOR); (b) diatomita calcinada (ENO7).

La Figura 7 muestra la diferencia microestructural entre la diatomita natural y la diatomita calcinada, observándose que el tratamiento térmico modifica la integridad de las frústulas y la estructura porosa del material.

En la literatura aplicada, la diatomita se ha modificado mediante tratamientos térmicos con el fin de adecuar sus propiedades superficiales y su comportamiento en la interacción sólido y líquido. Por ejemplo, se han reportado tratamientos alrededor de 700 °C en estudios de caracterización y aplicación, donde se evalúan cambios en la superficie y su efecto en procesos de adsorción (Chavez-Ruiz et al., 2025).

2.2.6.2 Disponibilidad de diatomita en el Perú y fuente regional

En el Perú, la diatomita se ha reconocido tanto en depósitos marinos de la costa como en depósitos lacustres de la región andina. Entre los casos más conocidos se mencionan Bayóvar, en Piura; Tarucani, en Arequipa; y la cuenca Ayacucho, lo que muestra que este recurso tiene presencia en distintas regiones del país y no se limita a una sola zona (Agramonte Bermejo, 1983).

Tabla 6*Recursos referenciales de diatomita reportados en el Perú*

Departamento	Zona o yacimiento referencial	Recurso reportado aproximado
Piura	Bayóvar	> 100 000 000 TM
Arequipa	Tarucani	51 000 000 TM
Ayacucho	Cuenca Ayacucho (sector estudiado)	15 623 135 TM

Nota. Para Piura y Arequipa se consignan los valores clásicos reportados por Agramonte Bermejo (1983). En el caso de Ayacucho, se considera la evaluación de recursos registrados y señalados en Tambillo, Quicapata y La Moya reportada por Ramírez Carrión (2012). La tabla tiene un carácter referencial y busca ubicar a Ayacucho dentro del contexto nacional.

Según la investigación, Ayacucho tiene especial importancia porque constituye una fuente regional cercana a Apurímac. En la cuenca Ayacucho se han identificado depósitos en sectores como Tambillo, Quicapata y La Moya, con recursos importantes y características favorables para su aprovechamiento técnico. Además, estas diatomitas presentan contenidos altos de sílice, mayores al 70 % y cercanos al 90 % en algunos casos, así como reportes de baja cristalinidad o posible componente amorfo, condición que incrementa su interés como material de partida para estudios de mejoramiento de suelos (Ramírez Carrión, 2012, 2013).

2.2.6.3 Calcinación de la diatomita

La calcinación de la diatomita consiste en un tratamiento térmico controlado que modifica sus propiedades físicas y químicas. Generalmente se aplican temperaturas entre 600 °C y 850 °C para eliminar humedad y materia orgánica, y para activar la sílice amorfa presente en el material (Pavlíková et al., 2022). Este proceso puede aumentar la superficie específica y favorecer su reactividad. Sin embargo, si la temperatura supera ciertos valores, parte de la sílice amorfa puede recrystalizar en fases como cristobalita, lo que reduce su actividad química (Chavez-Ruiz et al., 2025). Por ello, el control del rango térmico es fundamental para conservar la fracción reactiva del material.

Zona térmica recomendada y su justificación teórica (700 °C en 2 h)

La calcinación de la diatomita se usa para modificar su comportamiento como material silíceo y mejorar su desempeño en mezclas con sistemas cementantes o con suelos finos. En general, el calentamiento elimina humedad y materia orgánica y puede cambiar la estructura de la sílice; sin embargo, si la temperatura es alta, aumenta la aparición de fases cristalinas como cuarzo y cristobalita, lo que reduce la

fracción amorfa más reactiva (Zheng et al., 2018). En un estudio con dos horas de calcinación, a 800 °C se observaron picos más marcados de cuarzo y cristobalita en DRX, interpretados como recristalización de sílice previamente amorfa (Poojalakshmi et al., 2025). De forma consistente, se ha reportado que la actividad puzolánica depende de temperatura y tiempo, y que por encima de 700 °C conviene limitar la duración a alrededor de 2 h para no reducir la reactividad (Lim & Sabaa, 1991).

Tabla 7

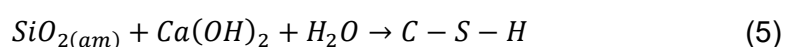
Condiciones de calcinación de la diatomita reportadas en la literatura y criterios para evitar la recristalización de la sílice

Autor / año	Condición térmica reportada	Criterio relevante	Cómo sustenta 700 °C en 2 h
Magalhães et al. (2025)	Ensayaron 600 °C y 700 °C; reportan eliminación completa de orgánicos a 3 h (600 °C) y 2 h (700 °C); eligen 700 °C	Vincula 700 °C con un tiempo corto y suficiente para tener el tratamiento térmico buscado (eliminación de orgánicos).	Da un sustento “práctico y experimental” exacto de 700 °C durante 2 h como condición efectiva
Jin et al. (2022)	700 °C por 2 h	Indican que al exceder 700 °C la cristalinidad se ve afectada; por ello adoptan 700 °C en 2 h.	Sustenta 700 °C como límite superior operativo antes de cambios indeseados en el comportamiento cristalino y estructural
Lim & Sabaa (1991)	Discuten la relación temperatura y tiempo; señalan que mayor a 700 °C el tiempo debe limitarse cercano a 2 h o menos porque la reactividad reduce con tiempos mayores	Relacionan el “óptimo” con transiciones de amorfo a cristobalita y tridimita, con pérdida de reactividad si el tiempo se excede.	Sustenta el tope de 2 h como criterio técnico para evitar la disminución de reactividad cuando se trabaja alrededor de 700 °C
Poojalakshmi et al. (2025)	Comparan 400, 600 y 800 °C (2 h)	Reportan que a 800 °C aparecen picos más intensos de cuarzo/cristobalita (recristalización) por ende menor cantidad de sílice amorfa.	Sustenta indirectamente que evitar 800 °C es razonable si se busca preservar mayor amorficidad; por tanto, 700 °C es más conservador.

Nota. La tabla presenta una síntesis de estudios que analizan la influencia de la temperatura y el tiempo de calcinación sobre la estructura mineralógica y la reactividad de la diatomita o tierra de diatomeas. Los estudios coinciden en que temperaturas del orden de 700 °C, combinadas con tiempos de aproximadamente 2 h, permiten la activación térmica del material sin inducir procesos significativos de recristalización de la sílice, como la formación de cristobalita, los cuales se intensifican a temperaturas más elevadas. Adaptado de Magalhães et al. (2025); Jin et al. (2022); Lim & Sabaa (1991); Poojalakshmi et al. (2025).

Cristalinidad y reactividad puzolánica del SiO_2

La reactividad puzolánica se relaciona principalmente con la fracción amorfa del material, ya que en un medio alcalino puede reaccionar consumiendo calcio disponible y formando productos cementantes secundarios. Por eso, para estimar su potencial no basta con el contenido total de sílice, sino que se debe considerar la mineralogía y la proporción de fase amorfa (Snellings et al., 2012). En la práctica, esta reactividad se verifica mediante ensayos de desempeño y especificaciones técnicas para puzolanas naturales o calcinadas, además de la caracterización mineralógica correspondiente (ASTM International, 2022). En términos simplificados, la reacción puzolánica puede representarse mediante la siguiente ecuación:



donde $SiO_{2(am)}$ representa sílice amorfa reactiva, $Ca(OH)_2$ es el hidróxido de calcio que se genera en la hidratación del cemento y C-S-H corresponde al gel de silicato de calcio hidratado responsable del desarrollo de resistencia en materiales cementantes (ASTM International, 2022; Neville, 2011).

2.2.6.4 Mecanismos de acción en suelos arcillosos: puzolanidad, efecto “filler”, refinamiento de poros, floculación/aglomeración

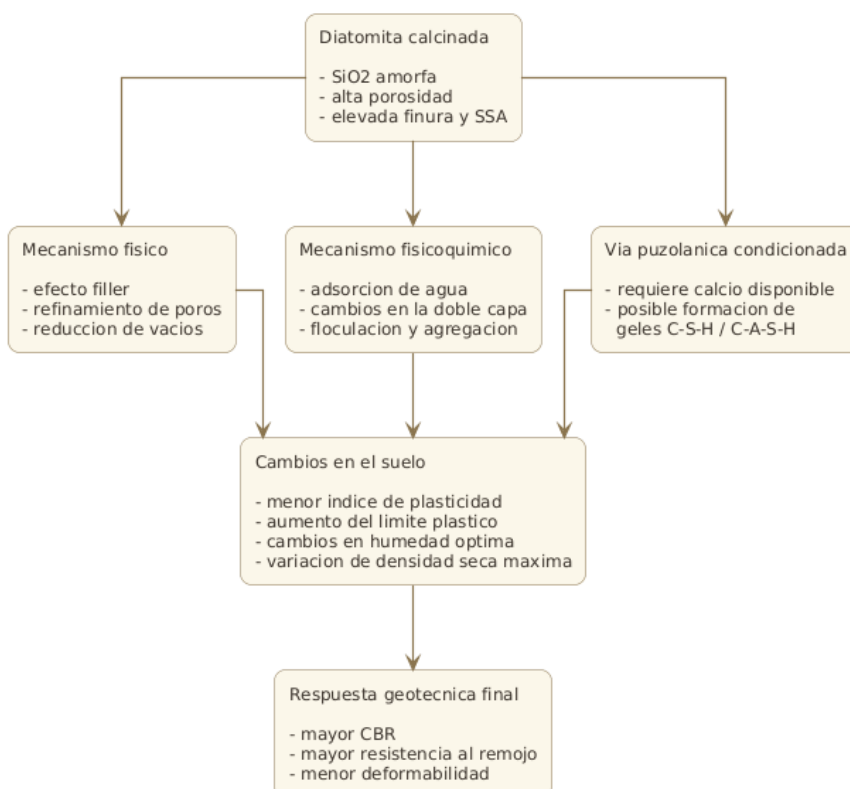
La diatomita, por su porosidad y finura, puede aportar un efecto principalmente físico en la mezcla, ayudando al relleno de vacíos y al ajuste del empaquetamiento de partículas. Esto puede generar cambios en la densificación y en la respuesta mecánica incluso cuando la reacción puzolánica es baja por falta de calcio disponible (Berodier & Scrivener, 2014; Pavlíková et al., 2022). Por otro lado, se presentan mecanismos fisicoquímicos, como el intercambio catiónico, la floculación y la formación de productos cementantes secundarios cuando existe calcio disponible, lo que contribuye al aumento de rigidez y resistencia del suelo (Barman & Dash, 2022).

Cuando hay hidróxido de calcio en el sistema, la sílice reactiva puede favorecer la formación de compuestos cementantes tipo C-S-H, los cuales contribuyen a densificar la matriz y mejorar la unión entre partículas. En geotecnia, este comportamiento resulta coherente con lo reportado para otros materiales silíceos finos: Jassim et al. (2022) encontraron que la nano-sílice mejoró la consistencia y compactación de un suelo arcilloso, mientras que Aksakal et al. (2013) mostraron que la diatomita modifica los límites de consistencia y la compactabilidad del suelo, aunque su efecto depende de la dosis y del tipo de material tratado. A partir de aquí, la acción

de la diatomita calcinada puede entenderse como la combinación de un relleno físico de partículas finas y una posible interacción puzolánica con el calcio disponible en el sistema.

Figura 8

Mecanismos conceptuales de acción de la diatomita calcinada en suelos arcillosos



Nota. Elaboración propia con base en la literatura sobre diatomita y materiales silíceos finos empleados en estabilización de suelos. El esquema integra tres rutas principales de acción: i) un mecanismo físico, asociado al efecto filler y al refinamiento de poros generado por la elevada finura de la diatomita (Aksakal et al., 2013); ii) un mecanismo fisicoquímico, relacionado con la adsorción de agua y la floculación o agregación de partículas en suelos arcillosos (Phanikumar et al., 2020); y iii) una posible vía puzolánica condicionada a la disponibilidad de calcio en el sistema, que puede favorecer la formación de productos cementantes tipo C-S-H o C-A-S-H cuando existe calcio disponible en el medio (Pavlíková et al., 2022). La contribución relativa de cada mecanismo depende de la finura, composición química y condiciones del sistema suelo-agua.

Capítulo III

MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 ENFOQUE.

El estudio se desarrolla con un enfoque cuantitativo, porque se sustenta en la medición objetiva de variables y en el análisis estadístico de los resultados. Este enfoque se caracteriza por trabajar con datos numéricos que se obtienen mediante procedimientos estandarizados, lo que permite contrastar hipótesis y responder a un problema de investigación que se defina (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018).

En ese sentido, la presente investigación evalúa los parámetros geotécnicos de la plasticidad, los parámetros de compactación Proctor Modificado y el índice CBR, determinados mediante ensayos de laboratorio normalizados. Esto permite analizar con precisión la influencia de la diatomita calcinada en el comportamiento mecánico de la subrasante arcillosa.

3.2 ALCANCE.

El alcance de la investigación es explicativo. Esto significa que el estudio no solo describe el fenómeno, sino que busca analizar cómo una variable influye sobre otra. En este caso, se evalúa cómo el contenido de diatomita calcinada afecta el comportamiento geotécnico del suelo. Según Hernández-Sampieri & Mendoza (2018), los estudios explicativos se orientan a identificar relaciones de causa–efecto entre variables. De manera similar, Kerlinger & Lee (2000) señalan que este tipo de investigación permite comprobar si una variable produce cambios en otra bajo condiciones controladas.

En este estudio, se manipula el porcentaje de diatomita calcinada (0 %, 3 %, 6 %, 9 % y 12 %) y se analiza su efecto en tres propiedades del suelo: la plasticidad (LL, LP

e IP), los parámetros de compactación Proctor Modificado (OCH y MDS) y la capacidad de soporte medida mediante el índice CBR en condición remojada.

3.3 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.

El diseño de la investigación es experimental. En este tipo de diseño, el investigador modifica una variable para observar su efecto en otras. Según Hernández-Sampieri & Mendoza (2018), los estudios experimentales permiten analizar relaciones de causa–efecto bajo condiciones controladas. En este trabajo, se modifica el contenido de diatomita calcinada y se evalúa su efecto en la plasticidad, la compactación y la capacidad de soporte del suelo.

El diseño específico corresponde a un diseño completamente aleatorizado (DCA). Este diseño se utiliza cuando se trabaja con un solo factor y las unidades experimentales son iguales entre sí. Montgomery (2019) señala que en el DCA los tratamientos se asignan de forma aleatoria para reducir posibles sesgos y controlar la variabilidad experimental.

En el presente estudio, el factor experimental es el porcentaje de diatomita calcinada (0 %, 3 %, 6 %, 9 % y 12 %). Cada tratamiento cuenta con tres repeticiones independientes. Esta estructura permite comparar los resultados entre tratamientos y evaluar estadísticamente el efecto del aditivo en las propiedades geotécnicas del suelo.

Debe precisarse que el diseño experimental empleado es unifactorial, debido a que solo se manipuló el contenido de diatomita calcinada. Por ello, la investigación no evalúa interacciones entre factores, ya que no se incorporó un segundo factor experimental como tiempo de curado, tipo de suelo, energía de compactación o humedad de moldeo. El análisis se orienta a comparar el efecto de los cinco niveles del aditivo sobre cada variable dependiente.

3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA.

3.4.1 Población.

La población objetivo de la investigación no se define como la totalidad de la carretera AP-102 ni únicamente como un tramo geográfico, sino como el conjunto de suelos arcillosos de subrasante con comportamiento geotécnico similar al suelo evaluado. Esta precisión es necesaria porque la respuesta de un suelo frente a un aditivo no depende solo de su ubicación, sino de sus propiedades físicas, índice de plasticidad, contenido de finos, capacidad de soporte, mineralogía y condiciones ambientales.

En ese sentido, la población objetivo está conformada por suelos arcillosos de subrasante clasificados como CL según SUCS y A-7-6 según AASHTO, de plasticidad media, predominio de finos y baja capacidad de soporte en condición remojada. Estos suelos corresponden a materiales finos que pueden presentar pérdida de estabilidad frente al incremento de humedad, especialmente en caminos no pavimentados o de bajo volumen de tránsito.

Desde el punto de vista geográfico, el dominio de aplicación de los resultados se limita principalmente a suelos arcillosos de subrasante ubicados en contextos andinos o interandinos de altitud comparable. La calicata C-02 se ubica a una cota de 2661 m s. n. m., valor que se encuentra dentro de la región natural Quechua, definida aproximadamente entre 2300 y 3500 m s. n. m. (Pulgar Vidal, 1987). Por tanto, los resultados no deben extrapolarse directamente a suelos de costa, selva baja o zonas altoandinas de mayor altitud sin ensayos de verificación.

La transferencia de los resultados a otros proyectos debe realizarse únicamente bajo criterios de similitud geotécnica y ambiental. En consecuencia, esta investigación puede servir como antecedente técnico para suelos con clasificación, plasticidad, contenido de finos, CBR y condiciones de humedad comparables, pero no reemplaza el diseño de mezcla ni la validación experimental del suelo específico de un nuevo proyecto.

3.4.2 Muestra.

La caracterización inicial del tramo no se realizó a partir de una sola calicata. En el trabajo de campo se ejecutaron cuatro calicatas, identificadas como C-01, C-02, C-03 y C-04, distribuidas entre las progresivas km 26+000 y km 29+000 de la carretera AP-102, tal como se presenta en la Tabla 11. Esta cantidad cumple con la frecuencia mínima establecida por el Manual de Carreteras del MTC para caminos de bajo volumen de tránsito, que considera una calicata por kilómetro (MTC, 2014). Dado que el tramo evaluado tiene una longitud aproximada de 3 km, el número mínimo requerido era de tres calicatas; por tanto, la ejecución de cuatro puntos de exploración permitió cubrir el tramo con una frecuencia mayor a la mínima normativa.

La muestra empleada para el programa experimental con diatomita calcinada correspondió al suelo extraído de la calicata C-02. Esta selección no significa que el estudio geotécnico se haya limitado a un solo punto de exploración, sino que responde a un criterio técnico de condición crítica. A partir de los ensayos de caracterización realizados en las cuatro calicatas, la C-02 presentó el

comportamiento más desfavorable del tramo, debido a su mayor contenido de finos, mayor índice de plasticidad y menor valor de CBR.

La selección se llevó a cabo mediante un muestreo no probabilístico por criterio. Este tipo de muestreo se emplea cuando el investigador selecciona deliberadamente la unidad que mejor representa la condición de estudio (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018). En este caso, se adoptó la calicata C-02 porque permitió evaluar la influencia de la diatomita calcinada sobre el suelo más crítico identificado dentro del tramo analizado.

Desde el punto de vista del diseño vial, esta decisión es técnicamente pertinente, ya que el comportamiento de una subrasante suele estar condicionado por los sectores de menor capacidad de soporte (Huang, 2004). Por ello, el uso de la calicata C-02 como suelo base del programa experimental permitió analizar el tratamiento en el escenario más desfavorable, sin desconocer la caracterización comparativa realizada previamente en las demás calicatas.

Tabla 8

Criterios de similitud para el uso referencial de los resultados

Criterio	Valor del suelo base C-02	Condición de uso referencial	Verificación requerida en otro proyecto
Clasificación SUCS	CL	Suelos arcillosos de baja plasticidad o comportamiento equivalente	Clasificación SUCS mediante ASTM D2487
Clasificación AASHTO	A-7-6 (8)	Suelos arcillosos A-7, especialmente A-7-6	Clasificación AASHTO M 145
Límite líquido	41.63 %	Suelos con LL cercano o dentro del rango de plasticidad media	Ensayo de límites de Atterberg
Índice de plasticidad	18.50 %	Suelos con IP dentro del rango de plasticidad media	Ensayo de límites de Atterberg
Finos pasantes N.º 200	56.68 %	Suelos con predominio de fracción fina	Granulometría por tamizado/lavado
CBR inicial	3.75 %	Subrasantes insuficientes o de baja capacidad de soporte	CBR remojado del suelo natural
Compactación	OCH y MDS del suelo C-02	Suelos con comportamiento de compactación comparable	Proctor Modificado del nuevo suelo
Altitud del caso estudiado	2661 m s. n. m.	Zonas andinas o interandinas de altitud comparable	Verificación de ubicación, clima y régimen de humedad

Criterio	Valor del suelo base C-02	Condición de uso referencial	Verificación requerida en otro proyecto
Condición ambiental	Camino de bajo volumen expuesto a lluvias y remojo	No extrapolar sin verificación a costa, selva o zonas de clima muy distinto	Evaluación de humedad, drenaje y exposición al agua
Aditivo empleado	Diatomita calcinada fina, sílicea y con baja LOI	Usar como referencia para diatomitas de composición y finura semejante	FRX, DRX, finura, LOI, pH y sales del aditivo

Nota. Los criterios no constituyen una especificación de diseño. Delimitan el dominio técnico dentro del cual los resultados pueden emplearse como antecedente, siempre que se verifique el comportamiento del suelo y del aditivo mediante ensayos de laboratorio. La selección de aditivos para estabilización debe considerar tipo de suelo, plasticidad, granulometría, condiciones ambientales y ensayos de mezcla antes de su aplicación en obra (Christopher et al., 2006; U.S. Army Corps of Engineers & U.S. Air Force, 1994).

Con el fin de delimitar adecuadamente la muestra y asegurar coherencia metodológica, se establecieron los siguientes criterios:

Criterios de inclusión

- Calicatas ubicadas dentro del tramo km 26+000 al km 29+000 de la carretera AP-102.
- Suelos pertenecientes al estrato natural de subrasante.
- Calicatas ejecutadas conforme a la frecuencia mínima normativa para vías de bajo volumen de tránsito.
- Suelos clasificados como arcillosos o con alto contenido de finos, representativos del problema identificado.

Criterios de exclusión

- Calicatas incompletas o con alteración significativa del perfil natural.
- Sectores con presencia de rellenos artificiales o material no representativo de la subrasante original.
- Suelos con comportamiento granular predominante que no representen la condición crítica del tramo.

3.4.3 Justificación del número de repeticiones y unidades experimentales

La elección de tres repeticiones por tratamiento se considera adecuada para un estudio experimental de laboratorio, siempre que cada mezcla sea preparada de forma independiente y bajo condiciones controladas. Además, la comparación entre

tratamientos fue reforzada mediante verificación de supuestos, ANOVA de un factor, prueba de Tukey y estimación del tamaño del efecto.

De forma complementaria, se realizó un análisis de sensibilidad para ANOVA de un factor. Considerando $\alpha = 0.05$, el diseño permite detectar principalmente efectos grandes, aproximadamente desde $f = 1.20$ para una potencia cercana a 0.80. Por tanto, el diseño no está orientado a detectar variaciones pequeñas, sino cambios marcados entre dosificaciones.

En consecuencia, la inferencia experimental se realiza sobre las unidades preparadas con el suelo C-02 y los contenidos de diatomita calcinada evaluados. La aplicación de los resultados a otros suelos requiere verificar previamente la similitud geotécnica del material y repetir los ensayos básicos de diseño.

3.5 HIPÓTESIS.

Las hipótesis de la investigación se formularon en función del contenido de diatomita calcinada como variable independiente y de las propiedades geotécnicas del suelo arcilloso de subrasante evaluado como variables dependientes.

3.5.1 Hipótesis general.

La incorporación de diatomita calcinada, en contenidos de 0 %, 3 %, 6 %, 9 % y 12 %, modifica el comportamiento geotécnico del suelo arcilloso de subrasante evaluado, al reducir su plasticidad, variar sus parámetros de compactación Proctor Modificado y mejorar su capacidad de soporte en condición remojada.

3.5.2 Hipótesis específicas.

- La incorporación de diatomita calcinada reduce el índice de plasticidad del suelo arcilloso de subrasante evaluado, debido a la variación de los límites de Atterberg del suelo tratado.
- La incorporación de diatomita calcinada modifica los parámetros de compactación Proctor Modificado del suelo arcilloso de subrasante evaluado, incrementando el óptimo contenido de humedad y reduciendo la máxima densidad seca.
- La incorporación de diatomita calcinada incrementa el CBR remojado del suelo arcilloso de subrasante evaluado, tanto al 95 % como al 100 % de la MDS, y permite identificar una dosificación con mejor desempeño dentro de los niveles evaluados.

3.6 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.

Tabla 9

Variables e indicadores

Variable de estudio	Dimensión	Indicador
Variable independiente: Porcentaje de adición de diatomita calcinada (%)	Dosificación del aditivo	0 %, 3 %, 6 %, 9 %, 12 % (en peso seco)
Variable dependiente 1: Plasticidad de la subrasante	Plasticidad del suelo	Índice de plasticidad (IP)
Variable dependiente 2: Parámetros de compactación (Proctor Modificado)	Parámetros de compactación del suelo	Óptimo contenido de humedad (OCH), máxima densidad seca (MDS).
Variable dependiente 3: Capacidad de soporte	Resistencia a penetración	CBR al 95 % de la MDS y CBR al 100 % de la MDS

Nota. La operacionalización completa (definición conceptual y operacional, técnicas, unidades y escala de medición) se presenta en el Anexo A.2.

3.7 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS.

En la presente investigación, la recolección de datos se realizó a través de observación experimental con medición directa, debido a que se manipuló deliberadamente el contenido de diatomita calcinada y se registró su efecto sobre las variables de respuesta del suelo en condiciones controladas de laboratorio. De acuerdo con Arias (2016), la técnica constituye el procedimiento o la forma específica de conseguir información, mientras que el instrumento corresponde al recurso o medio utilizado para obtenerla y registrarla. En esa misma línea, Espinoza Montes (2014) señala que la observación experimental se presenta cuando se manipula la variable independiente y se contempla su efecto en la variable dependiente. En ese sentido, para la variable independiente se empleó la preparación controlada y la dosificación gravimétrica de la diatomita calcinada, mientras que, para las variables dependientes, los ensayos de laboratorio normalizados constituyeron la forma operativa de medición y los equipos utilizados en cada ensayo representaron los instrumentos de registro. Este criterio metodológico también guarda coherencia con lo descrito por Ñaupas Paitán et al. (2018).

3.7.1 Plasticidad (LL, LP, IP)

Técnica: Ensayo de límites de Atterberg conforme a ASTM D4318 y MTC E 110 / E 111.

Instrumentos: copa de Casagrande, herramienta de ranurado, espátulas, balanza de precisión, horno de secado y tamiz N.º 40.

3.7.2 Compactación (OCH y MDS)

Técnica: Ensayo Proctor Modificado conforme a ASTM D1557 y MTC E 115.

Instrumentos: molde Proctor, martillo Proctor Modificado, balanza, horno de secado, recipientes metálicos y herramientas de compactación.

3.7.3 Capacidad de soporte (CBR)

Técnica: Ensayo CBR en condición remojada (96 h), conforme a ASTM D1883 y MTC E 132.

Instrumentos: máquina CBR con célula de carga, moldes CBR, sobrecargas metálicas, sistema de medición de expansión y tanque de remojo.

Tabla 10

Normas técnicas empleadas y alcance de aplicación

Ensayo / procedimiento	Norma ASTM	Norma MTC	Alcance aplicado
Límites de Atterberg	ASTM D4318-17	MTC E 110 / MTC E 111	Determinación del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad en material pasante por el tamiz N.º 40.
Proctor Modificado	ASTM D1557-12(2021)	MTC E 115	Determinación del óptimo contenido de humedad y la máxima densidad seca mediante energía modificada.
CBR de laboratorio	ASTM D1883-21	MTC E 132	Determinación del CBR remojado durante 96 horas, al 95 % y 100 % de la MDS.
Clasificación SUCS	ASTM D2487-17e1	No aplica	Clasificación geotécnica del suelo según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.
Análisis granulométrico	ASTM D6913	MTC E 107	Determinación de la distribución granulométrica del suelo por tamizado.

Nota. Las normas indicadas fueron empleadas para asegurar que los ensayos de laboratorio se ejecuten bajo procedimientos técnicos comparables, trazables y reproducibles. Para la granulometría por tamizado se tomó como referencia ASTM D6913/D6913M-17(2021) y MTC E 107 (ASTM International, 2021d; MTC, 2016b).

3.8 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.

Los datos obtenidos en los ensayos de laboratorio de límites de Atterberg, Proctor Modificado y CBR en condición remojada 96 h fueron organizados por tratamiento y repetición, conforme al DCA, considerando cinco niveles de diatomita calcinada (0 %, 3 %, 6 %, 9 % y 12 %) y tres repeticiones por tratamiento.

3.8.1 Estadística descriptiva

En una primera etapa, la información fue organizada y depurada en Microsoft Excel. Posteriormente, para cada variable de respuesta se calcularon medidas descriptivas básicas, tales como la media, la desviación estándar y el coeficiente de variación. Estos estadísticos permitieron resumir la tendencia central, la dispersión de los datos y la consistencia entre repeticiones.

3.8.2 Verificación de supuestos del análisis paramétrico

Antes de la aplicación del ANOVA, se verificó el cumplimiento de sus supuestos fundamentales. La independencia de las observaciones estuvo garantizada por la aleatorización propia del DCA. La normalidad de los residuos se verificó con la prueba de Shapiro–Wilk, mientras que la homogeneidad de varianzas entre tratamientos se evaluó con la prueba de Levene. Cuando ambas pruebas presentaron valores de $p \geq 0.05$, se consideró razonable el cumplimiento de los supuestos del análisis paramétrico (Kutner et al., 2005; Montgomery, 2019).

Cuando los supuestos del análisis paramétrico no se cumplieran, se consideró como alternativa complementaria el uso de procedimientos robustos o no paramétricos, tales como el ANOVA de Welch o la prueba de Kruskal–Wallis.

3.8.3 Análisis inferencial (ANOVA)

Con el propósito de determinar si existían diferencias significativas entre los niveles de diatomita calcinada, se aplicó un análisis de varianza de un factor (ANOVA), en concordancia con la estructura del DCA empleada en la investigación. El modelo estadístico utilizado fue el correspondiente a un diseño de efectos fijos de un factor:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad (6)$$

donde Y_{ij} representa la observación j del tratamiento i , μ es la media general, τ_i es el efecto del tratamiento i y ε_{ij} es el error aleatorio asociado a cada observación (Montgomery, 2019; NIST/SEMATECH, 2012).

El criterio de decisión fue el siguiente: si $p < 0.05$, se rechazó la hipótesis nula de igualdad de medias; si $p \geq 0.05$, no se rechazó dicha hipótesis.

3.8.4 Comparaciones múltiples

Cuando el ANOVA evidenció diferencias significativas entre tratamientos, se utilizó la prueba post hoc de Tukey (HSD) para identificar de manera específica entre qué niveles de diatomita calcinada se presentaban dichas diferencias. Este procedimiento permitió controlar el error de tipo I asociado a comparaciones múltiples entre medias (Montgomery, 2019).

3.8.5 Análisis complementario de tendencia

Debido a que el contenido de diatomita calcinada constituye un factor cuantitativo y ordenado, se incorporó un análisis complementario de tendencia con la finalidad de describir la forma general de respuesta de las variables evaluadas.

3.8.6 Tamaño del efecto

Además de la significancia estadística, se estimó el tamaño del efecto mediante el coeficiente η^2 y ω^2 . El coeficiente η^2 se calculó:

$$\eta^2 = \frac{SS_{trat}}{SS_{total}} \quad (7)$$

donde SS_{trat} es la suma de cuadrados entre tratamientos y SS_{total} es la suma de cuadrados total (Richardson, 2011).

Se calculó el coeficiente omega cuadrado (ω^2), considerado un estimador menos sesgado del tamaño del efecto en análisis de varianza de un factor:

$$\omega^2 = \frac{SS_{trat} - (df_{trat} \cdot MS_E)}{SS_{total} + MS_E} \quad (8)$$

donde df_{trat} es la cantidad de grados de libertad del tratamiento y MS_E es el cuadrado medio del error (Lakens, 2013).

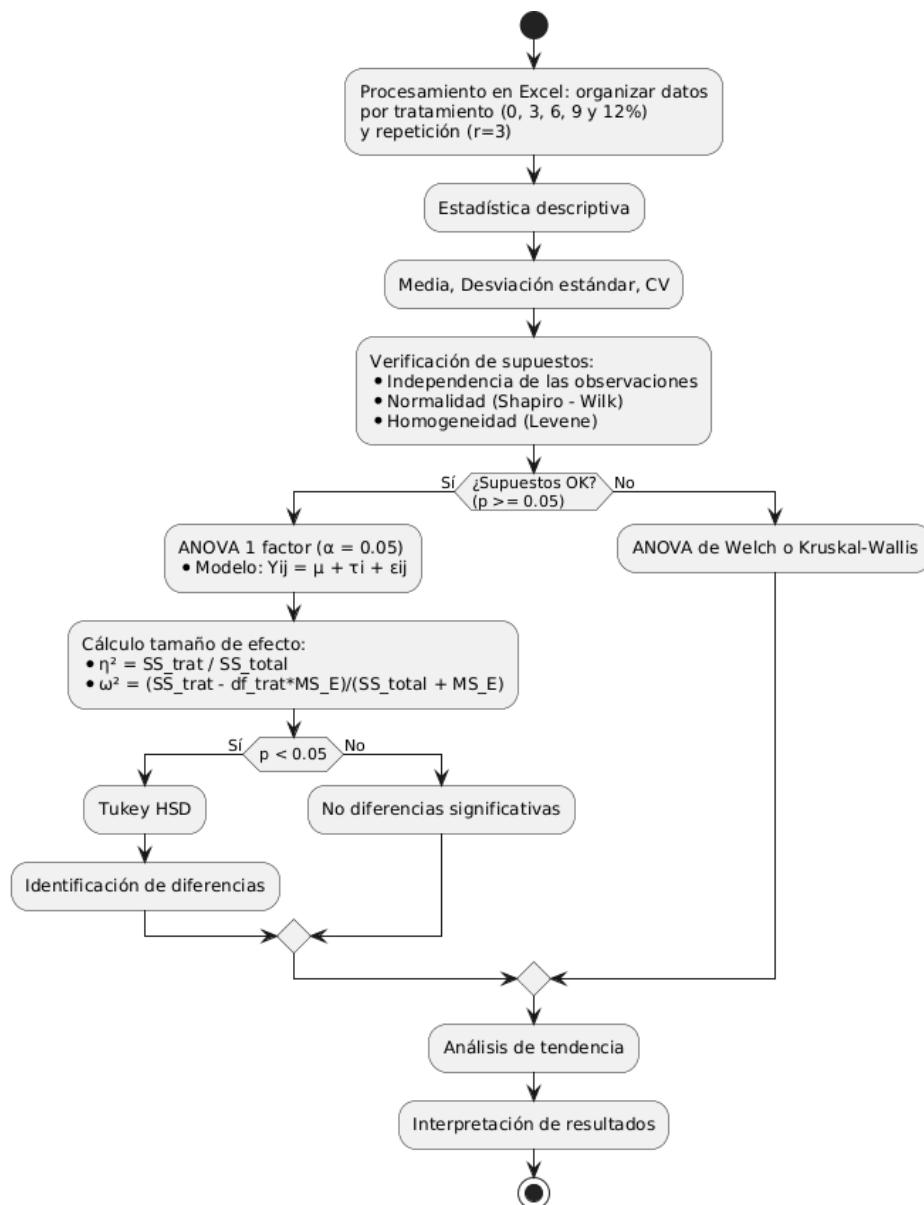
3.8.7 Software utilizado

El procesamiento estadístico descriptivo y la organización inicial de los datos se realizaron en Microsoft Excel. El análisis inferencial, la verificación de supuestos, las

comparaciones múltiples y el cálculo de los tamaños del efecto se efectuaron en IBM SPSS Statistics.

Figura 9

Flujo de análisis estadístico bajo DCA



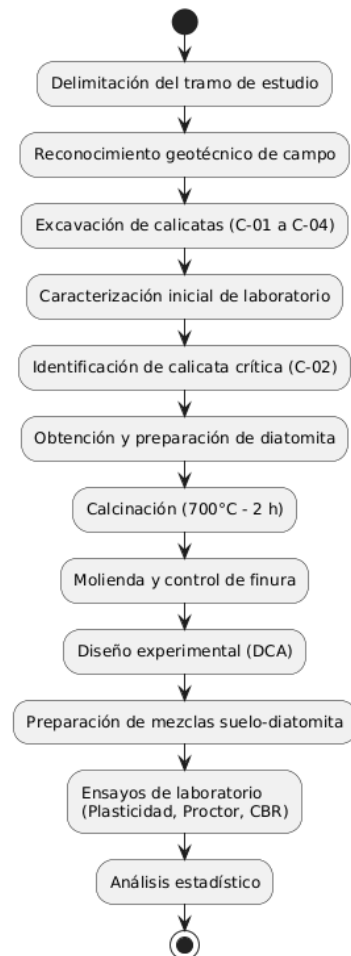
Nota. Diagrama que resume la forma en que se llevó a cabo el tratamiento y análisis de los datos, incluyendo estadística descriptiva en Excel, verificación de supuestos, ANOVA de un factor, cálculo del tamaño del efecto (η^2) y prueba post hoc de Tukey en SPSS.

3.9 DESARROLLO DEL TRABAJO DE TESIS

En esta sección se describe el procedimiento seguido durante la investigación. Se explica el reconocimiento del tramo, el muestreo de la subrasante, la selección de la calicata crítica, la preparación del aditivo (diatomita calcinada) y los ensayos con los tratamientos correspondientes.

Figura 10

Esquema general del desarrollo metodológico del trabajo de tesis



Nota. Diagrama que resume las etapas principales del trabajo, desde la delimitación del tramo y el muestreo en campo hasta el programa experimental y análisis estadístico.

3.9.1 Localización del proyecto y delimitación del área de estudio

3.9.1.1 Ubicación geográfica del proyecto

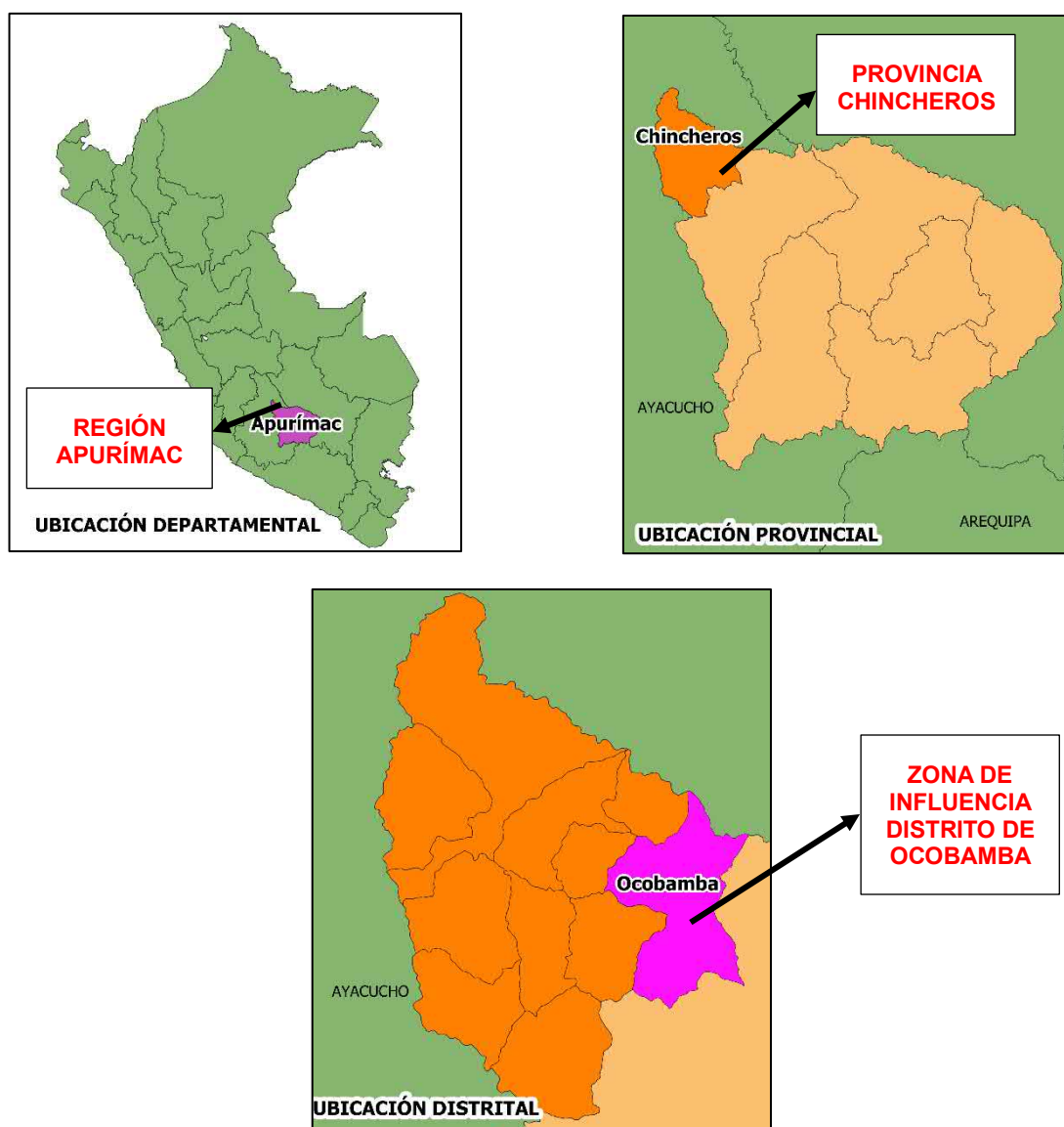
El área de estudio se ubica en la carretera departamental AP-102, en el sector Sarahuarcay, distrito de Ocobamba, provincia de Chincheros, región Apurímac. Para el trabajo de campo se delimitó el tramo comprendido entre las progresivas km 26+000 y km 29+000, lo que permitió ubicar con precisión las calicatas y mantener la trazabilidad espacial del estudio.

Esta ubicación corresponde a la población accesible y al caso de estudio de la investigación. La población objetivo, en cambio, se define por el comportamiento geotécnico del suelo arcilloso evaluado, por lo que la localización del tramo permite obtener y caracterizar el material base, pero no limita el valor del estudio únicamente a ese punto geográfico.

Según el MTC (2016a), la ruta AP-102 forma parte de la red vial departamental de Apurímac y presenta tramos en condición de afirmado. Asimismo, en documentación técnica vinculada al tramo AP-102 (Umaca) – emp. AP-531 (Sarahuarcay) se hace referencia al Manual de Caminos de Bajo Volumen de Tránsito, por lo que el sector evaluado se enmarca técnicamente dentro de este tipo de vía (Sistema Electrónico de Contrataciones del Estado, 2017). En ese contexto, el tramo seleccionado resulta adecuado para evaluar el comportamiento de la subrasante arcillosa y el efecto de la diatomita calcinada como alternativa de mejoramiento.

Figura 11

Ubicación del área de estudio en la carretera AP-102 (km 26+000 – km 29+000), sector Sarahuarcay, distrito de Ocobamba, región Apurímac.



Nota: Elaboración propia con base en cartografía administrativa del Perú.

3.9.1.2 Ubicación de los puntos de muestreo (calicatas C-01 a C-04)

Dentro del tramo delimitado (km 26+000–km 29+000) se establecieron cuatro puntos de muestreo, correspondientes a las calicatas C-01, C-02, C-03 y C-04, ubicadas en las progresivas 26+220, 26+440, 27+700 y 28+500, respectivamente. Estos puntos se seleccionaron con el fin de cubrir de manera adecuada el tramo de estudio y permitir una comparación directa entre puntos del tramo de las condiciones geotécnicas de la subrasante.

Tabla 11

Ubicación de calicatas para muestreo de subrasante

N.º	Calicata	Norte (UTM)	Este (UTM)	Cota (m)	Progresiva
1	C-01	8504179.74	661188.09	2672.00	26+220
2	C-02	8504305.20	661072.49	2661.00	26+440
3	C-03	8505217.08	660850.71	2574.00	27+700
4	C-04	8505252.35	660101.00	2529.00	28+500

Nota. Las coordenadas y cotas corresponden al levantamiento de campo y permiten la trazabilidad de las calicatas y del material muestreado.

Figura 12

Ubicación del tramo de estudio de la carretera AP-102 entre las progresivas km 26+000 y km 29+000.



Nota: La figura presenta la localización espacial del tramo analizado, incluyendo el trazo vial, las progresivas de control y los puntos de referencia que han sido utilizados durante el reconocimiento de campo. Elaboración propia a partir de imagen satelital de Google Earth.

3.9.2 Trabajo de campo: reconocimiento geotécnico y muestreo de la subrasante

El trabajo de campo comprendió el reconocimiento geotécnico del tramo km 26+000–km 29+000 de la carretera AP-102 (sector Sarahuarcay) y la ejecución de actividades de muestreo orientadas a caracterizar la subrasante. La identificación preliminar en campo se realizó mediante descripción visual–manual (ASTM International, 2017b), mientras que la clasificación final y la comparación geotécnica se respaldan con ensayos en laboratorio (SUCS, Atterberg y CBR) según normas ASTM correspondientes.

La ejecución de cuatro calicatas en el tramo km 26+000 – km 29+000 se sustentó tomando como referencia el criterio mínimo de exploración establecido por el MTC (2014) para caminos de bajo volumen de tránsito, el cual considera 1 calicata por kilómetro. Dado que el tramo evaluado tiene una longitud aproximada de 3 km, el número mínimo de exploraciones bajo ese criterio hubiera sido de tres calicatas; en consecuencia, la ejecución de cuatro puntos de muestreo permitió cubrir el tramo con una frecuencia un poco mayor a la mínima exigida y mejorar la representatividad del reconocimiento geotécnico de campo.

3.9.2.1 Excavación de calicatas y descripción del suelo

Se ejecutaron cuatro calicatas (C-01 a C-04) en las progresivas 26+220, 26+440, 27+700 y 28+500, registrando su ubicación y la estratigrafía observada. La clasificación definitiva del material se determinó en laboratorio, en función de ensayos de granulometría, límites de Atterberg y CBR. La información resumida de ubicación, profundidad y contenido de humedad se presenta en la Tabla 12.

Tabla 12

Ficha resumida de calicata y estratigrafía

Calicata	UTM Este	UTM Norte	Cota (m)	Prof. final (m)	Estratos (desde–hasta) (m)	Contenido de humedad, w (%)
C-01	661188.09	8504179.74	2672	1.50	0.40–1.50	11.22
C-02	661072.49	8504305.20	2661	1.50	0.40–1.50	11.65
C-03	660850.71	8505217.08	2574	1.50	0.20–1.50	9.66
C-04	660101.00	8505252.35	2529	1.50	0.20–1.50	9.85

Nota. La descripción visual-manual en campo se realizó conforme al procedimiento ASTM D2488 (ASTM International, 2017b).

A continuación, se presentan las evidencias fotográficas de las calicatas, las cuales documentan su ubicación y el material expuesto durante la excavación, respaldando el registro estratigráfico y el muestreo efectuado.

Figura 13

Calicatas C-01 a C-04: evidencia fotográfica de excavación en el tramo evaluado



(a)



(b)



(c)



(d)

Nota. Imágenes correspondientes a las calicatas ejecutadas durante el reconocimiento geotécnico de campo: (a) C-01, (b) C-02, (c) C-03 y (d) C-04. Se observa la ubicación de cada punto de muestreo y la condición del material expuesto en la subrasante. Fotografías del archivo personal del autor.

3.9.2.2 Muestreo y selección de la calicata crítica

En cada una de las cuatro calicatas ejecutadas (C-01, C-02, C-03 y C-04) se extrajeron muestras alteradas representativas del estrato de subrasante, las cuales fueron rotuladas en campo y transportadas al laboratorio bajo condiciones que minimizaran la pérdida de humedad y la contaminación del material.

Figura 14

Transporte de muestras de las calicatas C-01, C-02, C-03 y C-04



Nota. Se observan las muestras alteradas representativas de las cuatro calicatas, rotuladas y acondicionadas para su transporte al laboratorio. Fotografía del archivo personal del autor.

Sobre estas muestras se realizó una evaluación de comparación inicial mediante pruebas de granulometría, límites de Atterberg, clasificación SUCS y AASHTO y determinación del CBR inicial, con el propósito de identificar la condición más desfavorable del tramo.

Figura 15

Vertido de muestra sobre tamices normalizados para el ensayo de análisis granulométrico



Nota. Transferencia del material desde bandeja hacia el juego de mallas estandarizadas durante el procedimiento de análisis granulométrico por tamizado. Fotografías del archivo personal del autor.

La selección de la calicata crítica se efectuó bajo un criterio de peor caso, adoptándose como muestra base aquella que presentó la menor capacidad de soporte, complementada por una mayor proporción de finos y mayor plasticidad

relativa respecto a las demás. Bajo este enfoque, la calicata C-02 fue seleccionada como muestra base para el programa experimental con adición de diatomita calcinada. Los resultados comparativos que sustentan esta selección se presentan en el capítulo de resultados.

3.9.3 Preparación y control del aditivo (diatomita calcinada)

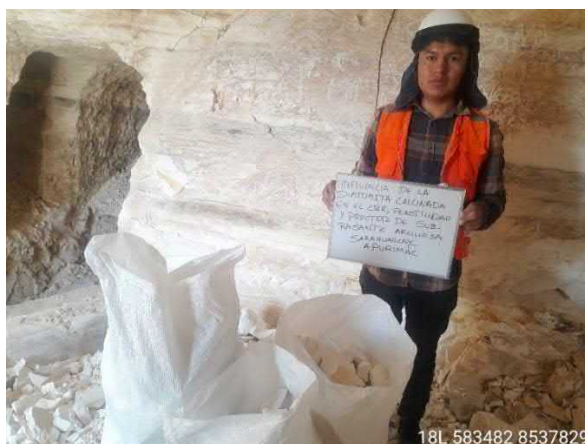
La preparación de la diatomita calcinada tuvo como finalidad obtener un aditivo fino, seco y homogéneo antes de incorporarlo al suelo. Además, los ensayos físicos, químicos y mineralógicos permitieron describir su composición silícea, su finura y su posible potencial puzolánico, sin asumir que el material quede certificado como puzolana comercial. Este criterio se tomó como referencia de la NTP 334.150:2018 y la ASTM C593-19, aplicables a puzolanas usadas con cal en estabilización de suelos, así como de la ASTM C311/C311M-25 para la caracterización de puzolanas naturales crudas o calcinadas (ASTM International, 2019a, 2025; Instituto Nacional de Calidad, 2018).

3.9.3.1 Obtención de diatomita y acondicionamiento físico previo

La diatomita se obtuvo como muestra alterada directamente del estrato diatomítico de la cantera Tambillo, priorizando material fresco y evitando la capa superficial alterada. El muestreo, conservación y transporte del material se realizaron siguiendo los criterios generales establecidos en el Manual de Ensayo de Materiales del MTC (sección suelos), con el fin de preservar la integridad del material hasta su acondicionamiento en laboratorio.

Figura 16

Extracción de diatomita en cantera Tambillo (muestra base del aditivo)



Nota. Imagen correspondiente a la etapa de obtención del material, registrando el punto de extracción en cantera y la recolección de diatomita para su acondicionamiento posterior. Fotografía del archivo personal del autor.

En laboratorio, la diatomita natural fue secada al aire y luego pasada por molino, con la finalidad de obtener un material de tamaño más uniforme. Posteriormente, se realizó la reducción de muestra para obtener porciones representativas, destinadas a la etapa de calcinación y a los ensayos correspondientes. En las Figuras 17 y 18 se muestra el equipo empleado en este proceso y el material obtenido luego de su paso por el molino.

Figura 17

Proceso de molienda de la diatomita natural en molino



Nota. Se observa el proceso de molido de la diatomita natural en el equipo y la descarga del material resultante, previo a su calcinación. Fotografía del archivo personal del autor.

Figura 18

Diatomita natural luego del proceso de molienda



Nota. Fotografía tomada por el autor en laboratorio. Se aprecia una porción de la diatomita natural luego de su procesamiento en molino, con una granulometría más uniforme para su posterior calcinación y empleo en los ensayos.

3.9.3.2 Calcinación controlada de la diatomita

La diatomita acondicionada fue calcinada en horno tipo mufla a 700 °C durante 2 h. Esta condición no se adoptó como una exigencia normativa única, sino como un régimen técnico de preparación del aditivo, orientado a reducir humedad residual, eliminar componentes volátiles y obtener un material más estable para el mezclado. La condición adoptada se sustenta en la literatura revisada y en los criterios resumidos en la Tabla 7. Desde el enfoque normativo, la calcinación y posterior caracterización se interpretan como parte del control del material silíceo, tomando como referencia normas sobre puzolanas naturales crudas o calcinadas (ASTM International, 2019a, 2022; Instituto Nacional de Calidad, 2018).

Figura 19

Calcinación de diatomita en horno tipo mufla (700 °C, 2 h)



Nota. Evidencia del tratamiento térmico aplicado a un lote de diatomita para la obtención del aditivo en condición calcinada, bajo el régimen de calcinación definido en el estudio. Fotografía proporcionada por Laboratorio Geotécnico INGEOTECON.

3.9.3.3 Molienda y control de finura del aditivo

Posteriormente, la diatomita calcinada fue sometida a un proceso de molienda hasta obtener un material fino y homogéneo. El control de finura se realizó mediante tamizado con tamices normalizados conforme a ASTM E11 (ASTM International, 2020).

Figura 20

Muestra de diatomita calcinada (aditivo listo para mezclas)



Nota. Se observa una porción del aditivo final (diatomita calcinada) en estado pulverulento y seco, durante la etapa de acondicionamiento previo al mezclado. Esta evidencia corresponde al material ya tratado térmicamente (700 °C, 2 h) y preparado para su incorporación en las mezclas suelo-aditivo. Fotografía tomada por el autor.

El procedimiento de separación por vía húmeda descrito en ASTM C117 fue empleado únicamente como método operativo de control granulométrico, sin que ello implique la eliminación intencional de finos ni la modificación de la granulometría del aditivo, considerando que la diatomita constituye en sí un material fino (ASTM International, 2017a).

Figura 21

Control de finura del aditivo: diatomita calcinada pasante por malla N.° 325 en suspensión acuosa



Nota. Se observa la fracción fina de diatomita calcinada pasante por la malla N.° 325 (0.045 mm) dispuesta en suspensión acuosa durante el procedimiento de control de finura y manejo del material fino. Esta etapa permite verificar la homogeneidad del aditivo y facilitar su manipulación posterior, sin alterar su composición granulométrica. El control de tamaño de partícula se realizó mediante tamices normalizados conforme a ASTM E11. Fotografía proporcionada por Laboratorio Geotécnico INGEOTECON.

3.9.3.4 Caracterización física, química y mineralógica de la diatomita calcinada

Con el fin de sustentar técnicamente el empleo de la diatomita calcinada como aditivo en la presente investigación, se realizó su caracterización mediante ensayos físicos, químicos y mineralógicos. Para ello, se determinaron la gravedad específica, la pérdida por ignición, la finura del material, la composición química por fluorescencia de rayos X (FRX) y la mineralogía mediante difracción de rayos X (DRX). Los resultados físicos y de control del material calcinado se aprecian en la Tabla 13.

Tabla 13

Propiedades físicas y de control de la diatomita calcinada

Propiedad / ensayo	Norma o referencia	Resultado	Unidad / observación
Gravedad específica (Gs)	ASTM D854	2.247	—
Pérdida por ignición (LOI)	ASTM C114	1.7	%
Finura: pasa malla N.º 200	ASTM E11	100	% (0.075 mm)
Finura: pasa malla N.º 325	ASTM E11	20.3	% (0.045 mm)

Nota. Resultados correspondientes a la diatomita calcinada empleada en la investigación. El material fue sometido previamente a un tratamiento térmico de 700 °C durante 2 h (ASTM International, 2014, 2018, 2020).

En términos generales, la diatomita calcinada presentó una gravedad específica propia de un material silíceo fino, baja pérdida por ignición y una finura adecuada para su incorporación en las mezclas suelo–aditivo. Estas características resultan útiles para su empleo como material de modificación, ya que permiten contar con un aditivo seco, fino y de comportamiento relativamente uniforme.

De manera complementaria, se consideró la determinación de pH, cloruros, sulfatos y sales solubles totales (SST) del material calcinado. Si bien estos parámetros no constituyen el eje principal de la investigación, su incorporación permite contar con una referencia química adicional del aditivo y verificar la presencia de sales solubles que podrían influir en su interacción con el suelo, tal como se observa en la Tabla 14.

Tabla 14

Parámetros químicos complementarios de la diatomita calcinada

Parámetro	Referencia	Resultado	Unidad
pH	Manual de Ensayo de Materiales del MTC	6.97	—
Cloruros	Manual de Ensayo de Materiales del MTC	426.0	ppm

Parámetro	Referencia	Resultado	Unidad
Sulfatos	Manual de Ensayo de Materiales del MTC	37.1	ppm
Sales solubles totales (SST)	Manual de Ensayo de Materiales del MTC	464.2	ppm

Nota. Resultados correspondientes al análisis químico complementario de la diatomita calcinada.

Los resultados del análisis químico complementario indican que la diatomita calcinada presentó un pH de 6.97, con contenidos de cloruros de 426.0 ppm, sulfatos de 37.1 ppm y sales solubles totales de 464.2 ppm. En conjunto, estos valores permiten describir la condición química inicial del material y aportan una referencia complementaria para su caracterización dentro de la presente investigación.

En cuanto a la composición química global del material, se comparó la diatomita calcinada utilizada en la investigación con la diatomita natural reportada para la cantera Tambillo. Esta comparación resulta útil puesto que ambas proceden del mismo yacimiento y permite apreciar el comportamiento del material luego del tratamiento térmico aplicado. Los resultados se presentan en la Tabla 15.

Tabla 15

Comparación referencial de la composición química en óxidos de la diatomita natural y calcinada de la cantera Tambillo

Óxido	Diatomita natural (%)	Diatomita calcinada (%)
SiO ₂	85.78	94.797
Al ₂ O ₃	2.71	1.268
Fe ₂ O ₃	1.22	2.289
CaO	0.64	0.936
MgO	0.55	0.003
Na ₂ O	0.25	0.003
TiO ₂	0.14	0.279

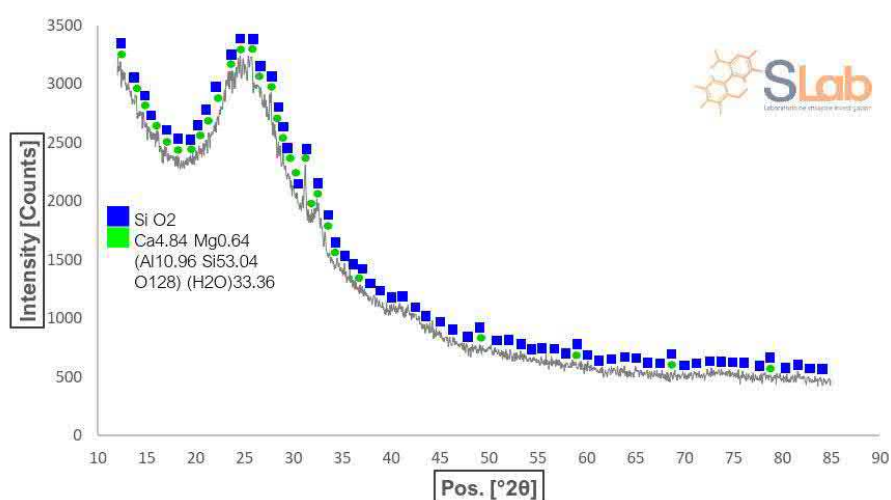
Nota. Elaboración propia a partir de Ramírez Carrión (2012) para la diatomita natural de Tambillo y del informe de ensayo IE-2025-5742 para la diatomita calcinada analizada en esta investigación.

Como se aprecia en la tabla anterior, la diatomita calcinada mantuvo un carácter marcadamente silíceo, con un contenido de SiO_2 de 94.797 %, superior al valor reportado para la diatomita natural del mismo yacimiento. Este resultado respalda el interés técnico del material como aditivo fino, debido a que confirma el predominio de sílice dentro de su composición.

Desde el punto de vista mineralógico, el difractograma de rayos X permitió identificar dos fases cristalinas principales y mostró también un fondo difuso amplio, lo que indica la presencia de una fracción de baja cristalinidad o de posible componente amorfo. Sin embargo, como el laboratorio no reportó una cuantificación específica del amorfismo, esta interpretación debe asumirse únicamente en términos cualitativos. La Figura 22 presenta el difractograma correspondiente a la muestra calcinada analizada.

Figura 22

Difractograma de rayos X de la diatomita calcinada de la cantera Tambillo



Nota. Reproducido del informe de ensayo IE-2025-5742. El laboratorio identificó dos fases cristalinas principales y no reportó cuantificación específica de la fracción amorfa; por ello, el posible amorfismo se interpreta solo de manera cualitativa.

Esta caracterización resulta necesaria porque el comportamiento de la diatomita no depende solo de su nombre comercial o mineralógico, sino de su fuente, composición, finura y tratamiento térmico. En ese sentido, la ASTM C593-19 reconoce a la diatomita, cruda o calcinada, como una puzolana natural evaluable para estabilización de suelos con cal, pero exige que la fuente del material sea calificada mediante ensayos relacionados con finura, fracción soluble y desarrollo de resistencia (ASTM International, 2019a). Por ello, los resultados de esta investigación deben asociarse a la diatomita calcinada procedente de Tambillo y a sus propiedades físicas, químicas y mineralógicas determinadas en laboratorio.

3.9.4 Aplicación del diseño experimental (Diseño Completamente Aleatorizado – DCA)

El programa experimental se ejecutó bajo un DCA. Para ello, se prepararon unidades experimentales en laboratorio a partir del suelo base obtenido de la calicata C-02, manteniendo el mismo material de partida para todos los tratamientos.

3.9.4.1 Tratamientos (niveles del factor)

El factor experimental fue el contenido de diatomita calcinada, que ha sido definido como porcentaje en masa respecto al peso seco del suelo. Se trabajó con cinco tratamientos: T0: 0 % (control), T1: 3 %, T2: 6 %, T3: 9 %, T4: 12 %.

El rango de 0 % a 12 % se definió a partir de antecedentes recientes sobre estabilización de suelos con materiales silíceos, puzolánicos o de comportamiento similar. Estos estudios muestran que la mejora del suelo suele presentarse en dosificaciones bajas o intermedias, mientras que contenidos más altos pueden no generar mejoras adicionales o incluso reducir parte del beneficio alcanzado.

Tabla 16

Antecedentes recientes usados para justificar el rango de dosificación

Autor	Aditivo empleado	Dosificación evaluada	Aporte para esta investigación
Kulanthaivel et al. (2024)	Sílice precipitada	0 %, 3 %, 6 %, 9 % y 12 %	Reportó mejor desempeño con 6 %, usando el mismo rango de dosificación de esta tesis.
Dao et al. (2022)	Metacaolín	2 %, 4 %, 6 %, 8 % y 10 %	El CBR y la resistencia aumentaron hasta 6 %, y luego disminuyeron.
Al-Gharbawi et al. (2022)	Humo de sílice, cal y cemento	5 %, 7 % y 9 %	Usó contenidos intermedios para mejorar suelos expansivos y capacidad portante.
Zaini et al. (2024)	Humo de sílice	6 % como contenido óptimo	Consideró 6 % de humo de sílice como contenido óptimo para suelo caolinítico.
Waleed & Alshawmar (2025)	Humo de sílice y residuo de carbón	3 % a 12 %	Evaluó estabilizantes finos dentro del mismo intervalo general usado en esta tesis.
Syahril et al. (2025)	Calcita y humo de sílice	6 %, 8 %, 10 % y 12 %	Reportó mejora del CBR dentro del rango superior de 6 % a 12 %.

Nota. Los antecedentes muestran que los aditivos silíceos o puzolánicos suelen evaluarse en rangos bajos e intermedios. Por ello, el intervalo de 0 % a 12 %, con incrementos de 3 %, permite identificar una dosificación eficiente sin sobredosificar el suelo tratado.

3.9.4.2 Unidades experimentales y repeticiones

La unidad experimental fue cada muestra preparada para los ensayos normalizados (límites de Atterberg, Proctor Modificado y CBR). Se realizaron tres repeticiones por tratamiento, preparadas como mezclas independientes, desde la dosificación hasta el moldeado y ensayo, para asegurar la independencia de observaciones.

3.9.4.3 Preparación estandarizada de mezclas (suelo–diatomita)

La masa de diatomita calcinada incorporada en cada tratamiento se estableció de acuerdo con el porcentaje de dosificación en relación con la masa seca del suelo, mediante la siguiente expresión:

$$M_{DC} = \left(\frac{\%DC}{100} \right) M_S \quad (9)$$

donde M_{DC} es la masa de diatomita calcinada, $\%DC$ es el porcentaje de diatomita calcinada empleado en la mezcla y M_S es la masa seca del suelo. En el presente estudio, los porcentajes de dosificación considerados fueron 0 %, 3 %, 6 %, 9 % y 12 %. Todas las mezclas se prepararon de manera independiente para cada repetición.

Como parte de la preparación estandarizada de las mezclas, la masa de diatomita calcinada correspondiente a cada tratamiento fue determinada mediante pesaje en balanza, de acuerdo con la dosificación gravimétrica establecida. Este control permitió asegurar que cada mezcla incorporara la cantidad exacta de aditivo antes de su combinación con el suelo base. La Figura 23 muestra el pesaje de una muestra de diatomita calcinada antes de su incorporación en las mezclas suelo–diatomita.

Figura 23

Pesaje de diatomita calcinada para la preparación de mezclas suelo–aditivo



Nota. Se observa el pesaje de una muestra de diatomita calcinada en balanza, realizado como parte del control de dosificación gravimétrica previo a la preparación de las mezclas suelo–aditivo. Fotografía del archivo personal del autor.

Aleatorización

El orden de preparación de las mezclas y la secuencia de ejecución de los ensayos se definieron de forma aleatoria, con el fin de reducir posibles efectos por tiempo de espera, operador o condiciones del ambiente de laboratorio.

Figura 24

Preparación de muestras de suelo–diatomita calcinada para el ensayo de límites de Atterberg (LL–LP–IP)



Nota. Muestras correspondientes a los tratamientos experimentales (0 %, 3 %, 6 %, 9 % y 12 % de diatomita calcinada), preparadas bajo DCA para la determinación de los límites de Atterberg. Fuente: elaboración propia.

3.9.5 Programa de ensayos de laboratorio para la evaluación de variables dependientes

Con el propósito de medir el efecto de la diatomita calcinada en la subrasante arcillosa, se ejecutó un programa de ensayos normalizados orientado a determinar las variables dependientes del estudio: CBR, parámetros Proctor (OCH y MDS) y parámetros de plasticidad (LL, LP e IP). Estos ensayos se desarrollaron bajo normas ASTM y bajo procedimientos equivalentes contemplados en el Manual de Ensayo de Materiales del MTC.

Los ensayos se ejecutaron bajo el mismo procedimiento y condiciones para todos los tratamientos, garantizando la comparabilidad experimental.

3.9.5.1 Ensayo de límites de Atterberg (variable dependiente: LL, LP e IP)

Normas de referencia

- **ASTM D4318-17:** Determinación del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos.
- **MTC E 110:** Determinación del límite líquido.
- **MTC E 111:** Determinación del límite plástico e índice de plasticidad.

Objetivo del ensayo

Determinar los límites de consistencia de la subrasante que ha sido tratada, específicamente el límite líquido (LL), el límite plástico (LP) y el índice de plasticidad ($IP = LL - LP$). Estos parámetros permitieron evaluar la sensibilidad del suelo al contenido de agua e indicar si la incorporación de diatomita calcinada produjo cambios en la plasticidad de la subrasante arcillosa.

Procedimiento del ensayo

Para cada tratamiento se obtuvo la porción de suelo que pasa por el tamiz N.º 40, conforme al procedimiento normalizado. Posteriormente, el material fue mezclado con agua destilada hasta formar una pasta homogénea, procurando evitar la pérdida de finos durante la preparación. En la Figura 25 se muestran los especímenes preparados para los ensayos de límites de consistencia, mientras que en la Figura 26 se observa el acondicionamiento de la muestra antes de su evaluación.

Figura 25

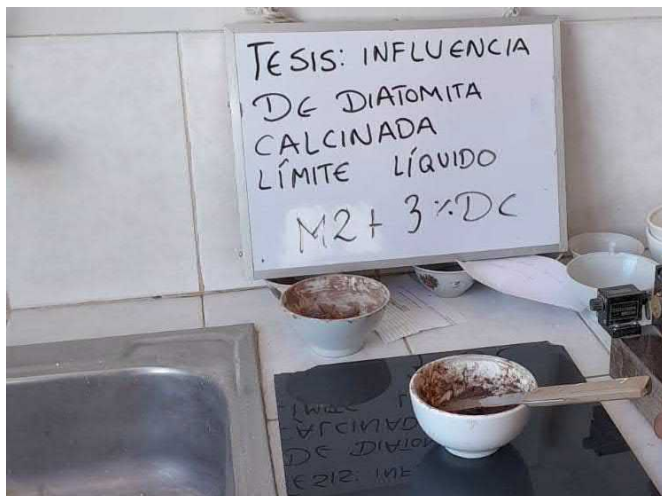
Especímenes preparados para los ensayos de límites de consistencia



Nota. Fotografía tomada por el autor en laboratorio. Se observan 15 especímenes correspondientes a cinco tratamientos con tres repeticiones.

Figura 26

Muestra de material acondicionado con agua para ensayo



Nota. Fotografía tomada por el autor en laboratorio.

La determinación del límite líquido se realizó utilizando el dispositivo normalizado de Casagrande, registrando la cantidad de golpes que ha sido requerida para el cierre de la ranura del material. Esta etapa se muestra en la Figura 27. Luego, la muestra utilizada en el ensayo fue llevada al horno para establecer el contenido de humedad correspondiente, con el cual se obtuvo el valor del límite líquido. Este procedimiento se presenta en la Figura 28.

Figura 27

Ensayo de Límite Líquido: material ranurado en la copa de Casagrande



Nota. Material de suelo y diatomita calcinada al 3 % preparado y dispuesto en la copa de Casagrande, con la ranura normalizada. Fotografía del archivo personal del autor.

Figura 28

Ensayo de límite líquido (LL): secado de la muestra en horno



Nota. Colocación de la muestra empleada en el ensayo de LL en horno de secado para establecer el contenido de humedad. Fotografía del archivo personal del autor.

Para la determinación del límite plástico, se tomó una porción representativa de la pasta de cada tratamiento y se conformaron manualmente barritas sobre una superficie lisa hasta alcanzar el diámetro normativo aproximado de 3.2 mm. La Figura 29 muestra esta etapa del ensayo. El límite plástico se identificó cuando las barritas empezaron a desmoronarse al llegar a dicho diámetro, condición que se observa en la Figura 30.

Figura 29

Ensayo de LP: conformación de barritas (rollitos) del suelo



Nota. Fotografía tomada por el autor en laboratorio. Conformación manual de barritas de suelo (rollitos) a partir de la pasta correspondiente a cada tratamiento.

Figura 30

Ensayo de LP: barritas en condición de desmoronamiento



Nota. Evidencia del desmoronamiento de las barritas de suelo al lograr un diámetro aproximado de 3.2 mm, condición que define el LP del material ensayado.

Luego, las muestras fueron pesadas en balanza analítica y secadas en horno para determinar su contenido de humedad, tal como se observa en la Figura 31. Finalmente, el índice de plasticidad se calculó como la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

Figura 31

Ensayos de plasticidad: pesado de muestras en balanza analítica



Nota. Determinación de la masa de las muestras de suelo empleadas en los ensayos de LL y LP mediante balanza analítica, como parte del procedimiento para el cálculo del contenido de humedad asociado a los límites de consistencia.

3.9.5.2 Ensayo de compactación Proctor (variable dependiente: OCH y MDS)

Normas de referencia

- **ASTM D1557-12(2021):** Determinación de las características de compactación del suelo en laboratorio utilizando energía modificada.
- **MTC E 115:** Compactación del suelo en laboratorio utilizando energía modificada (Proctor modificado).

Objetivo del ensayo

Determinar la relación de humedad y densidad seca del suelo tratado, con el fin de obtener la máxima densidad seca (MDS) y el óptimo contenido de humedad (OCH). Estos parámetros permitieron evaluar si la diatomita calcinada modificó la compactabilidad del suelo y sirvieron como base para el moldeo de las probetas empleadas en los ensayos posteriores.

Procedimiento del ensayo

Para cada tratamiento se preparó una muestra representativa de la mezcla suelo–diatomita calcinada, procurando mantener su homogeneidad y evitar la pérdida de finos durante la manipulación, como se muestra en la Figura 32. Luego se añadió agua en incrementos controlados para obtener diferentes contenidos de humedad y construir la curva de compactación de cada tratamiento, etapa observada en la Figura 33. El ensayo se ejecutó mediante el método A, utilizando material pasante por el tamiz N.º 4, molde de 4 pulgadas, cinco capas y 25 golpes por capa; este mismo procedimiento se mantuvo para el suelo natural y todas las mezclas, con el fin de comparar directamente los valores de OCH y MDS.

Figura 32

Acondicionamiento de muestras para el ensayo Proctor modificado



Nota. Se observan cuatro muestras de suelo y recipientes con diatomita calcinada antes de su mezcla para el ensayo de compactación. Fotografía del archivo personal del autor.

Figura 33

Ensayo Proctor Modificado: adición controlada de agua a la muestra



Nota. Adición gradual de agua a la mezcla suelo–diatomita calcinada durante la etapa de preparación del ensayo Proctor Modificado, con el fin de ajustar el contenido de humedad y lograr una distribución homogénea antes de la compactación en molde.

Luego, el material fue compactado en el molde empleando la energía que corresponde al ensayo Proctor Modificado. La compactación se realizó por capas, siguiendo el procedimiento normalizado, hasta obtener los especímenes necesarios para cada punto de humedad evaluado. La Figura 34 muestra esta etapa del ensayo.

Figura 34

Ensayo Proctor Modificado: compactación de la muestra por capas



Nota. Compactación de la mezcla suelo–diatomita calcinada en el molde mediante la aplicación de energía Proctor Modificado, ejecutada por capas sucesivas con el fin de alcanzar la densidad requerida para la determinación de la MDS y el OCH.

Después de la compactación, se tomaron submuestras representativas para establecer el contenido de humedad conforme al método normalizado. Estas muestras fueron pesadas en balanza analítica, como se aprecia en la Figura 35, y posteriormente llevadas al horno para su secado, tal como se muestra en la Figura 36. Con los valores obtenidos se calcularon la densidad húmeda y la densidad seca correspondientes a cada punto ensayado.

Figura 35

Pesaje de especímenes para determinación de humedad en el ensayo Proctor modificado



Nota. Se observa el pesaje de pequeños especímenes de suelo en balanza analítica para el cálculo del contenido de humedad.

Figura 36

Ensayo Proctor Modificado: secado de muestras en horno



Nota. Colocación de las muestras compactadas en horno de secado para la determinación del contenido de humedad, etapa necesaria para el cálculo de la densidad seca correspondiente a cada punto de la curva de compactación del ensayo Proctor Modificado.

Finalmente, se construyó la curva de compactación γ_d vs. w , a partir de la cual se determinaron la MDS y el OCH para cada tratamiento.

3.9.5.3 Ensayo CBR de suelos compactados en laboratorio (CBR remojado y expansión)

Normas de referencia

- **ASTM D1883-21:** Determinación del índice CBR de suelos compactados en laboratorio.
- **MTC E 132:** Determinación del CBR de suelos en laboratorio.

Objetivo del ensayo

Determinar la capacidad de soporte de la subrasante tratada con diatomita calcinada, evaluando la resistencia que ofrece el material ante la penetración de un pistón estándar sobre probetas compactadas en laboratorio y ensayadas en condición remojada durante 96 h. De manera complementaria, se registró la expansión del espécimen durante el periodo de remojo, con el fin de contar con una mejor apreciación del comportamiento del suelo bajo condiciones desfavorables de humedad.

Procedimiento del ensayo

Para cada tratamiento, la mezcla suelo–diatomita calcinada fue acondicionada a la humedad de moldeo definida en función del Proctor Modificado, correspondiente a su respectivo óptimo contenido de humedad. Esta etapa permitió asegurar una distribución homogénea de agua antes de la preparación de las probetas.

Luego, el material fue compactado en el molde CBR siguiendo el procedimiento normativo, de manera que se alcanzara el grado de compactación requerido para el ensayo. En la Figura 37 se observa la compactación del material con distintas energías, empleando 12, 25 y 56 golpes, de acuerdo con el procedimiento de laboratorio aplicado en la investigación.

Figura 37

Compactación del material para el ensayo CBR con distintas energías de compactación



Nota. Se observa la compactación del material conforme al ensayo CBR, empleando 12, 25 y 56 golpes. Fotografía del archivo personal del autor.

Una vez moldeadas, las probetas fueron sometidas a inmersión controlada durante 96 h para evaluar el CBR en condición remojada. Durante este periodo también se registró la expansión del espécimen mediante el sistema de carga y dial, tal como se muestra en la Figura 38. Este control permitió observar la respuesta volumétrica del material frente a la saturación.

Figura 38

Medición de expansión del espécimen en el ensayo CBR



Nota. Fotografía tomada por el autor en laboratorio. Se observa el reloj comparador empleado para registrar la expansión del espécimen durante el ensayo CBR.

Concluido el tiempo de remojo, se ejecutó el ensayo de penetración aplicando la carga a la velocidad establecida por la norma, registrando la relación carga–penetración para las penetraciones estándar. La Figura 39 muestra la aplicación de

la carga durante el ensayo, mientras que en la Figura 40 se observan las muestras compactadas con 12, 25 y 56 golpes luego de la penetración.

Figura 39

Aplicación de la carga de penetración en el ensayo CBR



Nota. Fotografía tomada por el autor en laboratorio.

Figura 40

Muestras compactadas con 12, 25 y 56 golpes luego del ensayo de penetración



Nota. Fotografía tomada por el autor en laboratorio.

Los valores de CBR al 95 % y al 100 % de la MDS se obtuvieron a partir de la relación entre densidad seca y resistencia a la penetración registrada en las probetas compactadas con diferentes energías. De esta manera, para cada tratamiento se

determinó el CBR correspondiente a las condiciones de compactación de referencia, tomando como base la MDS obtenida previamente en el ensayo Proctor Modificado.

3.10 CONTROL DE CALIDAD, TRAZABILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD EXPERIMENTAL

Para asegurar la confiabilidad de los resultados, se aplicaron controles de calidad durante la preparación de materiales, dosificación del aditivo, ejecución de ensayos y registro de datos. El suelo base empleado en el programa experimental correspondió a la calicata C-02, seleccionada como condición crítica del tramo, y fue rotulado, acondicionado y almacenado de manera separada para evitar contaminación o mezcla con materiales de otras calicatas.

La diatomita calcinada fue identificada por lote, secada, molida y controlada en su finura antes de su incorporación al suelo. La dosificación se realizó en función de la masa seca del suelo, empleando pesaje gravimétrico para cada tratamiento y repetición. De esta manera, cada mezcla suelo–diatomita calcinada fue preparada de forma independiente, manteniendo la trazabilidad entre porcentaje de aditivo, repetición y ensayo correspondiente.

En los ensayos de Límites de Atterberg, Proctor Modificado y CBR se emplearon los mismos procedimientos normativos para todos los tratamientos. Se controló que el material utilizado cumpliera con la fracción requerida por cada norma, que las muestras fueran homogenizadas antes del ensayo y que la determinación de humedad se realizara mediante secado en horno. En el caso del CBR, se verificó el tiempo de remojo de 96 h, el uso de sobrecargas, el registro de expansión y la aplicación de carga de penetración conforme al procedimiento establecido.

Los equipos principales empleados en los ensayos, como balanzas, horno de secado, equipo Proctor, moldes y máquina CBR, fueron considerados dentro del control de calidad experimental. Asimismo, se estableció como criterio de repetición descartar cualquier muestra que presentara pérdida evidente de material, segregación, deficiencia de compactación o alteración durante el procedimiento. Con ello se buscó que las diferencias observadas entre tratamientos se deban principalmente al contenido de diatomita calcinada y no a otras variaciones.

La reproducibilidad de los resultados se reforzó mediante tres repeticiones independientes por tratamiento, la preparación separada de cada mezcla y la aplicación de un mismo criterio de ensayo para todas las unidades experimentales. Los certificados de calibración de los equipos utilizados se adjuntan en los Anexos A.10 y A.11, como respaldo documental del control experimental realizado.

Capítulo IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos del programa experimental, desarrollado para evaluar la influencia de la diatomita calcinada en las propiedades geotécnicas de la subrasante arcillosa del tramo de estudio. Los resultados corresponden a los ensayos de Proctor Modificado, CBR y límites de plasticidad, realizados conforme a normas ASTM y al Manual de Ensayo de Materiales del MTC.

4.1 RESULTADOS COMPARATIVOS DE LA CARACTERIZACIÓN INICIAL DE LA SUBRASANTE

En este apartado se exponen los resultados relacionados con la caracterización geotécnica inicial de la subrasante arcillosa en el tramo de estudio, a partir de las muestras obtenidas en las calicatas C-01, C-02, C-03 y C-04. El propósito es comparar las propiedades índices y de clasificación del material, y sustentar la identificación de la calicata crítica empleada como suelo base del programa experimental con adición de diatomita calcinada.

4.1.1 Resultados de clasificación y propiedades índice por calicata

Los resultados de clasificación SUCS y AASHTO, los parámetros de plasticidad (LL, LP e IP) e índice CBR, se resumen en la Tabla 17. Estos valores permiten reconocer diferencias entre puntos de muestreo dentro del tramo evaluado y establecer una condición desfavorable de subrasante para fines experimentales.

Tabla 17*Resultados comparativos de clasificación y propiedades índice por calicata*

Calicata	Clasificación SUCS	Clasificación AASHTO	LL (%)	LP (%)	IP (%)	CBR (%)	Condición
C-01	CL	A-7-6 (7)	40.86	23.30	17.56	4.55	-
C-02	CL	A-7-6 (8)	41.63	23.13	18.50	3.87	Más crítica
C-03	SC	A-2-6 (1)	27.95	13.90	14.05	5.30	-
C-04	SC	A-2-6 (0)	28.05	14.82	13.23	5.65	-

Nota. El valor de CBR mostrado para cada calicata corresponde al resultado inicial de caracterización comparativa. Para el análisis experimental del tratamiento patrón C-02 se empleó el promedio de las tres repeticiones, igual a 3.75 % al 95 % de la MDS, como se presenta en la Tabla 19.

4.1.2 Resultados granulométricos por calicata

En esta sección se presentan los resultados del estudio granulométrico de las calicatas C-01, C-02, C-03 y C-04, con el fin de comparar la proporción de fracción gruesa (grava y arena) y fracción fina (limo + arcilla) dentro del tramo evaluado. Estos resultados contemplan la caracterización inicial del suelo y describen la interpretación del comportamiento geotécnico observado.

Tabla 18*Resumen granulométrico por calicata (grava, arena y finos)*

Calicata	% Grava	% Arena	% Finos (limo+arcilla)
C-01	7.31	38.49	54.20
C-02	7.84	35.48	56.68
C-03	26.16	45.45	28.38
C-04	23.28	48.97	27.76

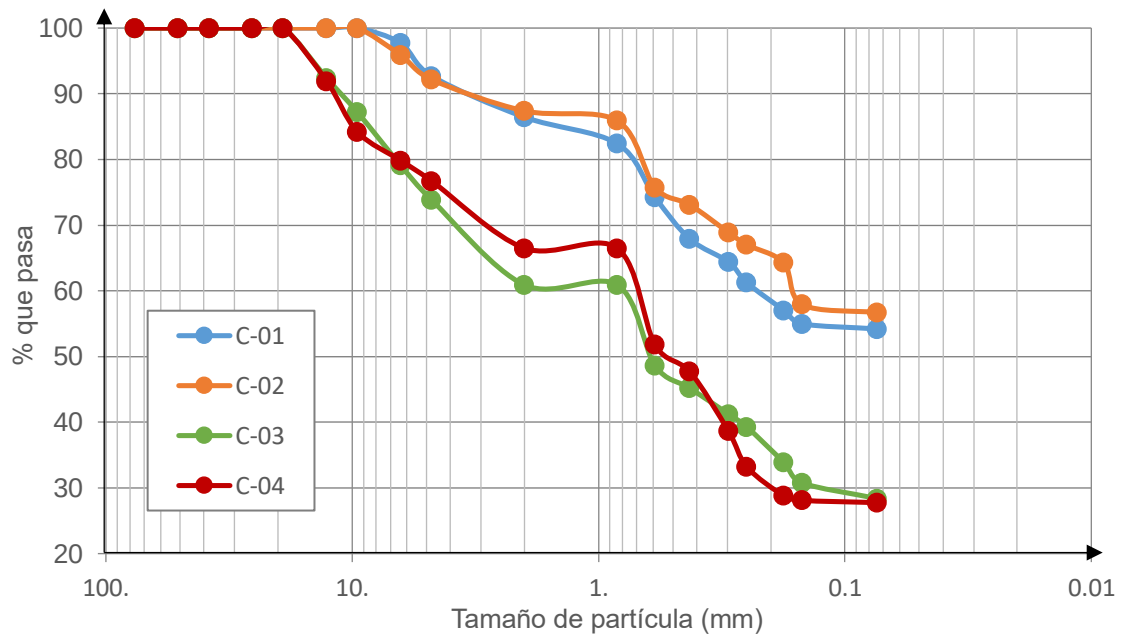
Nota. Los porcentajes corresponden al resumen del análisis granulométrico por tamizado y lavado reportado en los ensayos estándar de clasificación del laboratorio (anexos del estudio).

De acuerdo con la Tabla 18, las calicatas C-01 y C-02 presentan una proporción de finos superior al 50 %, lo cual es consistente con su condición de suelos finos y su mayor sensibilidad al contenido de humedad. En cambio, las calicatas C-03 y C-04 presentan porcentajes de finos cercanos al 28 %, con mayor cantidad de fracción gruesa (arena + grava), lo cual es consistente con un comportamiento de material más granular.

La Figura 41 muestra las curvas granulométricas superpuestas y permite visualizar que las curvas de C-01 y C-02 se encuentran desplazadas hacia la zona de tamaños finos, mientras que C-03 y C-04 muestran una gradación relativamente más gruesa.

Figura 41

Curvas granulométricas superpuestas de las calicatas C-01 a C-04



Nota. Se observa que las calicatas C-01 y C-02 presentan una mayor proporción de finos, mientras que C-03 y C-04 muestran un comportamiento más grueso, consistente con su clasificación SUCS y AASHTO.

4.1.3 Identificación de la calicata crítica

La selección de la calicata crítica se realizó a partir de una comparación integral de las propiedades geotécnicas iniciales del tramo, considerando la clasificación del suelo, la composición granulométrica, los parámetros de plasticidad y la capacidad de soporte. De acuerdo con los resultados de las Tablas 17 y 18, las calicatas C-01 y C-02 corresponden a suelos finos tipo CL, es decir, arcillas inorgánicas de baja plasticidad según el sistema SUCS y grupo A-7-6 según AASHTO; mientras que las calicatas C-03 y C-04 corresponden a suelos tipo SC, identificados como arenas arcillosas y clasificadas dentro del grupo A-2-6, con un comportamiento geotécnico comparativamente más favorable.

En este contexto, la calicata C-02 presentó la condición más desfavorable dentro del tramo evaluado. Como se observa en la Tabla 18 y en la Figura 41, registró el mayor contenido de finos, lo que refuerza su carácter crítico como subrasante. Asimismo, en la Tabla 17 se aprecia que presentó los parámetros de plasticidad más altos,

destacando el mayor límite líquido (41.63 %) y el mayor índice de plasticidad (18.50 %), lo que indica una mayor susceptibilidad frente a variaciones de humedad. A ello se suma que mostró el menor valor de CBR (3.87 %), evidenciando la menor capacidad de soporte entre las calicatas analizadas.

En consecuencia, la calicata C-02 fue seleccionada como la más crítica y adoptada como el material base para el estudio con adición de diatomita calcinada.

De manera complementaria, se revisó el comportamiento de la calicata C-02 durante el ensayo CBR en condición remojada, considerando el registro de expansión a 96 h. Este dato no corresponde a un ensayo específico de expansividad, pero permite observar la respuesta volumétrica del suelo frente a la saturación bajo las condiciones del ensayo CBR.

Tabla 19

Resumen del CBR y expansión registrada en la calicata C-02 patrón

Repeticición	CBR al 95 % de la MDS (%)	CBR al 100 % de la MDS (%)	Expansión a 96 h, molde 12 golpes (%)	Expansión a 96 h, molde 25 golpes (%)	Expansión a 96 h, molde 56 golpes (%)	Expansión promedio (%)
M-01 patrón	3.87	4.46	0.40	0.58	0.92	0.63
M-02 patrón	4.15	4.71	0.40	0.58	0.83	0.60
M-03 patrón	3.22	3.64	0.39	0.54	1.58	0.84
Promedio	3.75	4.27	0.40	0.57	1.11	0.69

Nota. Resultados obtenidos a partir de los ensayos CBR de la calicata C-02 patrón, realizados conforme a ASTM D1883 y MTC E 132. La expansión indicada corresponde al hinchamiento registrado durante el remojo de 96 h del ensayo CBR; por tanto, se interpreta como un indicador complementario de sensibilidad frente a la saturación y no como una clasificación directa de suelo expansivo.

A partir de estos resultados, la calicata C-02 presentó baja capacidad de soporte en condición remojada, con un CBR promedio de 3.75 % al 95 % de la MDS, valor que corresponde a una subrasante insuficiente según la clasificación del MTC. Asimismo, el registro de expansión durante el remojo mostró valores reducidos a moderados, con un promedio general de 0.69 % y un valor máximo de 1.58 % en una de las

probetas compactadas con mayor energía. Estos resultados confirman que el suelo es sensible al agua y presenta una condición geotécnica desfavorable; sin embargo, no permiten clasificarlo por sí solos como suelo expansivo confirmado.

La clasificación AASHTO A-7-6 (8) y el IP = 18.50 % indican que la C-02 corresponde a un suelo arcilloso de plasticidad media, cercano al límite superior de dicha categoría. Por ello, se considera técnicamente adecuado señalar que el material presenta susceptibilidad frente a cambios de humedad y posible tendencia a cambios volumétricos; no obstante, la confirmación de un comportamiento expansivo requeriría ensayos específicos, como índice de expansión, expansión libre o presión de expansión.

4.2 ANÁLISIS DESCRIPTIVO

4.2.1 Resultados de los límites de plasticidad

4.2.1.1 Resultados del límite líquido (LL), límite plástico (LP) e índice de plasticidad (IP) por tratamiento y repetición

Los valores obtenidos para cada tratamiento y repetición se presentan en la Tabla 20.

Tabla 20

Resultados de los límites de Atterberg por tratamiento y repetición

Tratamiento	% DC	Repetición	LL (%)	LP (%)	IP (%)
T0	0	R1	42.75	23.71	19.04
T0	0	R2	41.63	23.13	18.50
T0	0	R3	40.61	21.79	18.82
T1	3	R1	41.08	23.81	17.27
T1	3	R2	39.95	24.85	15.10
T1	3	R3	38.02	23.02	15.00
T2	6	R1	39.50	24.52	14.98
T2	6	R2	38.55	25.54	13.01
T2	6	R3	38.01	23.97	14.04
T3	9	R1	38.75	25.15	13.60
T3	9	R2	37.98	24.75	13.23
T3	9	R3	36.82	26.17	10.65
T4	12	R1	37.85	25.59	12.26

Tratamiento	% DC	Repetición	LL (%)	LP (%)	IP (%)
T4	12	R2	36.30	26.88	9.42
T4	12	R3	35.48	24.82	10.66

Nota. % DC: porcentaje de diatomita calcinada.

4.2.1.2 Estadísticos descriptivos de los parámetros de plasticidad

Para facilitar la comparación entre tratamientos, en la Tabla 21 se presentan los estadísticos descriptivos (media, desviación estándar y coeficiente de variación) de LL, LP e IP, calculados a partir de las tres repeticiones por tratamiento.

Tabla 21

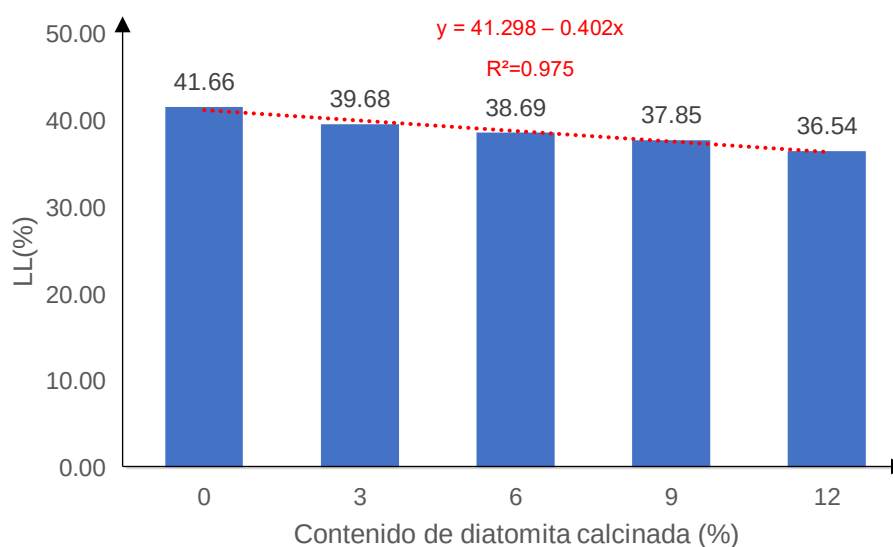
Estadísticos descriptivos de los límites de plasticidad por tratamiento

Tratamiento	% DC	n	LL media (%)	DE	CV (%)	LP media (%)	DE	CV (%)	IP media (%)	DE	CV (%)
T0	0	3	41.66	1.07	2.57	22.88	0.98	4.30	18.79	0.27	1.45
T1	3	3	39.68	1.55	3.90	23.89	0.92	3.84	15.79	1.28	8.12
T2	6	3	38.69	0.75	1.95	24.68	0.80	3.23	14.01	0.99	7.03
T3	9	3	37.85	0.97	2.57	25.36	0.73	2.89	12.49	1.61	12.86
T4	12	3	36.54	1.20	3.29	25.76	1.04	4.04	10.78	1.42	13.21

Nota. DE = desviación estándar; CV = coeficiente de variación (DE/media × 100).

Figura 42

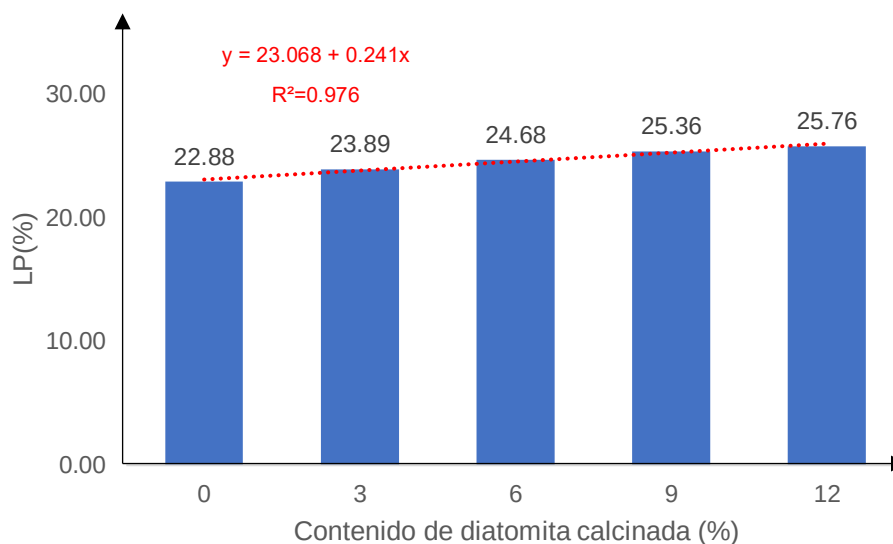
Variación del LL en función del contenido de diatomita calcinada



Nota. Gráfico que muestra el LL promedio obtenido para cada contenido de diatomita calcinada (0, 3, 6, 9 y 12 %), calculado a partir de las tres repeticiones por tratamiento.

Figura 43

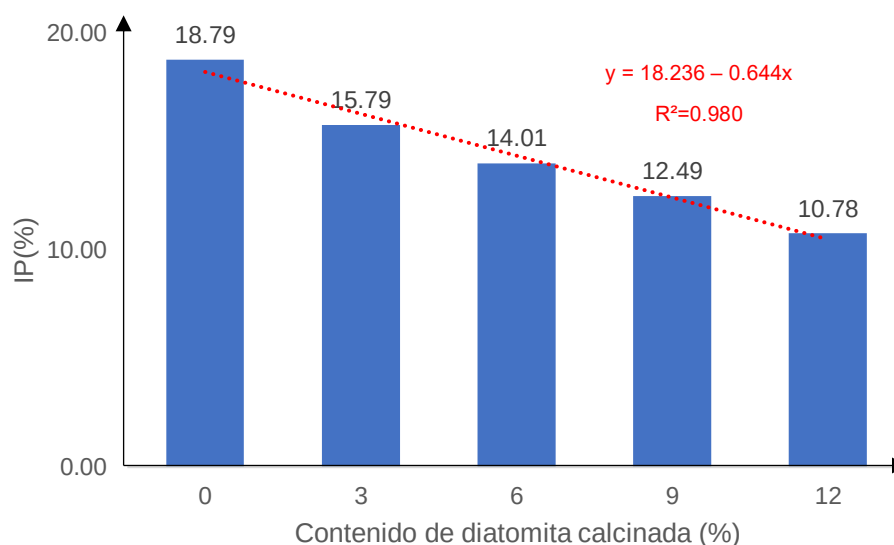
Variación del LP en función del contenido de diatomita calcinada



Nota. Gráfico que representa el LP promedio de la subrasante tratada con diferentes contenidos de diatomita calcinada, determinado a partir de las tres repeticiones experimentales por tratamiento.

Figura 44

Variación del IP en función del contenido de diatomita calcinada



Nota. Gráfico que muestra la variación del IP promedio, calculado como la diferencia entre el LL y el LP ($IP = LL - LP$), para cada contenido de diatomita calcinada, considerando la media de las tres repeticiones por tratamiento, conforme a la norma ASTM D4318 y los procedimientos del Manual de Ensayo de Materiales del MTC.

4.2.1.3 Análisis descriptivo del comportamiento de la plasticidad

A partir de los resultados obtenidos, se observa que al aumentar el contenido de diatomita calcinada el LL del suelo va disminuyendo de manera progresiva. En el caso del suelo natural, se registró un valor promedio de 41.66 %, mientras que en el tratamiento con 12 % de diatomita este valor descendió a 36.54 %. Esto permite observar que la incorporación de este material genera cambios en la consistencia del suelo.

En cuanto al LP, se estableció un comportamiento distinto, ya que sus valores aumentaron cuando se incrementó la dosificación de diatomita calcinada. El suelo natural presentó un promedio de 22.88 %, en tanto que el tratamiento con 12 % alcanzó un valor de 25.76 %. Este resultado muestra que el suelo tratado necesita una mayor humedad para mantenerse en estado plástico.

Por otra parte, el IP ha presentado una disminución continua a medida que se añadieron mayores porcentajes de diatomita calcinada, pasando de 18.79 % en el tratamiento control a 10.78 % en el tratamiento con 12 %. En ese sentido, se puede señalar que la plasticidad del suelo se redujo gradualmente, lo cual resulta favorable, ya que indica un material menos susceptible a deformaciones por efecto de la humedad.

Finalmente, los coeficientes de variación de las variables analizadas se mantuvieron en rangos bajos y moderados en todos los tratamientos, lo que evidencia que los resultados obtenidos fueron uniformes y que existió una adecuada repetición en los ensayos realizados.

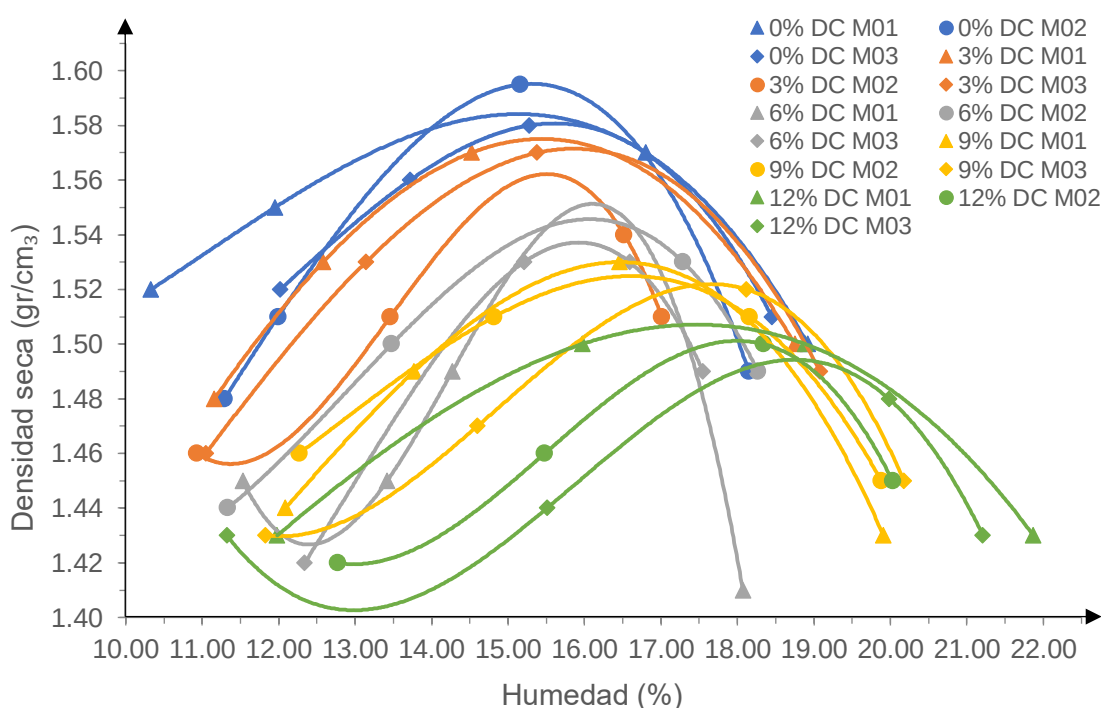
4.2.2 Resultados del ensayo Proctor Modificado

4.2.2.1 Curvas de compactación por tratamiento

Con base en los ensayos realizados, se obtuvieron las curvas de compactación correspondientes a cada tratamiento, representando la relación entre la humedad y la densidad seca del suelo tratado. Para cada dosificación de diatomita calcinada (T0 a T4), se construyeron curvas individuales con base en los puntos experimentales obtenidos en laboratorio.

Figura 45

Curvas de compactación del ensayo Proctor Modificado



Nota. Curvas de compactación obtenidas a partir del ensayo Proctor Modificado, que representan la relación entre el contenido de humedad (w) y la densidad seca (γ_d) para la subrasante tratada con 0 %, 3 %, 6 %, 9 % y 12 % de diatomita calcinada.

En la Tabla 22 se presentan los valores de OCH y MDS obtenidos para cada tratamiento y repetición. Estos parámetros han sido determinados a partir de las curvas de compactación correspondientes, conforme al procedimiento normativo del ensayo Proctor Modificado.

Con el fin de facilitar la comparación entre tratamientos, los valores promedio del OCH de compactación y la MDS se representaron mediante gráficos, considerando la media de las tres repeticiones para cada contenido de diatomita calcinada. Esta representación permite visualizar de manera clara la tendencia general de los parámetros de compactación en función del porcentaje de aditivo incorporado.

Tabla 22

Resultados del ensayo Proctor Modificado por tratamiento y repetición

Tratamiento	% DC	Repetición	OCH (%)	MDS (g/cm ³)
T0	0	R1	15.16	1.590
T0	0	R2	15.08	1.584
T0	0	R3	15.25	1.598
T1	3	R1	15.50	1.570
T1	3	R2	15.70	1.560
T1	3	R3	15.60	1.575
T2	6	R1	16.30	1.550
T2	6	R2	16.20	1.545
T2	6	R3	16.33	1.538
T3	9	R1	17.10	1.530
T3	9	R2	17.32	1.525
T3	9	R3	17.25	1.520
T4	12	R1	17.60	1.510
T4	12	R2	18.00	1.505
T4	12	R3	18.10	1.495

Nota. Ensayo realizado conforme a ASTM D1557 y MTC E 115, con tres repeticiones por tratamiento (DCA).

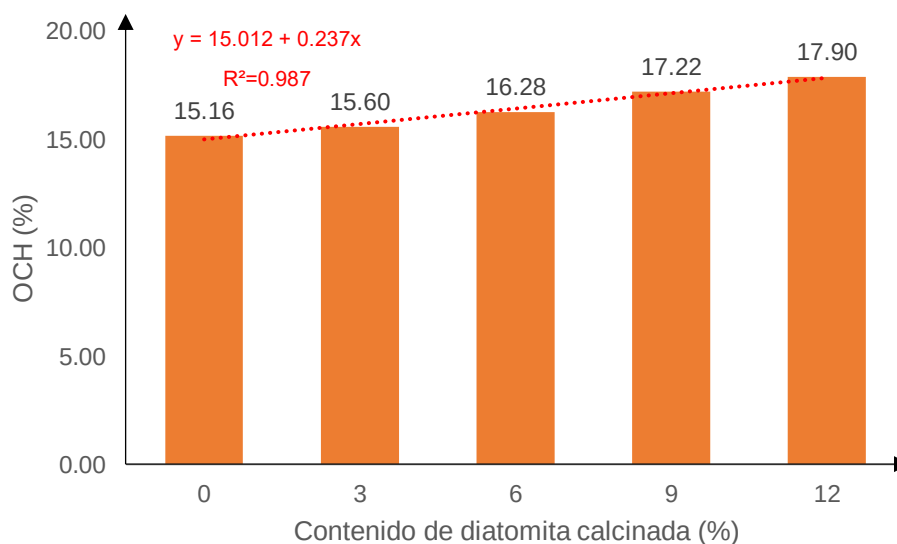
Con el fin de resumir el comportamiento de los parámetros de compactación y facilitar la comparación entre tratamientos, en la Tabla 23 se presentan los estadísticos descriptivos del OCH y la MDS, calculados a partir de las tres repeticiones correspondientes a cada contenido de diatomita calcinada.

Tabla 23*Estadísticos descriptivos del ensayo Proctor Modificado por tratamiento*

Tratamiento	% DC	n	OCH media (%)	DE	CV (%)	MDS media (g/cm ³)	DE	CV (%)
T0	0	3	15.16	0.09	0.56	1.591	0.007	0.44
T1	3	3	15.60	0.10	0.64	1.568	0.008	0.49
T2	6	3	16.28	0.07	0.42	1.544	0.006	0.39
T3	9	3	17.22	0.11	0.65	1.525	0.005	0.33
T4	12	3	17.90	0.26	1.48	1.503	0.008	0.51

Nota. DE = desviación estándar; CV = coeficiente de variación (DE/media × 100). Estadísticos calculados con tres repeticiones por tratamiento. Ensayo conforme a ASTM D1557 y MTC E 115.

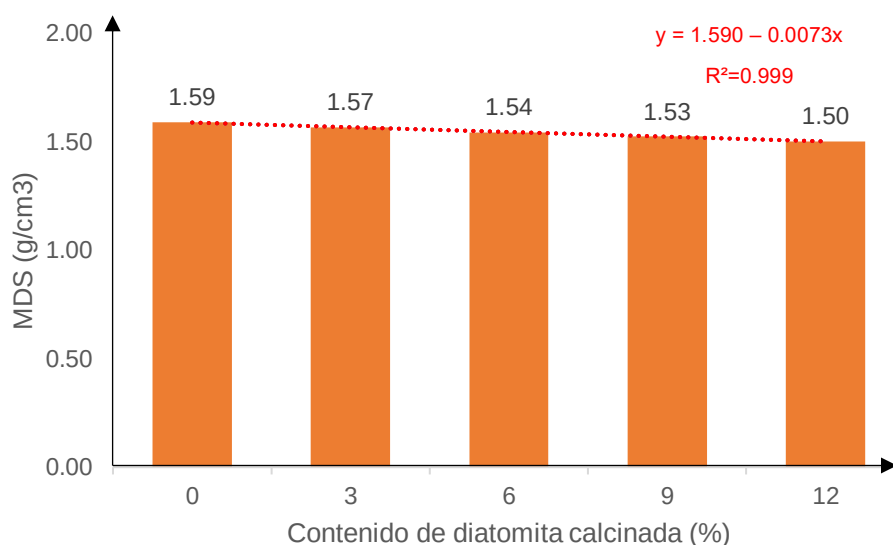
A partir de los valores promedio obtenidos, se elaboraron gráficos de barras para representar la variación del OCH y la MDS en función del contenido de diatomita calcinada.

Figura 46*Variación del OCH en función del contenido de diatomita calcinada*

Nota. Gráfico que muestra el óptimo contenido de humedad promedio obtenida del ensayo Proctor Modificado para cada contenido de diatomita calcinada (0, 3, 6, 9 y 12 %), considerando la media de las tres repeticiones por tratamiento.

Figura 47

Variación de la MDS en función del contenido de diatomita calcinada



Nota. Gráfico que representa la máxima densidad seca promedio determinada mediante el ensayo Proctor Modificado para cada dosificación de diatomita calcinada.

4.2.2.2 Análisis descriptivo del comportamiento de compactación

Con base en los resultados del ensayo Proctor Modificado, se aprecia que los parámetros de compactación de la subrasante varían conforme aumenta el contenido de diatomita calcinada. En ese sentido, el OCH de compactación presenta una tendencia creciente, pasando de 15.16 % en el suelo natural a 17.90 % en el tratamiento con 12 % de diatomita calcinada. Esto indica que, a mayor dosificación del aditivo, el suelo necesita una mayor cantidad de agua para lograr su condición óptima de compactación.

Por otro lado, la MDS mostró un comportamiento inverso, ya que disminuyó progresivamente a medida que se aumentó el contenido de diatomita calcinada. En el tratamiento control se obtuvo un valor promedio de 1.591 g/cm³, mientras que en el tratamiento con 12 % este valor descendió a 1.503 g/cm³. Este resultado refleja que la incorporación del material modifica el comportamiento de compactación del suelo tratado.

Finalmente, los valores de dispersión entre repeticiones se han mantenido bajos en todos los tratamientos, lo que demuestra la uniformidad en los resultados y un adecuado control durante la ejecución del ensayo.

4.2.3 Resultados del CBR por tratamiento y repetición (condición remojada 96 h)

Los valores de CBR obtenidos para cada tratamiento y repetición se presentan en la Tabla 24, diferenciando el CBR al 95 % MDS y al 100 % MDS.

Tabla 24

Resultados del ensayo CBR por tratamiento y repetición (condición remojada 96 h)

Tratamiento	% DC	Repetición	CBR al 95 % de la MDS (%)	CBR al 100 % de la MDS (%)
T0	0	R1	3.87	4.46
T0	0	R2	4.15	4.71
T0	0	R3	3.22	3.64
T1	3	R1	6.88	8.22
T1	3	R2	5.85	6.92
T1	3	R3	7.44	8.98
T2	6	R1	8.49	9.70
T2	6	R2	8.98	10.60
T2	6	R3	9.85	11.59
T3	9	R1	7.42	8.83
T3	9	R2	9.15	10.37
T3	9	R3	8.10	9.21
T4	12	R1	6.88	8.03
T4	12	R2	7.79	8.92
T4	12	R3	7.12	8.42

Nota. Ensayo realizado conforme a ASTM D1883 y MTC E 132. Probetas compactadas a 95 % y 100 % de la MDS determinada mediante Proctor Modificado (ASTM D1557 / MTC E 115) y ensayadas en condición remojada (96 h).

4.2.3.1 Estadísticos descriptivos del CBR por tratamiento (condición remojada 96 h)

Con el fin de resumir el comportamiento del CBR y facilitar la comparación entre tratamientos, en la Tabla 25 se presentan los estadísticos descriptivos (media, desviación estándar y coeficiente de variación), calculados a partir de las tres repeticiones por tratamiento.

Tabla 25

Estadísticos descriptivos del ensayo CBR por tratamiento (condición remojada 96 h)

Tratamiento	% DC	n	CBR 95 % media (%)	DE	CV (%)	CBR 100 % media (%)	DE	CV (%)
T0	0	3	3.75	0.48	12.73	4.27	0.56	13.11
T1	3	3	6.72	0.81	12.00	8.04	1.04	12.96
T2	6	3	9.11	0.69	7.56	10.63	0.95	8.89
T3	9	3	8.22	0.87	10.60	9.47	0.80	8.47
T4	12	3	7.26	0.47	6.49	8.46	0.45	5.28

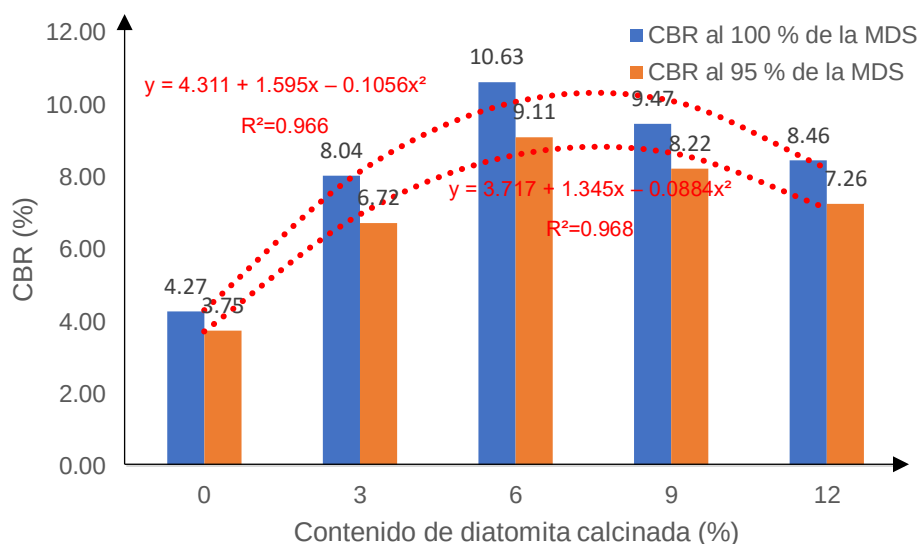
Nota. DE = desviación estándar; CV = coeficiente de variación (DE/media × 100). Estadísticos calculados con tres repeticiones por tratamiento.

4.2.3.2 Representación gráfica del CBR en función del contenido de diatomita calcinada

A partir de los valores promedio obtenidos, se elaboraron gráficos para representar la variación del CBR medio en función del contenido de diatomita calcinada, tanto para el 95 % MDS como para el 100 % MDS, bajo condición remojada (96 h).

Figura 48

Variación del CBR al 95 % y 100 % MDS en función del contenido de diatomita calcinada (condición remojada 96 h)



Nota. Gráfico del CBR (%) promedio al 95 % y 100 % de la MDS para cada tratamiento (0, 3, 6, 9 y 12 %), calculado con tres repeticiones por tratamiento.

4.2.3.3 Análisis descriptivo del comportamiento del CBR (condición remojada 96 h)

Con base en los resultados del ensayo CBR, se aprecia que la incorporación de diatomita calcinada incrementa la capacidad de soporte de la subrasante en comparación con el suelo natural, tanto en la condición de compactación al 95 % de la MDS como al 100 % de la MDS, bajo condición remojada.

En el caso del CBR al 95 % de la MDS, el valor promedio aumenta de 3.75 % en el tratamiento control a 6.72 % con 3 % de diatomita calcinada, alcanzando su valor más alto de 9.11 % con 6 % de adición. A partir de ese punto, se observa una ligera disminución, registrándose promedios de 8.22 % para el tratamiento con 9 % y de 7.26 % para el tratamiento con 12 %. Sin embargo, todos estos valores se mantienen por encima del suelo natural.

De manera similar, en el CBR al 100 % de la MDS, el promedio se incrementa de 4.27 % en el suelo natural a 8.04 % con 3 % de diatomita calcinada, llegando al valor máximo de 10.63 % en el tratamiento con 6 %. Posteriormente, los valores disminuyen ligeramente a 9.47 % con 9 % y a 8.46 % con 12 %, aunque continúan siendo superiores al tratamiento control.

En conjunto, estos resultados señalan que la diatomita calcinada mejora la capacidad de soporte de la subrasante hasta alcanzar un nivel óptimo de 6 %. A partir de este porcentaje, aunque el CBR sigue siendo mayor que el del suelo natural, se aprecia una reducción moderada en los valores, lo que indica que una dosificación más alta no necesariamente genera una mejora adicional.

4.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO INFERENCIAL Y CONTRASTE DE HIPÓTESIS

4.3.1 Modelo estadístico y criterio de decisión

Para cada variable dependiente se aplicó un análisis de varianza de un factor, de acuerdo con el DCA planteado en la investigación. El criterio de decisión se estableció con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$: si $p < 0.05$, se rechazó la hipótesis nula de igualdad de medias entre tratamientos; si $p \geq 0.05$, no se rechazó dicha hipótesis.

4.3.2 Verificación de los supuestos del ANOVA

4.3.2.1 Independencia

La independencia de las observaciones se aseguró mediante el DCA, con cinco tratamientos (0 %, 3 %, 6 %, 9 % y 12 %) y tres repeticiones por tratamiento. Cada

unidad experimental fue preparada y ensayada de forma independiente, minimizando efectos de secuencia u otras fuentes de dependencia.

4.3.2.2 Normalidad de residuos (Shapiro–Wilk)

Se utilizó la prueba de Shapiro–Wilk para evaluar los residuos del modelo ANOVA para cada variable dependiente, con $\alpha = 0.05$.

- Si $p \geq 0.05$: no se rechaza normalidad de residuos.
- Si $p < 0.05$: se rechaza normalidad.

Tabla 26

Prueba de Shapiro–Wilk para normalidad de residuos ($\alpha = 0.05$)

Variable	Estadístico W	p-valor	Decisión
IP	0.9653	0.7826	No se rechaza normalidad
OCH	0.9402	0.3850	No se rechaza normalidad
MDS	0.9009	0.0983	No se rechaza normalidad
CBR al 95 % de la MDS	0.9558	0.6198	No se rechaza normalidad
CBR al 100 % de la MDS	0.9537	0.5846	No se rechaza normalidad

Nota. Como en todos los casos $p > 0.05$, no se rechaza la hipótesis nula de normalidad de los residuos, por lo que este supuesto del ANOVA se considera cumplido.

4.3.2.3 Homogeneidad de varianzas (Levene)

Se utilizó la prueba de Levene para comprobar la igualdad de varianzas entre los tratamientos, con $\alpha = 0.05$.

- Si $p \geq 0.05$: se asume homogeneidad de varianzas.
- Si $p < 0.05$: se evidencia heterocedasticidad.

Tabla 27

Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas ($\alpha = 0.05$)

Variable	Estadístico de Levene	p-valor	Decisión
IP	0.3468	0.8404	Varianzas homogéneas
OCH	3.0460	0.0697	Varianzas homogéneas
MDS	0.2430	0.9075	Varianzas homogéneas
CBR al 95 % de la MDS	0.4576	0.7653	Varianzas homogéneas

Variable	Estadístico de Levene	p-valor	Decisión
CBR al 100 % de la MDS	0.6318	0.6511	Varianzas homogéneas

Nota. En todas las variables se obtuvo $p > 0.05$, por lo que se asume homogeneidad de varianzas entre tratamientos.

Dado que para todas las variables analizadas no se rechazaron los supuestos estadísticos ($p \geq 0.05$), se consideró apropiado el uso del ANOVA de un factor y de la prueba post hoc de Tukey para el contraste de diferencias entre tratamientos.

4.3.3 Contraste de hipótesis estadísticas por variable dependiente

Las hipótesis de investigación formuladas en la sección 3.5 fueron contrastadas mediante hipótesis estadísticas de igualdad de medias entre tratamientos. Para cada variable dependiente se planteó una hipótesis nula de igualdad de medias y una hipótesis alterna de diferencia en al menos uno de los tratamientos. En los casos donde una hipótesis específica incluye más de un indicador, como OCH y MDS, o CBR al 95 % y al 100 % de la MDS, el contraste se realizó por separado para cada indicador, con el fin de evitar conclusiones agrupadas.

4.3.3.1 Contraste de hipótesis para la plasticidad (IP)

Hipótesis estadísticas contrastadas

- **H₀1:** No existen diferencias estadísticamente significativas en el índice de plasticidad (IP) del suelo arcilloso de subrasante evaluado entre los tratamientos con 0 %, 3 %, 6 %, 9 % y 12 % de diatomita calcinada.
- **H₁1:** Al menos un tratamiento con diatomita calcinada produce diferencias estadísticamente significativas en el IP del suelo arcilloso de subrasante evaluado.

El contraste inferencial de la plasticidad se realiza solo sobre el IP, por ser el indicador que se ha descrito en la hipótesis.

ANOVA para IP

Tabla 28

ANOVA de un factor para el IP

Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Cuadrado medio	F	p-valor
Entre tratamientos	114.189	4	28.547	19.553	< 0.001
Error	14.600	10	1.460		
Total	128.788	14			

Nota. Dado que $p < 0.05$, se rechaza H_0 y se acepta la hipótesis alterna. Por tanto, el contenido de diatomita calcinada produjo diferencias estadísticamente significativas en el índice de plasticidad del suelo.

Tukey (HSD) para IP

Tabla 29

Comparación de medias del IP mediante la prueba de Tukey

Tratamiento	% DC	Media (%)	DE	Grupo homogéneo
T0	0	18.79	0.27	a
T1	3	15.79	1.28	ab
T2	6	14.01	0.99	bc
T3	9	12.49	1.61	c
T4	12	10.78	1.42	c

Nota. Medias con al menos una letra en común no presentan diferencias significativas según la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$).

Conclusión inferencial para la plasticidad

El análisis inferencial demostró que el contenido de diatomita calcinada produjo diferencias estadísticamente significativas en el IP del suelo. La prueba ANOVA mostró significancia general entre tratamientos, confirmando que la dosificación del aditivo influyó en la plasticidad de la subrasante. Este comportamiento guarda correspondencia con la tendencia mostrada en la Figura 44, donde se aprecia una disminución progresiva del IP conforme aumenta el contenido de diatomita calcinada.

A nivel de comparaciones múltiples, el tratamiento control no presentó diferencia significativa frente al 3 %, pero sí frente a los tratamientos con 6 %, 9 % y 12 %. El tratamiento con 3 % fue estadísticamente similar al de 6 %, pero diferente de 9 % y

12 %. Asimismo, entre los tratamientos de 6 %, 9 % y 12 % se observó una reducción progresiva del IP, aunque no todas las diferencias fueron significativas entre sí.

4.3.3.2 Contraste de hipótesis para los parámetros de compactación Proctor Modificado

Hipótesis estadísticas contrastadas

- **H_{0.2}:** No existen diferencias estadísticamente significativas en el OCH ni en la MDS del suelo arcilloso de subrasante evaluado entre los tratamientos con 0 %, 3 %, 6 %, 9 % y 12 % de diatomita calcinada.
- **H_{1.2}:** Al menos un tratamiento con diatomita calcinada produce diferencias estadísticamente significativas en el OCH o en la MDS del suelo arcilloso de subrasante evaluado.

Dado que $H_{1.2}$ tiene dos parámetros, el contraste se realiza por separado para OCH y MDS, y luego se dispone una conclusión conjunta.

a) Óptimo contenido de humedad

Tabla 30

ANOVA de un factor para el OCH

Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Cuadrado medio	F	p-valor
Entre tratamientos	15.321	4	3.830	183.269	< 0.001
Error	0.209	10	0.021		
Total	15.530	14			

Nota. Se encontró diferencia altamente significativa entre tratamientos para el OCH, dado que $p < 0.05$. El contenido de diatomita calcinada influyó significativamente en el OCH del suelo.

Tabla 31*Comparación de medias del OCH mediante la prueba de Tukey*

Tratamiento	% DC	Media (%)	DE	Grupo homogéneo
T4	12	17.90	0.26	a
T3	9	17.22	0.11	b
T2	6	16.28	0.07	c
T1	3	15.60	0.10	d
T0	0	15.16	0.09	e

Nota. Todas las medias difieren significativamente entre sí según la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$).

b) Máxima densidad seca**Tabla 32***ANOVA de un factor para MDS*

Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Cuadrado medio	F	p-valor
Entre tratamientos	0.014273	4	0.003568	78.479	< 0.001
Error	0.000455	10	0.000045		
Total	0.014728	14			

Nota. Se encontró diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos para la MDS, dado que $p < 0.05$. El incremento del porcentaje de diatomita calcinada influyó significativamente sobre este parámetro.

Tabla 33*Comparación de medias de la MDS mediante la prueba de Tukey*

Tratamiento	% DC	Media (g/cm ³)	DE	Grupo homogéneo
T0	0	1.591	0.007	a
T1	3	1.568	0.008	b
T2	6	1.544	0.006	c
T3	9	1.525	0.005	d
T4	12	1.503	0.008	e

Nota. Todas las medias difieren significativamente entre sí según la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$).

Conclusión inferencial para los parámetros de compactación Proctor

El análisis inferencial de los parámetros de compactación evidenció que el contenido de diatomita calcinada produjo diferencias estadísticamente significativas tanto en el OCH de compactación como en la MDS del suelo. En el caso del OCH, las comparaciones múltiples mostraron diferencias significativas entre todos los tratamientos, confirmando un aumento progresivo de esta variable conforme aumentó la dosificación del aditivo, tal como se observa en la Figura 46. De manera simultánea, en la MDS también se evidenciaron diferencias significativas entre todos los tratamientos evaluados, observándose una disminución progresiva a medida que aumentó el contenido de diatomita calcinada, comportamiento que se aprecia en la Figura 47. En resumen, estos resultados permiten sostener que la incorporación de diatomita calcinada modificó de forma significativa el comportamiento de compactación del suelo, incrementando la demanda de agua y reduciendo la MDS alcanzable.

4.3.3.3 Contraste de hipótesis para la capacidad de soporte (CBR remojado)

Hipótesis estadísticas contrastadas

- **H_{0.3}:** No existen diferencias estadísticamente significativas en el CBR remojado al 95 % ni al 100 % de la MDS entre los tratamientos con 0 %, 3 %, 6 %, 9 % y 12 % de diatomita calcinada.
- **H_{1.3}:** Al menos un tratamiento con diatomita calcinada produce diferencias estadísticamente significativas en el CBR remojado al 95 % o al 100 % de la MDS.

Condición de ensayo: CBR remojado 96 h (MTC E 132 / ASTM D1883). Se evaluaron dos condiciones de compactación: 95 % MDS y 100 % MDS.

a) CBR al 95 % de la MDS (condición remojada 96 h)

Tabla 34

ANOVA de un factor para CBR al 95 % de la MDS (remojado 96 h)

Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Cuadrado medio	F	p-valor
Entre tratamientos	49.992	4	12.498	26.767	< 0.001
Error	4.669	10	0.467		
Total	54.661	14			

Nota. Se evidenció diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos para el CBR al 95 % de la MDS, dado que $p < 0.05$.

Tukey HSD (95 % MDS) de comparaciones múltiples

Tabla 35

Comparación de medias del CBR al 95 % de la MDS mediante la prueba de Tukey

Tratamiento	% DC	Media (%)	DE	Grupo homogéneo
T2	6	9.11	0.69	a
T3	9	8.22	0.87	ab
T4	12	7.26	0.47	bc
T1	3	6.72	0.81	bc
T0	0	3.75	0.48	d

Nota. Medias con al menos una letra en común no presentan diferencias significativas según la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$). El tratamiento con 6 % presentó la media más alta.

b) CBR al 100 % de la MDS (condición remojada 96 h)

Este análisis se presenta como complementario, con la finalidad de comprobar si el efecto del contenido de diatomita se mantiene bajo una condición de compactación máxima en laboratorio (100 % MDS).

ANOVA (100 % MDS)

Tabla 36

ANOVA de un factor para CBR al 100 % de la MDS (remojado 96 h)

Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Cuadrado medio	F	p-valor
Entre tratamientos	69.152	4	17.288	27.574	< 0.001
Error	6.270	10	0.627		
Total	75.422	14			

Nota. Se evidencia diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos para el CBR al 100 % de la MDS, dado que $p < 0.05$. Por tanto, el contenido de diatomita calcinada influyó significativamente en la capacidad de soporte de la subrasante bajo esta condición de compactación.

Tukey HSD (100 % MDS) de comparaciones múltiples

Tabla 37

Comparación de medias del CBR al 100 % de la MDS mediante la prueba de Tukey

Tratamiento	% DC	Media (%)	DE	Grupo homogéneo
T2	6	10.63	0.95	a
T3	9	9.47	0.80	ab
T4	12	8.46	0.45	bc
T1	3	8.04	1.04	bc
T0	0	4.27	0.56	d

Nota. Las medias que comparten al menos una letra no presentan diferencias significativas según la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$). El tratamiento con 6 % presentó la media más alta.

Conclusión inferencial para la capacidad de soporte (CBR)

En condición remojada durante 96 h, el análisis inferencial demostró que el contenido de diatomita calcinada generó diferencias estadísticamente significativas en la capacidad de soporte del suelo, tanto en el CBR al 95 % de la MDS como en el CBR al 100 % de la MDS. En ambos casos, el tratamiento con 6 % de diatomita calcinada presentó los valores promedio más altos, lo cual también se observa en la Figura 48, donde el comportamiento del CBR muestra una tendencia creciente hasta ese nivel de dosificación y una disminución ligera en los tratamientos posteriores. No obstante, las comparaciones múltiples mostraron que este mejor desempeño no implicó diferencias significativas frente al tratamiento con 9 %, aunque sí respecto al 3 % y al 12 %. Asimismo, entre los tratamientos con 3 %, 9 % y 12 % no se observaron diferencias significativas en varias comparaciones, especialmente en los pares 3 % vs 12 %, 3 % vs 9 % y 9 % vs 12 %, tanto para el CBR al 95 % como al 100 % de la MDS. En ese sentido, aunque el 6 % alcanzó el mayor rendimiento promedio, inferencialmente se reconoce un comportamiento estadísticamente similar con el 9 % en ambas condiciones de compactación.

4.3.4 Análisis de tendencia de las variables en función del contenido de diatomita calcinada

Considerando que el contenido de diatomita calcinada corresponde a un factor cuantitativo y ordenado, se llevó a cabo un análisis complementario de tendencia con el propósito de describir la forma general de respuesta de las variables evaluadas.

Este análisis no reemplaza al ANOVA ni a la prueba de Tukey, sino que los complementa, ya que permite interpretar mejor si el comportamiento entre tratamientos sigue una tendencia lineal o curvilínea.

Para este propósito, se ajustaron modelos sobre las medias por tratamiento. En las variables de plasticidad y compactación, el comportamiento ha mostrado una tendencia predominantemente lineal dentro del rango que ha sido evaluado. En cambio, en la capacidad de soporte medida mediante el CBR, la respuesta fue de tipo cuadrático, debido a que los valores subieron hasta una dosificación intermedia y luego disminuyeron ligeramente en los porcentajes más altos.

Tabla 38

Modelos complementarios de tendencia de las variables evaluadas

Variable	Modelo	Ecuación ajustada	R ²	Interpretación
LL	Lineal	$LL = 41.298 - 0.402x$	0.975	Tendencia descendente
LP	Lineal	$LP = 23.068 + 0.241x$	0.976	Tendencia creciente
IP	Lineal	$IP = 18.236 - 0.644x$	0.980	Tendencia descendente
OCH	Lineal	$OCH = 15.012 + 0.237x$	0.987	Tendencia creciente
MDS	Lineal	$MDS = 1.590 - 0.0073x$	0.999	Tendencia descendente
CBR al 95 % de la MDS	Cuadrático	$CBR = 3.717 + 1.345x - 0.0884x^2$	0.968	Aumenta y luego disminuye
CBR al 100 % de la MDS	Cuadrático	$CBR = 4.311 + 1.595x - 0.1056x^2$	0.966	Aumenta y luego disminuye

Nota. “x” expresa el contenido de diatomita calcinada dado en porcentaje.

De acuerdo con la Tabla 38, el LL y el IP presentaron una tendencia descendente, mientras que el LP mostró una tendencia creciente, comportamiento que se observa de manera consistente en las Figuras 42, 43 y 44. En conjunto, esta respuesta confirma que la incorporación de diatomita calcinada redujo progresivamente la plasticidad del suelo dentro del rango evaluado.

En los parámetros de compactación también se observó una tendencia definida. El OCH aumentó conforme se incrementó la dosificación del aditivo, mientras que la MDS mostró una reducción prácticamente lineal. Este comportamiento coincide con lo mostrado en las Figuras 46 y 47, donde se aprecia con claridad el incremento

progresivo del OCH y la disminución de la MDS en función del contenido de diatomita calcinada.

En el caso del CBR, tanto al 95 % como al 100 % de la MDS, la tendencia fue cuadrática. Este resultado confirma que la capacidad de soporte no aumentó de forma indefinida con el contenido de diatomita calcinada, sino que mejoró hasta un rango intermedio y luego presentó una disminución moderada en los tratamientos de 9 % y 12 %, comportamiento que también se observa en la Figura 48. Los modelos ajustados ubican un máximo teórico alrededor de 7.6 % para el CBR al 95 % de la MDS y 7.5 % para el CBR al 100 % de la MDS, lo que resulta coherente con el comportamiento experimental observado entre 6 % y 9 %. Por lo tanto, el análisis de tendencia respalda la interpretación de que el mejor desempeño del aditivo se ubica en un intervalo intermedio y no en las dosificaciones más altas.

4.3.5 Magnitud del efecto del contenido de diatomita calcinada (η^2 y ω^2)

Además de la prueba de significancia del ANOVA, se estimó la magnitud del efecto del contenido de diatomita calcinada mediante los coeficientes η^2 y ω^2 , calculados a partir de los componentes de la tabla ANOVA. Mientras que η^2 indica la proporción de la variabilidad total atribuida al tratamiento, ω^2 proporciona una estimación menos sesgada del efecto poblacional. Los valores obtenidos se presentan en la Tabla 39.

Tabla 39

Tamaño del efecto y sensibilidad estadística del contenido de diatomita calcinada por variable

Variable	η^2	ω^2	f desde η^2	Interpretación
IP	0.887	0.832	2.80	Efecto grande; supera el valor de referencia para detectar efectos grandes.
OCH	0.987	0.980	8.56	Efecto grande; supera ampliamente el valor de referencia.
MDS	0.969	0.954	5.60	Efecto grande; supera ampliamente el valor de referencia.
CBR al 95 % de la MDS	0.915	0.873	3.27	Efecto grande; supera el valor de referencia para detectar efectos grandes.
CBR al 100 % de la MDS	0.917	0.876	3.32	Efecto grande; supera el valor de referencia para detectar efectos grandes.

Nota. η^2 y ω^2 permiten estimar la magnitud del efecto del contenido de diatomita calcinada sobre cada variable evaluada. El valor f se calculó mediante la expresión $f = \sqrt{(\eta^2 / (1 - \eta^2))}$. Para el diseño empleado, con cinco tratamientos, tres repeticiones por tratamiento y $\alpha = 0.05$, valores cercanos o superiores a $f = 1.20$ permiten detectar efectos grandes con una potencia aproximada de 0.80.

Los valores de η^2 y ω^2 evidencian tamaños de efecto grandes en todas las variables evaluadas, lo que indica que el contenido de diatomita calcinada explicó una proporción importante de la variación observada en la plasticidad, los parámetros de compactación y el CBR. Además, la transformación del tamaño de efecto a f permitió verificar la sensibilidad estadística del diseño experimental, observándose que todos los valores calculados superan el valor referencial de 1.20 para detectar efectos grandes con una potencia aproximada de 0.80.

Debe precisarse que el análisis se desarrolló con un nivel de significancia de 0.05, por lo que el riesgo de error tipo I quedó delimitado a dicho criterio; es decir, se controló la probabilidad de concluir que existen diferencias entre tratamientos cuando en realidad no las hubiera. Asimismo, el uso de ANOVA y la prueba de Tukey permitió mantener un control más ordenado de este riesgo durante las comparaciones entre medias.

Respecto al error tipo II, entendido como no detectar diferencias reales cuando sí existen, los resultados sugieren que su probabilidad fue baja en las condiciones del estudio, debido a la reducida variabilidad entre repeticiones, las diferencias significativas encontradas y los tamaños de efecto altos observados en todas las variables. En ese sentido, aunque el diseño no está orientado a detectar efectos pequeños, sí resultó suficiente para identificar diferencias marcadas entre tratamientos bajo condiciones controladas de laboratorio.

4.4 DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Los resultados obtenidos permiten sostener que la diatomita calcinada modificó de manera importante el comportamiento geotécnico de la subrasante arcillosa estudiada. Esta respuesta se relaciona con las características del aditivo empleado, el cual presentó alto contenido de SiO_2 , baja pérdida por ignición y elevada finura. Además, el análisis mineralógico por DRX mostró fases cristalinas principales y un fondo difuso amplio, lo que sugiere cualitativamente la presencia de material de baja cristalinidad o posible fracción amorfa. Sin embargo, debido a que el laboratorio no cuantificó dicha fracción, no corresponde afirmar que la diatomita sea predominantemente amorfa; esta condición debe interpretarse únicamente como una evidencia cualitativa. Desde ese enfoque, la acción de la diatomita calcinada puede explicarse principalmente por su comportamiento como material silíceo fino, capaz de modificar la distribución de partículas, contribuir al relleno de vacíos y alterar la demanda de agua del sistema suelo–aditivo. Asimismo, una posible contribución puzolánica estaría condicionada a la disponibilidad de calcio en el suelo, por lo que

su efecto no debe asumirse como único mecanismo de mejora. En consecuencia, el comportamiento observado puede atribuirse a la combinación de efectos físicos, cambios en la plasticidad y posibles interacciones fisicoquímicas dentro de la mezcla.

En relación con la plasticidad, los resultados muestran una tendencia notoria: el IP disminuyó de manera progresiva cuando aumentó el contenido de diatomita calcinada, pasando de 18.79 % en el suelo natural a 10.78 % con 12 % de adición. Esta reducción estuvo acompañada por una disminución del LL, de 41.66 % a 36.54 %, y un incremento del LP, de 22.88 % a 25.76 %, lo que indica que el suelo tratado se volvió menos plástico y menos sensible a las variaciones de humedad. Resultados similares fueron reportados por Phanikumar et al. (2020) y Jassim et al. (2022), así como por Ormeño et al. (2020), Piedra et al. (2021) y Vizcarra et al. (2020), quienes también observaron reducciones de la plasticidad con materiales silíceos finos. Sin embargo, otros estudios muestran respuestas distintas, como Aksakal et al. (2013), quienes encontraron incrementos en el LL y el LP, y Chairullah et al. (2022), quienes reportaron un aumento del IP. Esto confirma que el efecto del aditivo depende de su composición, calidad y comportamiento con el suelo tratado.

En cuanto a la compactación, los resultados del ensayo Proctor Modificado mostraron que el OCH aumentó de 15.16 % en el tratamiento control a 17.90 % en el tratamiento con 12 % de diatomita calcinada, mientras que la MDS disminuyó de 1.591 g/cm³ a 1.503 g/cm³. Este comportamiento puede atribuirse a la naturaleza fina, porosa y de menor gravedad específica del aditivo, condiciones que incrementan la demanda de agua y modifican el empaquetamiento de partículas (Aksakal et al., 2013). Un patrón semejante fue reportado por Jaiswal & Lal (2016), quienes señalaron que la ceniza de cáscara de arroz produjo incremento en el OCH y disminución en la MDS. Del mismo modo, Muñoz Perez et al. (2022), Ormeño et al. (2020), Piedra et al. (2021) y Vizcarra et al. (2020) encontraron tendencias similares con el uso de residuos silíceos y materiales puzolánicos. No obstante, también existen estudios con resultados diferentes. Kulanthaivel et al. (2024) reportaron que la sílice precipitada redujo tanto el OCH como la MDS, mientras que Zaini et al. (2025) hallaron que con humo de sílice el OCH disminuyó y la MDS aumentó. Esto demuestra que el comportamiento de compactación no responde a una regla única, sino que depende del tipo de aditivo, su finura, su porosidad y su interacción con el suelo base.

En cuanto a la capacidad de soporte, el CBR remojado al 95 % de la MDS aumentó de 3.75 % en el suelo natural a 9.11 % con 6 % de diatomita calcinada. Según la clasificación del MTC, el suelo natural se ubica como subrasante insuficiente, mientras que el tratamiento con 6 % permite alcanzar una condición de subrasante

regular. Asimismo, al 100 % de la MDS, el CBR pasó de 4.27 % a 10.63 %, valor que alcanza una condición de subrasante buena. Por ello, la mejora obtenida no solo es numérica, sino que tiene una implicancia directa en el desempeño vial.

Esta tendencia coincide con antecedentes en los que los aditivos silíceos o puzolánicos alcanzan su mejor desempeño en proporciones intermedias. Kulanthaivel et al. (2024) encontraron que la sílice precipitada logró su CBR óptimo con 6 % de adición; en la misma línea, Jaiswal & Lal (2016) reportaron que el CBR aumentó hasta 6 % de ceniza de cáscara de arroz y luego empezó a disminuir; asimismo, Dao et al. (2022) observaron que el metacaolín alcanzó su mejor respuesta alrededor del 6 %, con una reducción en dosificaciones mayores. En conjunto, estos antecedentes respaldan que los materiales silíceos finos mejoran progresivamente el comportamiento del suelo hasta llegar a un punto óptimo, donde el exceso de finos puede afectar la compactación y reducir parte del beneficio alcanzado.

De manera complementaria, este comportamiento también puede explicarse por el equilibrio entre la sílice reactiva aportada por el aditivo y el calcio disponible en el sistema, ya que las reacciones puzolánicas dependen de la disponibilidad de Ca(OH)_2 para formar compuestos cementantes tipo C-S-H; cuando la sílice excede la cantidad de calcio disponible, el incremento del aditivo no necesariamente produce una mejora adicional de resistencia (Pavlíková et al., 2022; Taylor, 1997).

Respecto al posible comportamiento expansivo de la calicata C-02, debe precisarse que su clasificación AASHTO A-7-6 (8), junto con un IP de 18.50 %, evidencia un suelo arcilloso sensible a la humedad, pero no constituye por sí sola una confirmación de expansividad. De acuerdo con la clasificación por índice de plasticidad considerada por el MTC, este valor se ubica en el rango de plasticidad media, por lo que resulta más apropiado hablar de una posible susceptibilidad a cambios volumétricos que de un suelo expansivo confirmado.

El registro de hinchamiento obtenido durante el ensayo CBR remojado también respalda esta interpretación. En la condición natural de la C-02, las expansiones a 96 h se ubicaron mayormente por debajo de 1 %, aunque se registró un valor máximo de 1.58 % en una probeta compactada con mayor energía. Estos resultados muestran una respuesta volumétrica frente a la saturación, pero deben interpretarse como parte del procedimiento CBR y no como un ensayo específico de potencial expansivo. Para confirmar formalmente la expansividad del material serían necesarios ensayos especializados, como índice de expansión, expansión libre o presión de expansión. Por tanto, en esta investigación la C-02 se considera una

subrasante arcillosa crítica por su baja capacidad de soporte, plasticidad media y sensibilidad al agua, mas no como un suelo expansivo comprobado.

También es importante verificar estos hallazgos con estudios en los que la diatomita no produjo mejoras e incluso afectó negativamente el comportamiento del suelo. Chairullah et al. (2022) reportaron que su adición incrementó la plasticidad y redujo el CBR, atribuyendo este resultado al menor contenido de sílice del material empleado. Esto permite advertir que no toda diatomita actúa de la misma forma, ya que su efectividad depende de factores como la composición química, la finura, el tratamiento térmico y la compatibilidad con el suelo a estabilizar. En ese sentido, la caracterización previa de la diatomita calcinada empleada en esta investigación constituye un respaldo técnico para explicar la respuesta favorable observada.

Respecto a la posibilidad de utilizar estos resultados como referencia para otros contextos, debe precisarse que la investigación no busca generalizar la dosificación a todos los suelos clasificados como CL o A-7-6. La clasificación SUCS y AASHTO permite agrupar suelos con comportamiento general semejante, pero no sustituye la evaluación específica de propiedades como mineralogía, contenido de finos, plasticidad, humedad natural, sales, pH, compactación y CBR. Por ello, la transferencia técnica de los resultados debe realizarse bajo un criterio de similitud geotécnica y no únicamente por nomenclatura.

Este criterio es coherente con los manuales de estabilización de suelos, los cuales recomiendan seleccionar preliminarmente los aditivos en función de la gradación, plasticidad, textura y clasificación del suelo, pero exigen preparar y ensayar mezclas para definir el diseño final (U.S. Army Corps of Engineers & U.S. Air Force, 1994). En el caso de la presente investigación, la C-02 representa un suelo arcilloso de subrasante CL/A-7-6, de plasticidad media, baja capacidad de soporte y sensibilidad a la humedad. Por ello, los resultados pueden servir como antecedente técnico para suelos de comportamiento similar, especialmente en contextos andinos o interandinos de altitud comparable, pero no deben aplicarse directamente a suelos de costa, selva o zonas altoandinas sin verificación experimental.

La caracterización del aditivo también fortalece este criterio de transferencia condicionada. La diatomita calcinada utilizada presentó predominio silíceo, baja pérdida por ignición, finura adecuada y evidencia mineralógica compatible con un material silíceo fino. Además, la ASTM C593 reconoce a la diatomita cruda o calcinada como puzolana natural evaluable para estabilización de suelos con cal, lo que respalda su interés técnico como material de modificación.

Esta forma de interpretar los resultados no representa una debilidad metodológica, sino una condición propia de la estabilización de suelos. Incluso en estabilizantes convencionales como la cal, la dosificación no se adopta de manera universal, ya que debe verificarse mediante ensayos de desempeño del suelo tratado. La ASTM D6276-19 señala que el ensayo de pH permite estimar el requerimiento inicial de cal, pero no informa por sí solo la reactividad real del suelo ni la magnitud del incremento de resistencia; por ello, la dosificación final debe verificarse mediante ensayos específicos del material estabilizado (ASTM International, 2019b). Bajo ese mismo criterio, la diatomita calcinada evaluada en esta investigación puede servir como antecedente técnico para suelos similares, pero no reemplaza la verificación experimental del suelo específico de un nuevo proyecto.

En consecuencia, la presente tesis sí puede emplearse como referencia para otros contextos, pero dentro de un dominio técnico delimitado: suelos arcillosos de subrasante de plasticidad media, baja capacidad de soporte, predominio de finos y condiciones ambientales andinas o interandinas semejantes. Bajo ese enfoque, el aporte de la investigación no es proponer una dosificación universal, sino establecer evidencia experimental de que una diatomita calcinada fina y de alto contenido silíceo puede modificar favorablemente un suelo arcilloso crítico, siempre que el nuevo proyecto verifique previamente la similitud suelo–aditivo con ensayos de laboratorio.

Como referencia frente a estabilizantes convencionales, en el Anexo A.4 se compara la diatomita calcinada con la cal y el cemento a una dosificación de 6 %. En esta investigación, la diatomita calcinada redujo el IP en 25.4 %, incrementó el OCH en 7.4 %, disminuyó la MDS en 3.0 % y elevó el CBR remojado en 2.43 veces respecto al suelo natural. En cambio, Bhattacharja et al. (2003) reportaron que la cal y el cemento al 6 % llevaron el suelo a condición no plástica y elevaron el CBR remojado en 26 y 74 veces, respectivamente. Estos resultados sugieren que la diatomita calcinada actúa favorablemente como modificador del suelo, aunque no alcanza la magnitud de mejora resistente de la cal y el cemento. Sin embargo, esta comparación debe asumirse con cautela por las diferencias en tipo de suelo, tiempo de curado y protocolo de ensayo.

Desde la perspectiva ambiental, el Anexo A.5 indica que la diatomita calcinada presenta una huella de CO₂ incorporado referencial menor que la del cemento Portland y la cal viva. Tomando como base valores de 0.30 a 0.32 kg CO₂e/kg para materiales silíceos calcinados análogos, su carga climática a una dosificación de 6 % sería de aproximadamente 18.6 kg CO₂e por tonelada de suelo seco tratado, frente a 54.0 kg CO₂e/t para el cemento y 70.8 kg CO₂e/t para la cal (European Commission,

2023; Kovalchuk et al., 2025; Lehne & Preston, 2018; Wu et al., 2023). En ese marco, aunque la cal y el cemento suelen generar mayores mejoras mecánicas, la diatomita calcinada muestra una ventaja comparativa por su menor carbono incorporado, por lo que su interés técnico puede entenderse como un equilibrio entre mejora geotécnica y menor impacto ambiental (Cheng et al., 2024). No obstante, esta comparación debe asumirse como referencial, sobre todo en el caso de la diatomita, cuyo valor se basa en parámetros de materiales silíceos calcinados y en estudios de desempeño ambiental a nivel de sistema.

En conjunto, la discusión muestra que la diatomita calcinada tuvo un efecto favorable en el suelo arcilloso de subrasante evaluado, ya que redujo la plasticidad, modificó los parámetros de compactación y mejoró la capacidad de soporte en condición remojada. Entre las dosificaciones evaluadas, el 6 % presentó el mayor promedio de CBR y puede considerarse el contenido más eficiente dentro del rango estudiado. Esta elección se sustenta no solo en el desempeño geotécnico, sino también en el menor consumo de aditivo respecto a dosificaciones superiores. Asimismo, desde el punto de vista económico, el análisis referencial mostró que, al considerar el costo del aditivo y una aplicación básica en obra, la diatomita calcinada alcanzó un costo directo total de S/ 41.60 por tonelada de suelo tratado, equivalente a S/ 7.76 por tonelada de suelo tratado por cada punto de incremento de CBR. Por ello, aunque su mejora resistente fue menor que la obtenida normalmente con estabilizantes convencionales como cal y cemento, la diatomita calcinada mostró un comportamiento favorable como modificador del suelo y un interés adicional desde la perspectiva económica y ambiental, especialmente cuando se tiene una fuente regional y se controla el costo de procesamiento, acarreo y aplicación en campo.

Capítulo V

CONCLUSIONES

La incorporación de diatomita calcinada en el suelo arcilloso de subrasante evaluado produjo una disminución progresiva del índice de plasticidad, lo que evidencia una mejora del comportamiento del material frente a la humedad. El IP se redujo de 18.79 % en el suelo natural a 10.78 % en el tratamiento con 12 % de adición, mostrando que el material tratado presentó menor plasticidad que el suelo patrón.

La reducción del IP estuvo asociada al comportamiento conjunto de los límites de Atterberg. El límite líquido disminuyó de 41.66 % a 36.54 %, mientras que el límite plástico aumentó de 22.88 % a 25.76 % conforme se incrementó el contenido de diatomita calcinada. En consecuencia, el intervalo de humedad en el que el suelo conserva comportamiento plástico se redujo, lo cual resulta favorable para una subrasante arcillosa expuesta a variaciones de humedad.

Los resultados del ensayo Proctor Modificado mostraron que la diatomita calcinada modificó los parámetros de compactación del suelo. El óptimo contenido de humedad aumentó de 15.16 % en el tratamiento control a 17.90 % en el tratamiento con 12 %, mientras que la máxima densidad seca disminuyó de 1.591 g/cm³ a 1.503 g/cm³. Esto indica que el suelo tratado requiere mayor contenido de agua para alcanzar su condición óptima de compactación y que la presencia del aditivo modifica el empaquetamiento del sistema suelo–diatomita.

En cuanto a la capacidad de soporte, el CBR remojado mostró una mejora importante respecto al suelo natural. Al 95 % de la MDS, el CBR aumentó de 3.75 % en el tratamiento control a 9.11 % con 6 % de diatomita calcinada. De acuerdo con la clasificación del MTC, este cambio permite pasar de una condición de subrasante

insuficiente a una condición de subrasante regular. Al 100 % de la MDS, el CBR aumentó de 4.27 % a 10.63 %, alcanzando una condición de subrasante buena.

El tratamiento con 6 % de diatomita calcinada presentó los mayores valores promedio de CBR en ambas condiciones de compactación. Por ello, este contenido se considera la dosificación más eficiente dentro de los niveles evaluados, al lograr el mejor desempeño promedio con menor consumo de aditivo frente a porcentajes mayores.

Aunque el tratamiento con 6 % presentó el mayor promedio de CBR, su diferencia frente al 9 % no debe interpretarse como superioridad absoluta en todas las comparaciones, sino como la alternativa más eficiente por equilibrio entre desempeño geotécnico y menor consumo de aditivo.

En los tratamientos con 9 % y 12 % de diatomita calcinada, los valores de CBR disminuyeron ligeramente respecto al 6 %, aunque se mantuvieron por encima del suelo natural. Este comportamiento muestra que una mayor dosificación no necesariamente genera una mejora adicional y que el exceso de material fino puede reducir parcialmente el beneficio alcanzado en la capacidad de soporte.

El análisis estadístico confirmó que el contenido de diatomita calcinada produjo diferencias significativas en el IP, OCH, MDS y CBR remojado. Asimismo, los tamaños de efecto obtenidos fueron altos en todas las variables evaluadas, lo que indica que la dosificación del aditivo explicó una proporción importante de la variación observada en el comportamiento geotécnico del suelo.

En síntesis, la diatomita calcinada actuó favorablemente como modificador del suelo arcilloso de subrasante evaluado. Bajo las condiciones de laboratorio de esta investigación, el contenido de 6 % permitió alcanzar el mejor equilibrio entre reducción de plasticidad, compactación controlable y aumento de la capacidad de soporte en condición remojada. Estos resultados pueden emplearse como antecedente técnico para suelos de comportamiento geotécnico similar, pero su aplicación en otro contexto requiere verificación previa mediante ensayos de laboratorio.

Capítulo VI

RECOMENDACIONES

Se recomienda considerar una dosificación cercana al 6 % de diatomita calcinada como contenido inicial de evaluación para suelos arcillosos de subrasante con características similares a las estudiadas: clasificación CL/A-7-6, plasticidad media, predominio de finos y baja capacidad de soporte. Esta dosificación no debe asumirse como definitiva en otros proyectos sin ensayos previos de verificación.

Para una posible aplicación en campo, se recomienda realizar primero ensayos de verificación con el suelo específico del proyecto, ya que el comportamiento de la diatomita calcinada puede variar según la mineralogía del suelo, contenido de finos, disponibilidad de calcio, humedad natural, sales solubles, pH, condiciones de compactación y ambiente climático.

En caso de aplicar esta alternativa fuera de un contexto andino o interandino comparable, se recomienda desarrollar un nuevo programa de caracterización y mezcla, debido a que los suelos de costa, selva o zonas altoandinas pueden presentar condiciones mineralógicas, climáticas y de humedad distintas a las evaluadas en esta investigación.

Durante la preparación y compactación del material tratado, se recomienda controlar cuidadosamente el contenido de humedad, debido a que la incorporación de diatomita calcinada incrementa el OCH respecto al suelo natural. Por ello, la mezcla debe compactarse cerca de la humedad óptima obtenida para el suelo tratado y no con el valor correspondiente al suelo sin aditivo.

Asimismo, se recomienda establecer los criterios de control de densidad en obra utilizando la MDS del material tratado, ya que la adición de diatomita calcinada reduce

progresivamente la máxima densidad seca. No sería adecuado exigir como referencia la misma densidad del suelo natural, porque el aditivo modifica el comportamiento de compactación.

Para fines de diseño y control de calidad, se recomienda emplear como referencia principal el CBR remojado al 95 % de la MDS, debido a que representa una condición más conservadora frente a la humedad y resulta más adecuada para evaluar subrasantes expuestas a lluvias o drenaje deficiente.

Se recomienda evitar dosificaciones superiores al 6 % sin una verificación previa de laboratorio, ya que los contenidos de 9 % y 12 % no generaron mejoras adicionales en la capacidad de soporte y mostraron una ligera disminución del CBR respecto al tratamiento de 6 %. En ese sentido, el aumento de aditivo debe justificarse técnicamente y no asumirse como una mejora automática.

Antes de emplear diatomita calcinada como material de mejoramiento, se recomienda caracterizar el aditivo mediante ensayos de composición química, finura, pérdida por ignición, pH, sales solubles y, cuando sea posible, análisis mineralógico. Esta caracterización es necesaria porque no toda diatomita presenta el mismo comportamiento ni la misma capacidad de modificación del suelo.

Finalmente, se recomienda validar los resultados mediante tramos piloto o ensayos a escala de campo, considerando condiciones reales de tránsito, drenaje, compactación y clima. Esta validación permitirá confirmar si el comportamiento observado en laboratorio se mantiene en condiciones de servicio.

FUTURAS INVESTIGACIONES

Se recomienda evaluar el comportamiento de subrasantes tratadas con diatomita calcinada mediante ensayos complementarios, como módulo resiliente, resistencia a compresión no confinada, durabilidad y ciclos de humedecimiento–secado, con el fin de aproximar mejor el comportamiento del material a condiciones reales de servicio.

También se recomienda estudiar el efecto de la diatomita calcinada combinada con activadores como cal o cemento en bajas proporciones, debido a que la presencia de calcio podría favorecer reacciones puzolánicas y mejorar la capacidad de soporte del suelo tratado.

Asimismo, sería conveniente analizar diferentes tiempos de curado y edades de ensayo, para verificar si la mejora del suelo se mantiene, aumenta o disminuye con el tiempo.

También se recomienda replicar el programa experimental en suelos arcillosos de clasificación similar, pero procedentes de otros contextos geográficos, con el fin de evaluar el rango real de transferibilidad de la diatomita calcinada como aditivo de mejoramiento. Estos estudios permitirían confirmar si las tendencias observadas en la calicata C-02 se mantienen en suelos CL/A-7-6 con diferente mineralogía, plasticidad, contenido de finos o régimen climático.

Finalmente, se recomienda ejecutar investigaciones a escala de campo o en tramos piloto, con control de humedad, densidad, drenaje y tránsito real, para validar los resultados obtenidos en laboratorio y definir criterios constructivos aplicables a caminos rurales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adeyanju, E., Okeke, C. A., Akinwumi, I., & Busari, A. (2020). Subgrade Stabilization using Rice Husk Ash-based Geopolymer (GRHA) and Cement Kiln Dust (CKD). *Case Studies in Construction Materials*, 13, e00388. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00388>
- Agramonte Bermejo, J. (1983). Las diatomitas de Ayacucho y su paralelo con las de Tarucani y Bayovar. *Boletín de La Sociedad Geológica Del Perú*, 72, 259–270. https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/3667/1/Agramonte-Diatomitas_Ayacucho_Tarucani_Bayovar.pdf
- Aksakal, E. L., Angin, I., & Öztas, T. (2013). Effects of diatomite on soil consistency limits and soil compactibility. *Catena*, 101, 157–163. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2012.09.001>
- Al-Gharbawi, A. S. A., Najemalden, A. M., & Fattah, M. Y. (2022). Expansive Soil Stabilization with Lime, Cement, and Silica Fume. *Applied Sciences*, 13(1), 436. <https://doi.org/10.3390/app13010436>
- Al-Mukhtar, M., Khattab, S., & Alcover, J.-F. (2012). Microstructure and geotechnical properties of lime-treated expansive clayey soil. *Engineering Geology*, 139–140, 17–27. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2012.04.004>
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (1993). *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*. AASHTO.
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2020). *AASHTO M 145: Standard Specification for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes*. <https://store.transportation.org>
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2021). *AASHTO T 193: Standard Method of Test for California Bearing Ratio (CBR)*. <https://store.transportation.org>
- Arias, F. G. (2016). *El proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica* (6th ed.). Episteme.
- ASTM International. (2014). *ASTM D854-14: Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer*. <https://www.astm.org/d0854>
- ASTM International. (2017a). *ASTM C117-17: Standard Test Method for Materials Finer than 75- μ m (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing*. <https://www.astm.org/c0117>
- ASTM International. (2017b). *ASTM D2488-17e1: Standard Practice for Description and Identification of Soils (Visual-Manual Procedures)*. <https://www.astm.org/d2488>
- ASTM International. (2017c). *ASTM D4318-17: Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils*. ASTM International. <https://www.astm.org/d4318-17.html>
- ASTM International. (2018). *ASTM C114-18: Standard Test Methods for Chemical Analysis of Hydraulic Cement*. <https://www.astm.org/c0114>
- ASTM International. (2019a). *ASTM C593-19 Standard Specification for Fly Ash and Other Pozzolans for Use With Lime for Soil Stabilization*. <https://www.astm.org/c0593-19.html>

- ASTM International. (2019b). *ASTM D6276-19: Standard Test Method for Using pH to Estimate the Soil-Lime Proportion Requirement for Soil Stabilization*. <https://www.astm.org/d6276-19.html>
- ASTM International. (2020). *ASTM E11-20: Standard Specification for Woven Wire Test Sieve Cloth and Test Sieves*. <https://www.astm.org/e0011>
- ASTM International. (2021a). *ASTM D1557-12(2021): Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft·lbf/ft³ [2,700 kN·m/m³])*. <https://www.astm.org/d1557>
- ASTM International. (2021b). *ASTM D1883-21: Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils*. <https://www.astm.org/d1883>
- ASTM International. (2021c). *ASTM D2487-17e1: Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)*. <https://www.astm.org/d2487>
- ASTM International. (2021d). *ASTM D6913/D6913M-17(2021): Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis*. <https://www.astm.org/d6913>
- ASTM International. (2022). *ASTM C618-22 Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete*. <https://www.astm.org/c0618-22.html>
- ASTM International. (2025). *ASTM C311/C311M-25 Standard Test Methods for Sampling and Testing Coal Ash or Natural Pozzolans for Use in Concrete*. <https://www.astm.org/Standards/C311.htm>
- Barman, D., & Dash, S. K. (2022). Stabilization of expansive soils using chemical additives: A review. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 14(4), 1319–1342. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2022.02.011>
- Berodier, E., & Scrivener, K. (2014). Understanding the Filler Effect on the Nucleation and Growth of C-S-H. *Journal of the American Ceramic Society*, 97(12), 3764–3773. <https://doi.org/10.1111/jace.13177>
- Bhattacharja, S., Bhatta, J. I., & Todres, H. A. (2003). *Stabilization of Clay Soils by Portland Cement or Lime – A Critical Review of Literature* (Number PCA R & D Serial No. 2066). <https://www.cement.org/wp-content/uploads/2024/08/sn2066.pdf>
- CAF – Banco de Desarrollo de América Latina y el Caribe. (2024). *Rural roads: A door to development and territorial connectivity*. <https://www.caf.com/>
- Cement Industry Federation. (2023). *Decarbonisation Pathways for the Australian Lime Sector*.
- Chairullah, B., Sungkar, M., & Ritonga, M. G. (2022). The Effect of Diatomaceous Earth Addition on CBR Values of Glee Geunteng Soil in Aceh Besar, Aceh Province, Indonesia. *Journal of the Civil Engineering Forum*, 71–78. <https://doi.org/10.22146/jcef.3529>
- Chavez-Ruiz, M., Cosco-Salguero, G. A., & Ruffner-Camargo, B. (2025). Thermal and chemical modifications of diatomite from Peru and its application in the adsorption of cadmium. *Boletín de La Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 64(4), 100444. <https://doi.org/10.1016/j.bsecv.2025.100444>
- Cheng, X., Zhang, H., Li, W., & Zhang, L. (2024). Utilizing diatomaceous earth (DE) as a sustainable substitute in alkali-activated cementitious materials:

- Performance and life cycle assessment. *Construction and Building Materials*, 452, 138889. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.138889>
- Christopher, B. R., Schwartz, C., & Boudreau, R. (2006). *Geotechnical Aspects of Pavements* (Number FHWA NHI-05-037). <https://www.fhwa.dot.gov/engineering/geotech/pubs/05037/>
- COEN-INDECI. (2021). *Reporte complementario N. 2274 - 24/4/2021 / COEN-INDECI / 21:10 horas (Reporte N. 2): Derrumbes en el distrito de Ocobamba - Apurímac*. <https://portal.indeci.gob.pe/wp-content/uploads/2021/04/REPORTE-COMPLEMENTARIO-N%C2%BA-2274-24ABR2021-DERRUMBE-EN-EL-DISTRITO-DE-OCOBAMBA-APURIMAC-2.pdf>
- COEN-INDECI. (2025). *Reporte complementario N.º 6002 - 20/5/2025 / COEN-INDECI / 19:45 horas (Reporte N.º 3): Deslizamiento en el distrito Ocobamba - Apurímac*. <https://portal.indeci.gob.pe/wp-content/uploads/2025/05/REPORTE-COMPLEMENTARIO-N.%C2%BA-6002-20MAY2025-DESLIZAMIENTO-EN-EL-DISTRITO-DE-OCOBAMBA-APUR%C3%8DMAC-4.pdf>
- Çokça, E. (2001). Use of Class C Fly Ashes for the Stabilization of an Expansive Soil. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 127(7), 568–573. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2001\)127:7\(568\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2001)127:7(568))
- Congreso de la República del Perú. (2025). *Informan sobre atención y mantenimiento de infraestructura vial en el país*. <https://comunicaciones.congreso.gob.pe/noticias/informan-sobre-atencion-y-mantenimiento-de-infraestructura-vial-en-el-pais/>
- Dao, P.-L., Bui, V.-D., Onyelowe, K. C., Ebid, A. M., Le, V. D., & Ahaneku, I. E. (2022). Effect of metakaolin on the mechanical properties of lateritic soil. *Geotechnical Research*, 9(4), 211–218. <https://doi.org/10.1680/jgere.22.00046>
- Espinoza Montes, C. (2014). *Metodología de investigación tecnológica: Pensando en sistemas* (2nd ed.). Autor-editor. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/1148>
- Estrada Arana, F. J., & Pintado Estrada, J. F. (2019). *Capacidad portante (CBR) del suelo incorporando cal hidratada y cemento Portland*.
- European Commission. (2023). *Default Values for the Transitional Period of the CBAM between 1 October 2023 and 31 December 2025*.
- Gobierno Regional de Ayacucho–PRIDER. (2026a). *Informe técnico sobre solicitud de modificación convencional de contrato: adquisición de cemento Portland tipo I (42.5 kg) para la obra Construcción represa Chanquil y el sistema de riego Chanquil Incaraccay, provincia de Cangallo–Ayacucho*.
- Gobierno Regional de Ayacucho–PRIDER. (2026b). *Presupuesto analítico de la actividad Paichi 01: Mejoramiento del servicio de recarga hídrica–Qocha Paichi 01*.
- Google. (2026). *Google Earth Pro*.
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill Education.
- Huang, Y. H. (2004). *Pavement Analysis and Design* (2nd ed.). Pearson Prentice Hall.
- Instituto Nacional de Calidad. (2018). *NTP 334.150:2018 CALES. Puzolanas para su uso con cal en la estabilización de suelos. Requisitos y métodos de ensayo. 2a edición*.

- Jaiswal, M., & Lal, B. (2016). Impact of Rice Husk Ash on Soil Stability (Including Micro Level Investigation). *Indian Journal of Science and Technology*, 9(30). <https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i30/99189>
- Jassim, N. W., Hassan, H. A., Mohammed, H. A., & Fattah, M. Y. (2022). Enhancement consistency and compaction characteristics of clayey soil using nano silica material. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences (PEN)*, 10(6), 77–83. <https://doi.org/10.21533/pen.v10.i6.910>
- Jin, H., Chen, H., Qian, X., Jin, W., Du, X., Jin, C., Li, H., Li, H., Zhu, Y., & Chao, J. (2022). Effects of mixed carriers on diatomite supported nano-TiO₂. *Scientific Reports*, 12(1), 19838. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-24441-w>
- Kalkan, E. (2009). Influence of silica fume on the desiccation cracks of compacted clayey soils. *Applied Clay Science*, 43(3–4), 296–302. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2008.09.002>
- Kamara, P. M., Tuffour, Y. A., Baffour-Ata, F., & Obeng, D. A. (2025). Framework for assessing the climate vulnerability of unpaved roads in Sierra Leone. *Frontiers in Climate*, 7. <https://doi.org/10.3389/fclim.2025.1608176>
- Kerlinger, F. N., & Lee, H. B. (2000). *Foundations of Behavioral Research* (4th ed.). Harcourt College Publishers.
- Kovalchuk, V., Guo, Z., Cheremisin, A., & Plank, J. (2025). Evaluation of a low carbon cement containing calcined clay for oil well cementing. *Geoenergy Science and Engineering*, 254, 214061. <https://doi.org/10.1016/j.geoen.2025.214061>
- Kulanthaivel, P., Krishnaraja, A. R., Muthusamy, S., Mishra, O. P., Sha, M. S., & Sadasivuni, K. K. (2024). An Experimental Analysis of Precipitated Silica in Petroleum-Contaminated Clay for the Strengthening of Soil Characteristics. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 48(3), 1573–1579. <https://doi.org/10.1007/s40996-023-01242-3>
- Kutner, M. H., Nachtsheim, C. J., Neter, J., & Li, W. (2005). *Applied Linear Statistical Models* (5th ed.). McGraw-Hill.
- Lakens, D. (2013). Calculating and reporting effect sizes to facilitate cumulative science: a practical primer for t-tests and ANOVAs. *Frontiers in Psychology*, 4. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00863>
- Lehmann, P., Leshchinsky, B., Gupta, S., Mirus, B. B., Bickel, S., Lu, N., & Or, D. (2021). Clays Are Not Created Equal: How Clay Mineral Type Affects Soil Parameterization. *Geophysical Research Letters*, 48(20). <https://doi.org/10.1029/2021GL095311>
- Lehne, J., & Preston, F. (2018). *Making Concrete Change: Innovation in Low-carbon Cement and Concrete*.
- Lim, N. W., & Sabaa, B. A. (1991). The pozzolanic activity of calcined diatomite as a factor of temperature and time. *Key Engineering Materials*, 53–55, 530–535.
- Liu, W., Huang, X., Feng, X., & Xie, Z. (2023). Compaction and bearing characteristics of untreated and treated lateritic soils with varying moisture content. *Construction and Building Materials*, 392, 131893. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131893>
- Lu, N., & Likos, W. J. (2006). Suction Stress Characteristic Curve for Unsaturated Soil. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 132(2), 131–142. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2006\)132:2\(131\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2006)132:2(131))

- Magalhães, L. J. R., Ferreira, D. M., & Ramos-Gavilán, A. B. (2025). Enhancing concrete sustainability with spent diatomaceous earth from the wine industry: Long-term experimental and statistical analysis. *Structural Concrete*, 26(2), 2277–2295. <https://doi.org/10.1002/suco.202400889>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2008). *Manual para el Diseño de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito*. https://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_770.pdf
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). *Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos*. <https://www.gob.pe/mtc>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016a). AP-102. https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/Mapas%20RVD/Apurimac/AP-102.pdf
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016b). *Manual de Ensayo de Materiales*. <https://www.gob.pe/mtc>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú. (2022). *Infraestructura vial del Sistema Nacional de Carreteras por tipo de superficie, según departamento*. <https://www.datosabiertos.gob.pe/>
- Mitchell, J. K., & Soga, K. (2005). *Fundamentals of Soil Behavior* (3rd ed.). John Wiley & Sons.
- Montejo Rodolfo, R., Raymundo Juárez, J. E., & Chávez Ancajima, J. S. (2020). MATERIALES ALTERNATIVOS PARA ESTABILIZAR SUELOS: EL USO DE CENIZA DE CÁSCARA DE ARROZ EN VÍAS DE BAJO TRÁNSITO DE PIURA. *TZHOECOEN*, 12(1), 131–140. <https://doi.org/10.26495/tzh.v12i1.1251>
- Montgomery, D. C. (2019). *Design and Analysis of Experiments* (10th ed.). John Wiley & Sons.
- Municipalidad Distrital de Ocobamba - Gestión 2023/2026. (2026). *Intervención inmediata en el sector Sarahuarcay para mantener la transitabilidad [Fotografía]*. https://www.facebook.com/permalink.php?story_fbid=pfbid02NdhbocJX896xx5ZZNqWFWusYVezwgaFF4yg2GJ5gvtuzw98r67R63Bj8QFxFjiteZl&id=100089230717013
- Muñoz Perez, S. P., Millones-Chapoñan, M., & Villanueva-Meza, C. D. (2022). La Ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar Como Aditivo Estabilizador en Suelos Arcillosos con Fines de Pavimentación: Una Revisión Literaria. *INGENIERÍA Y COMPETITIVIDAD*, 25(1). <https://doi.org/10.25100/iyc.v25i1.11801>
- Ñaupas Paitán, H., Valdivia Dueñas, M. R., Palacios Vilela, J. J., & Romero Delgado, H. E. (2018). *Metodología de la investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis* (5th ed.). Ediciones de la U. https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9789587628777_A37185220/preview-9789587628777_A37185220.pdf
- Neville, A. M. (2011). *Properties of Concrete* (5th ed.). Pearson Education.
- NIST/SEMATECH. (2012). *e-Handbook of Statistical Methods*. <https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/>
- Ormeño, E., Rivas, N., Duran, G., & Soto, M. (2020). Stabilization of a Subgrade Composed by Low Plasticity Clay with Rice Husk Ash. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 758(1), 012058. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/758/1/012058>

- Pavlíková, M., Rovnaníková, P., Záleská, M., & Pavlík, Z. (2022). Diatomaceous Earth—Lightweight Pozzolan Admixtures for Repair Mortars—Complex Chemical and Physical Assessment. *Materials*, 15(19), 6881. <https://doi.org/10.3390/ma15196881>
- Phanikumar, B. R., m, J. R., & e, R. R. (2020). Silica fume stabilization of an expansive clay subgrade and the effect of silica fume-stabilised soil cushion on its CBR. *Geomechanics and Geoengineering*, 15(1), 64–77. <https://doi.org/10.1080/17486025.2019.1620348>
- Piedra, Y., González, Y., Díaz, J., & Pérez, M. (2021). Mechanical behavior of clayey soil stabilized with sugarcane bagasse ash. *Revista Ingeniería de Construcción*, 36(2), 153–162. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732021000200153>
- Poojalakshmi, E. S., Nagarajan, P., Sudhakumar, J., & Thomas, B. S. (2025). Impact of alkaline activator concentration on mechanical properties and microstructure of a ternary blended one-part geopolymer cement. *Scientific Reports*, 15(1), 33808. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-01610-1>
- Pulgar Vidal, J. (1987). *Geografía del Perú: Las ocho regiones naturales del Perú*. Editorial Universo.
- Rahman, M. S., & Erlingsson, S. (2016). Moisture influence on the resilient deformation behaviour of unbound granular materials. *International Journal of Pavement Engineering*, 17(9), 763–775. <https://doi.org/10.1080/10298436.2015.1019497>
- Ramírez Carrión, J. (2012). *Evaluación geológica de las diatomitas en la cuenca Ayacucho y sus implicancias económicas* [Universidad Nacional de Ingeniería]. https://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/20.500.14076/1338/1/ramirez_cj.pdf
- Ramírez Carrión, J. (2013). Caracterización de las diatomitas de Tambillo, La Quinua, y La Moya (cuenca Ayacucho). *Boletín de La Sociedad Geológica Del Perú*, 107, 185–188. https://www.sgp.org.pe/wp-content/uploads/BSGP-107_38-185-188-Ram%20%B1rez.pdf
- Richardson, J. T. E. (2011). Eta squared and partial eta squared as measures of effect size in educational research. *Educational Research Review*, 6(2), 135–147. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2010.12.001>
- Singh, P., Kumar Dash, H., & Samantaray, S. (2020). Effect of silica fume on engineering properties of expansive soil. *Materials Today: Proceedings*, 33, 5035–5040. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.839>
- Sistema Electrónico de Contrataciones del Estado. (2017). *Documento técnico de intervención vial en el tramo AP-102 (Umaca) – emp. AP-531 (Sarahuarcay)*. <https://prod1.seace.gob.pe/SeaceWeb-PRO/>
- Snellings, R., Mertens, G., & Elsen, J. (2012). Supplementary Cementitious Materials. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 74(1), 211–278. <https://doi.org/10.2138/rmg.2012.74.6>
- Sridharan, A., & Nagaraj, H. B. (2005). Plastic limit and compaction characteristics of fine-grained soils. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Ground Improvement*, 9(1), 17–22. <https://doi.org/10.1680/grim.2005.9.1.17>
- Syahril, Purba, D. A., & Sagala, S. D. (2025). Effect of Calcite and Silica Fume on Compaction and CBR in Clay Stabilization. *International Journal of GEOMATE*, 29(133), 39–46. <https://doi.org/10.21660/2025.133.4946>

- Tankiewicz, M., Mońka, J., & Zięba, Z. (2023). Effect of nanosilica stabilisation on the bearing capacity under undrained conditions. *Archives of Civil Engineering*, 69(3), 269–284. <https://doi.org/10.24425/ace.2023.146080>
- Taylor, H. F. W. (1997). *Cement Chemistry* (2nd ed.). Thomas Telford Publishing.
- U.S. Army Corps of Engineers, & U.S. Air Force. (1994). *TM 5-822-14/AFJMAN 32-1019: Soil Stabilization for Pavements*. https://www.wbdg.org/FFC/ARMYCOE/COETM/ARCHIVES/tm_5_822_14.pdf
- U.S. Geological Survey. (2025). *Diatomite: Mineral Commodity Summaries 2025*. <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2025/mcs2025-diatomite.pdf>
- Valencia-Gallego, V., & Montoya, L.-J. (2024). Erosion mechanisms in unpaved roads: Effects of slope, rainfall, and soil type. *Air, Soil and Water Research*. <https://doi.org/10.1177/11786221241272396>
- Vizcarra, S., Lujan, I., Soto, M., & Durán, G. (2020). Experimental analysis of the addition of rice husk ash to the clayey subgrade of a road stabilized with lime. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 758(1), 012090. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/758/1/012090>
- Waleed, M., & Alshawmar, F. (2025). Enhancing mechanical properties of low plasticity soil through coal and silica fume stabilization. *Scientific Reports*, 15(1), 9990. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-94149-0>
- Workman, R., Wong, P., Wright, A., & Wang, Z. (2023). Prediction of Unpaved Road Conditions Using High-Resolution Optical Satellite Imagery and Machine Learning. *Remote Sensing*, 15(16), 3985. <https://doi.org/10.3390/rs15163985>
- World Bank. (2016). *Why Does the Quality of Rural Roads Matter?* <https://doi.org/10.1596/26294>
- Wu, E., Wang, Q., Ke, L., & Zhang, G. (2023). Study on Carbon Emission Characteristics and Emission Reduction Measures of Lime Production—A Case of Enterprise in the Yangtze River Basin. *Sustainability*, 15(13), 10185. <https://doi.org/10.3390/su151310185>
- Zaini, M. S. I., Hasan, M., Almuaythir, S., & Hyodo, M. (2024). Experimental investigations on physico-mechanical properties of kaolinite clay soil stabilized at optimum silica fume content using clamshell ash and lime. *Scientific Reports*, 14(1), 10995. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-61854-1>
- Zaini, M. S. I., Hasan, M., Suwito, A. R., Zolkepli, M. F., Mohamed, N., & Abu Talib, Z. (2025). Effect of Silica Fume as Industrial Byproduct on the Stabilization of Kaolin Clay Soil. *International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology*, 16(2), 349–364. <https://doi.org/10.30880/ijscet.2025.16.02.021>
- Zheng, R., Ren, Z., Gao, H., Zhang, A., & Bian, Z. (2018). Effects of calcination on silica phase transition in diatomite. *Journal of Alloys and Compounds*, 757, 364–371. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.05.010>

LISTA DE ABREVIATURAS

AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials.

ANOVA: Análisis de varianza.

ASTM: American Society for Testing and Materials.

CBR: *California Bearing Ratio* (Índice de Soporte California).

CV: Coeficiente de variación.

DCA: Diseño Completamente Aleatorizado.

DE: Desviación estándar.

DRX: Difracción de rayos X.

FRX: Fluorescencia de rayos X.

HSD: Diferencia honestamente significativa (prueba de Tukey).

IP: Índice de Plasticidad.

LL: Límite Líquido.

LOI: Pérdida por ignición.

LP: Límite Plástico.

MDS: Máxima Densidad Seca.

MTC: Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú.

NP: No plástico.

OCH: Óptimo Contenido de Humedad.

SEM: Microscopía electrónica de barrido.

SGGP: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos.

SPSS: Paquete estadístico para las ciencias sociales.

SST: Sales solubles totales.

SUCS: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

UTM: Universal Transverse Mercator.

GLOSARIO

Afirmado: Capa granular utilizada en vías no pavimentadas, colocada sobre la subrasante para mejorar la transitabilidad y distribuir las cargas del tránsito.

Calicata: Excavación exploratoria realizada en el terreno para identificar, muestrear y caracterizar los materiales del suelo en su estado natural.

Capacidad de soporte: Aptitud del suelo para resistir cargas aplicadas sin experimentar fallas ni deformaciones excesivas; en ingeniería vial se evalúa comúnmente mediante el índice CBR.

CBR remojado: Condición del ensayo CBR en la cual la probeta es sometida a inmersión controlada durante un periodo normado, con la finalidad de simular un estado desfavorable de humedad en la subrasante.

Compactación: Proceso mecánico por el cual aumenta la densidad del suelo al reducirse el volumen de vacíos, por efecto de una energía aplicada en condiciones controladas.

Diatomita calcinada: Material silíceo de origen natural obtenido mediante tratamiento térmico de la diatomita, caracterizado por su elevada finura y su potencial de modificar el comportamiento del suelo.

Diseño completamente aleatorizado (DCA): Diseño experimental en el que los tratamientos se asignan al azar a las unidades experimentales, con el fin de evaluar el efecto de un factor sobre una o más variables de respuesta.

Dosificación: Proporción de aditivo incorporado al suelo, expresada generalmente como porcentaje en relación con el peso seco de la muestra.

Índice de plasticidad (IP): Diferencia entre el límite líquido y el límite plástico del suelo; indica el intervalo de humedad en el que el material presenta comportamiento plástico.

Límite líquido (LL): Contenido de humedad a partir del cual el suelo pasa del estado plástico al estado líquido.

Límite plástico (LP): Contenido de humedad a partir del cual el suelo pasa del estado semisólido al estado plástico.

Límites de Atterberg: Conjunto de ensayos que permiten definir los cambios de consistencia de un suelo fino según su contenido de humedad, mediante el límite líquido, el límite plástico y el índice de plasticidad.

Máxima densidad seca (MDS): Mayor densidad del suelo seco que puede lograrse con una determinada energía de compactación determinada, obtenida a partir del ensayo Proctor.

Óptimo contenido de humedad (OCH): Contenido de humedad con el cual un suelo alcanza su máxima densidad seca para una energía de compactación específica.

Proctor Modificado: Ensayo de laboratorio empleado para determinar la relación entre el contenido de humedad y la densidad seca del suelo bajo una energía de compactación elevada, representativa de condiciones de obra vial.

Subrasante: Capa de suelo natural o tratada que cumple la función de apoyo estructural al pavimento y transfiere las cargas del tránsito al terreno inferior.

Subrasante arcillosa: Subrasante constituida por suelos de textura fina con predominio de arcilla, generalmente sensible a las variaciones de humedad y con comportamiento desfavorable cuando se satura.

ANEXOS

A.1 MATRIZ DE CONSISTENCIA.

Tabla 40

Matriz de consistencia

Influencia de la diatomita calcinada en el CBR, plasticidad y Proctor de la subrasante arcillosa en la carretera AP-102, sector Sarahuarcay, Apurímac

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN	VARIABLES	METODOLOGÍA
GENERAL ¿Cuál es el efecto de incorporar diatomita calcinada, en contenidos de 0 %, 3 %, 6 %, 9 % y 12 %, sobre el índice de plasticidad, los parámetros de compactación Proctor Modificado y el CBR remojado de un suelo arcilloso de subrasante tipo CL/A-7-6, de plasticidad media y baja capacidad de soporte, representado por la calicata crítica C-02 de la carretera AP-102, sector Sarahuarcay, Apurímac?	Evaluar la influencia de la adición de diatomita calcinada, en contenidos de 0 %, 3 %, 6 %, 9 % y 12 %, sobre el índice de plasticidad, el óptimo contenido de humedad, la máxima densidad seca y el CBR remojado de un suelo arcilloso de subrasante tipo CL/A-7-6, de plasticidad media y baja capacidad de soporte, representado por la calicata crítica C-02 de la carretera AP-102, sector Sarahuarcay, Apurímac.	La incorporación de diatomita calcinada, en contenidos de 0 %, 3 %, 6 %, 9 % y 12 %, modifica el comportamiento geotécnico del suelo arcilloso de subrasante evaluado, al reducir su plasticidad, variar sus parámetros de compactación Proctor Modificado y mejorar su capacidad de soporte en condición remojada.		* Alcance: Explicativo * Enfoque: Cuantitativo * Diseño: Experimental (Diseño Completamente Aleatorizado – DCA)
¿Cómo varía el índice de plasticidad del suelo arcilloso de subrasante evaluado al incorporar diatomita calcinada en contenidos de 0 %, 3 %, 6 %, 9 % y 12 %?	Determinar la variación del índice de plasticidad del suelo arcilloso de subrasante evaluado con diatomita calcinada mediante los límites de Atterberg.	La incorporación de diatomita calcinada reduce el índice de plasticidad del suelo arcilloso de subrasante evaluado, debido a la variación de los límites de Atterberg del suelo tratado.	VI: Adición de diatomita calcinada (%) VD: CBR, plasticidad y parámetros de compactación Proctor de la subrasante arcillosa	* Población: suelos arcillosos de subrasante clasificados como CL/A-7-6, de plasticidad media, predominio de finos y baja capacidad de soporte
ESPECÍFICOS ¿Cómo varían el óptimo contenido de humedad y la máxima densidad seca del suelo arcilloso de subrasante tratado con diatomita calcinada , según el ensayo Proctor Modificado?	Determinar la variación del óptimo contenido de humedad y la máxima densidad seca del suelo arcilloso de subrasante evaluado con diatomita calcinada mediante el ensayo Proctor Modificado.	La incorporación de diatomita calcinada modifica los parámetros de compactación Proctor Modificado del suelo arcilloso de subrasante evaluado, incrementando el óptimo contenido de humedad y reduciendo la máxima densidad seca .		* Muestra: Suelo de la calicata C-02, seleccionada por criterio de condición crítica y utilizada como material base del programa experimental
¿Cómo varía el CBR remojado, al 95 % y 100 % de la MDS, del suelo arcilloso de subrasante tratado con diatomita calcinada ?	Determinar la variación del CBR remojado al 95 % y 100 % de la MDS, e identificar el contenido de diatomita calcinada con mejor desempeño dentro de los niveles evaluados.	La incorporación de diatomita calcinada incrementa el CBR remojado del suelo arcilloso de subrasante evaluado, tanto al 95 % como al 100 % de la MDS, y permite identificar una dosificación con mejor desempeño dentro de los niveles evaluados.		* Muestreo: No probabilístico por criterio técnico (peor condición geotécnica)

A.2 MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

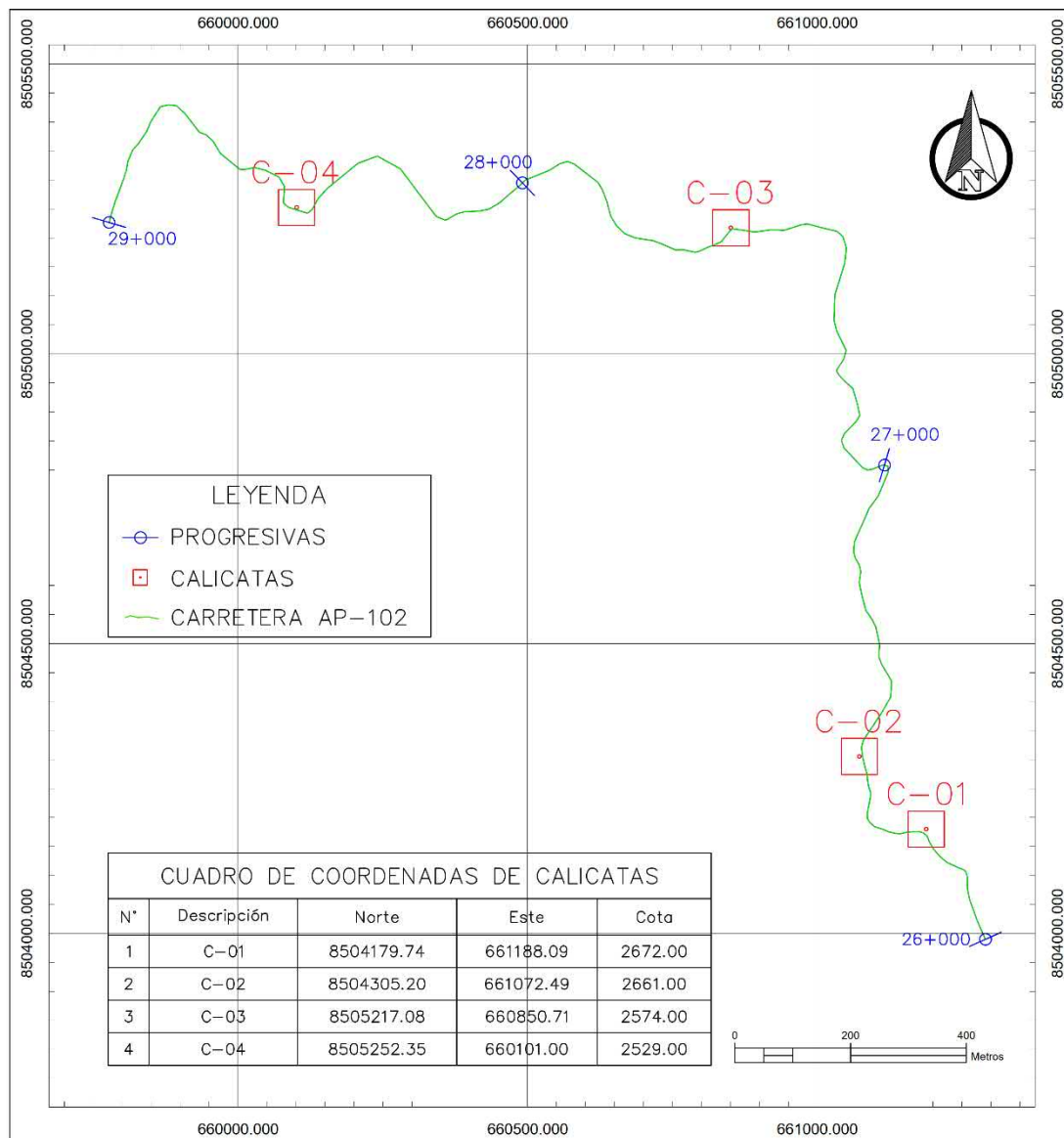
Tabla 41

Matriz de operacionalización de variables

Influencia de la diatomita calcinada en el CBR, plasticidad y Proctor de la subrasante arcillosa en la carretera AP-102, sector Sarahuarcay, Apurímac

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDADES DE MEDIDA	TÉCNICAS DE ENSAYO	ESCALA DE MEDICIÓN	
VARIABLE INDEPENDIENTE	Adición de diatomita calcinada	Material fino incorporado al suelo en porcentajes definidos respecto al peso seco, con el propósito de modificar sus propiedades geotécnicas.	Incorporación de diatomita calcinada al suelo arcilloso en dosificaciones de 0 %, 3 %, 6 %, 9 % y 12 %, expresadas respecto al peso seco del suelo.	Dosificación del aditivo	0 %, 3 %, 6 %, 9 %, 12 %	Porcentaje en peso (%)	Preparación del aditivo y dosificación gravimétrica de la diatomita calcinada en porcentajes respecto al peso seco del suelo.	Razón
VARIABLES DEPENDIENTES	Plasticidad	Capacidad del suelo para deformarse sin fracturarse, determinada mediante límites de Atterberg: LL, LP e IP (ASTM International, 2017c).	Determinación de LL y LP mediante ensayo normalizado; cálculo de IP como diferencia LL – LP.	Plasticidad del suelo	IP	Porcentaje (%)	Determinación de límites de Atterberg (LL, LP e IP) según ASTM D4318 y MTC E 110 / E 111.	Razón
	Parámetros de compactación Proctor	Propiedades que describen la capacidad del suelo de alcanzar MDS a un OCH bajo una energía definida (ASTM International, 2021a).	Ensayo Proctor Modificado para cada mezcla suelo–diatomita calcinada; obtención de MDS y OCH desde la curva de compactación.	Máxima densidad seca	MDS	g/cm³	Determinación de OCH y MDS mediante Proctor Modificado, según ASTM D1557 y MTC E 115.	Razón
				Óptimo contenido de humedad	OCH	% humedad		
	CBR	Parámetro que mide la capacidad de soporte del suelo mediante la resistencia a la penetración de una carga estándar, expresada en porcentaje (ASTM International, 2021b).	Preparación de probetas compactadas y ensayo CBR en condición remojada (96 h) para cada tratamiento; reporte al 95 % y 100 % de MDS.	Capacidad de soporte	CBR al 95 % de la MDS; CBR al 100 % de la MDS	Porcentaje (%)	Determinación del CBR remojado en laboratorio según ASTM D1883 y MTC E 132.	Razón

A.3 PLANO DE UBICACIÓN



 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL				
PROYECTO: Influencia de la diatomita calcinada en el CBR, plasticidad y Proctor de la subrasante arcillosa en la carretera AP-102, sector Sarahuaray, Apurímac				
PLANO:				
PLANO DE UBICACIÓN				
CARRETERA: AP-102 SECTOR: SARAHUARAY DISTRITO: OCOBAMBA PROVINCIA: CHINCHEROS REGIÓN: APURÍMAC	PROGRESIVA: 26+000 @ 28+000 FECHA: DICIEMBRE, 2025	TESISTA: BACH. EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON	ESCALA: 1/7500	LÁMINA: PU

A.4 COMPARACIÓN REFERENCIAL DE DESEMPEÑO ENTRE DIATOMITA CALCINADA, CAL Y CEMENTO

Con la finalidad de contextualizar el comportamiento de la diatomita calcinada frente a estabilizantes de uso más extendido, se presenta una comparación referencial con cal y cemento considerando las principales variables dependientes evaluadas en la presente investigación: plasticidad, compactación y capacidad de soporte. Para ello, se consideró como referencia la dosificación de 6 % de aditivo, debido a que en esta investigación dicho contenido produjo el mejor desempeño en términos de CBR remojado. En el caso de la diatomita calcinada, se emplearon los hallazgos de este estudio; para la cal y el cemento, se utilizaron los valores reportados por Bhattacharja et al. (2003) para un suelo arcilloso A-7-6 estabilizado con 6 % y 9 % de dichos aditivos. Esta comparación debe interpretarse como referencial, ya que no corresponde a un mismo programa experimental ni a idénticas condiciones de curado y ensayo.

Tabla 42

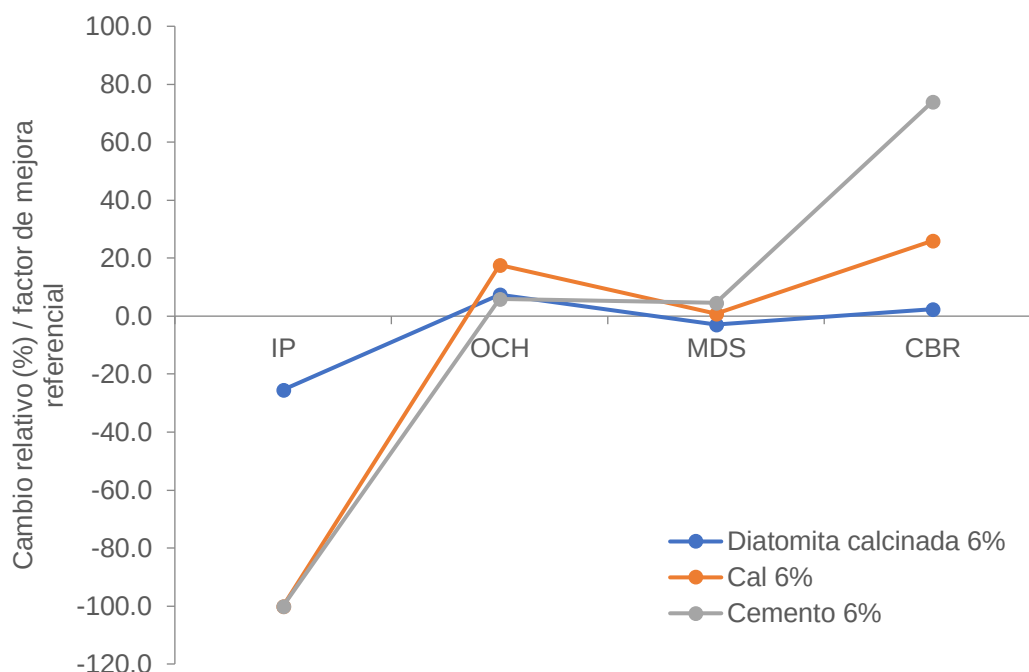
Comparación relativa de desempeño al 6 % de aditivo

Variable	Diatomita calcinada 6 %	Cal 6 %	Cemento 6 %
Cambio en IP (%)	-25.4	-100.0	-100.0
Cambio en OCH (%)	+7.4	+17.6	+5.9
Cambio en MDS (%)	-3.0	+0.9	+4.7
Factor de mejora del CBR remojado	+2.43	+26.0	+74.0

Nota. La variación porcentual de IP, OCH y MDS se calculó respecto al suelo control de cada estudio. En el caso del CBR, el valor se expresa como factor de mejora respecto al suelo natural. Por ello, la comparación debe interpretarse como referencial y no como equivalencia directa entre estudios, debido a diferencias en tipo de suelo, procedimiento experimental y condiciones de curado.

Figura 49

Comparación relativa de plasticidad, compactación y capacidad de soporte al 6 % de aditivo



Nota. Elaboración propia a partir de los resultados del presente estudio para diatomita calcinada y de los valores reportados por Bhattacharja et al. (2003) y Estrada Arana & Pintado Estrada (2019) para estabilización de suelos con cal y cemento. El gráfico muestra la variación relativa del IP, el OCH, la MDS y el CBR remojado, considerando una dosificación de 6 % de aditivo. Los valores se expresan como cambio relativo respecto al suelo natural de cada estudio, por lo que la comparación debe interpretarse como un parámetro de desempeño y no como una equivalencia experimental directa entre investigaciones con diferentes condiciones de ensayo. En el caso del CBR, los valores representan factor de mejora y no porcentaje de incremento.

En términos generales, el gráfico muestra que los estabilizantes tradicionales (cal y cemento) generan disminuciones más pronunciadas de la plasticidad y aumentos más elevados en la capacidad de soporte del suelo. Sin embargo, la diatomita calcinada también produce mejoras en el comportamiento geotécnico, especialmente en la disminución del IP y el aumento del CBR, lo que indica su potencial como material alternativo de estabilización en suelos arcillosos. Estos resultados son consistentes con investigaciones previas sobre estabilización de suelos con cal, cemento y materiales silíceos finos (Bhattacharja et al., 2003; Estrada Arana & Pintado Estrada, 2019).

A.5 COMPARACIÓN REFERENCIAL DE HUELLA DE CO₂ INCORPORADO ENTRE DIATOMITA CALCINADA, CAL Y CEMENTO

Con el fin de complementar la comparación técnica entre estabilizantes, se realizó un análisis comparativo referencial de huella de CO₂ incorporado entre la diatomita calcinada, la cal viva y el cemento Portland. La comparación se planteó en dos niveles: i) el factor unitario de emisión del aditivo, expresado en kg CO₂e/kg de material, y ii) la emisión referencial por tonelada de suelo seco tratado, asumiendo una dosificación de 6 % de aditivo, equivalente a 60 kg de material por tonelada de suelo. Para la diatomita calcinada, se adoptó un valor referencial de 0.31 kg CO₂e/kg, calculado como promedio del rango 0.30–0.32 kg CO₂e/kg reportado para materiales silíceos calcinados análogos, especialmente arcilla calcinada (European Commission, 2023; Kovalchuk et al., 2025). Para el cemento Portland y la cal viva, se usaron factores unitarios reportados en literatura técnica y sectorial (Cement Industry Federation, 2023; Lehne & Preston, 2018; Wu et al., 2023).

Tabla 43

Parámetro referencial de huella de CO₂ incorporada

Material	Fuente A	Fuente B	Factor adoptado (kg CO ₂ e/kg)	Emisión referencial a 6 % (kg CO ₂ e/t suelo seco)	Relación vs. diatomita
Diatomita calcinada (benchmark silíceo calcinado)	European Commission (2023): 0.32	Kovalchuk et al. (2025): 0.30	0.31	18.6	1.0x
Cemento Portland	European Commission (2023): 0.87	Lehne & Preston (2018): 0.93	0.90	54.0	2.9x
Cal viva	Wu et al. (2023): 1.10–1.18	Cement Industry Federation (2023): ≈1.22	1.18	70.8	3.8x

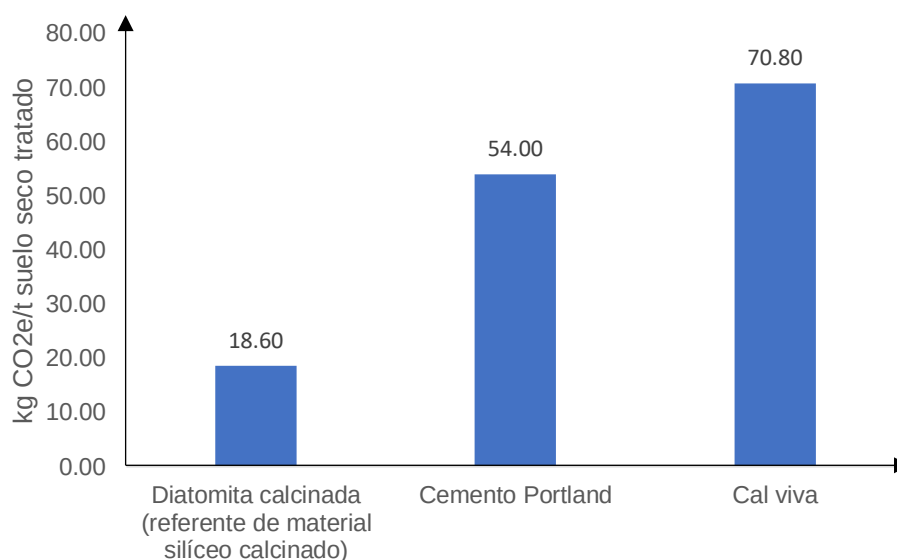
Nota. Para la diatomita calcinada se tomó como base un material silíceo calcinado, ya que la literatura específica sobre la diatomita reporta con mayor frecuencia beneficios ambientales a nivel de sistema; por ejemplo, sustitución parcial de ligantes convencionales y reducción de intensidad de CO₂ antes que un único factor estandarizado de emisiones del aditivo durante su producción (Cheng et al., 2024). Para el cemento Portland y la cal viva sí existen factores unitarios más consolidados en la literatura y en documentos sectoriales (Cement Industry Federation, 2023; Lehne & Preston, 2018; Wu et al., 2023). La conversión a kg CO₂e/t de suelo seco tratado se realizó considerando 60 kg de aditivo por tonelada de suelo.

Bajo el supuesto de una dosificación de 6 %, la diatomita calcinada presenta una carga climática referencial de 18.6 kg CO₂e por tonelada de suelo seco tratado, mientras que el cemento Portland alcanzaría aproximadamente 54.0 kg CO₂e/t y la cal viva alrededor de 70.8 kg CO₂e/t. En términos relativos, ello indica que la carga de carbono incorporado del cemento sería aproximadamente 2.9 veces mayor y la de la cal 3.8 veces mayor que la de la diatomita calcinada. Esta diferencia es coherente con el hecho de que la fabricación de cemento y cal involucra la descarbonatación de la caliza, además del consumo térmico, mientras que los materiales silíceos calcinados no presentan esa fuente de emisión en la misma magnitud (Cement Industry Federation, 2023; Kovalchuk et al., 2025; Lehne & Preston, 2018; Wu et al., 2023).

Asimismo, estudios recientes muestran que la incorporación de tierra de diatomeas como sustituto parcial en matrices cementicias puede disminuir la intensidad global de CO₂ del sistema, lo que respalda el interés ambiental de este tipo de materiales como alternativa de menor huella incorporada (Cheng et al., 2024)

Figura 50

Huella de CO₂ incorporado de diatomita calcinada, cal y cemento a 6 % de dosificación



Nota. Elaboración propia con base en factores de emisión reportados para arcilla calcinada, cemento Portland y cal viva. En el caso de la diatomita calcinada, se utilizó un parámetro de material silíceo calcinado por similitud de proceso térmico (European Commission, 2023; Kovalchuk et al., 2025). La figura expresa la huella de CO₂ en kg CO₂e por tonelada de suelo seco tratado, asumiendo una dosificación de 6 % de aditivo (Cement Industry Federation, 2023; Lehne & Preston, 2018; Wu et al., 2023).

A.6 ANÁLISIS REFERENCIAL DE COSTO Y COSTO-EFECTIVIDAD DE LA DIATOMITA CALCINADA

El presente anexo desarrolla una estimación económica referencial del uso de diatomita calcinada como aditivo para el mejoramiento de la subrasante arcillosa de la carretera AP-102, sector Sarahuarcay. El análisis se realiza a nivel de prefactibilidad, con estructura similar a un análisis de precios unitarios de obra vial, y toma como base la dosificación de 6 %, debido a que este contenido presentó el mejor desempeño técnico en la investigación.

A dicha dosificación, el CBR remojado al 95 % de la MDS aumentó de 3.75 % en el suelo natural a 9.11 %, equivalente a una mejora de 5.36 puntos porcentuales. Por ello, el análisis económico considera el costo del aditivo puesto en obra y, de manera complementaria, un APU simplificado de aplicación básica en campo para tratar una tonelada de suelo seco con 6 % de incorporación.

A.6.1 Distancia de acarreo considerada

Para el suministro del aditivo se consideró como punto de origen la cantera Tambillo, en Ayacucho, y como punto de destino el sector Sarahuarcay, en la carretera AP-102. La distancia vial referencial adoptada fue de 215 km, considerando la ruta Tambillo–Ayacucho–Chincheros–Ocobamba–Sarahuarcay.

Tabla 44

Distancia referencial de acarreo de diatomita desde Tambillo hasta Sarahuarcay

Concepto	Valor considerado
Origen	Cantera Tambillo, Ayacucho
Destino	Sector Sarahuarcay, carretera AP-102
Ruta referencial	Tambillo–Ayacucho–Chincheros–Ocobamba–Sarahuarcay
Distancia vial adoptada	215 km

Nota. La distancia fue adoptada para fines de estimación económica preliminar (Google, 2026).

A.6.2 Costo referencial de diatomita calcinada puesta en obra

La estimación se apoya en el rango de valores reportado por la U.S. Geological Survey, donde se indica que el valor de la diatomita depende fuertemente del uso, calidad y nivel de procesamiento. En ese sentido, no se toma como referencia una diatomita filtrante o especializada, sino un escenario intermedio para uso vial, con procesamiento básico y transporte regional (U.S. Geological Survey, 2025).

Tabla 45*APU referencial de diatomita calcinada puesta en obra*

Recurso / partida	Unidad	Cantidad	PU referencial (S/)	Parcial (S/)
Diatomita natural en cantera	t	1.00	40.00	40.00
Molienda y control de finura	t	1.00	65.00	65.00
Calcinación a 700 °C durante 2 h	t	1.00	135.00	135.00
Ensacado, manipuleo y merma	t	1.00	30.00	30.00
Flete Tambillo–Sarahuarcay, 215 km	t	1.00	140.00	140.00
Costo directo referencial				410.00
Gastos generales y utilidad referencial, 10 %				41.00
Costo puesto en obra adoptado				451.00 ≈ 450.00

Nota. Los precios unitarios son referenciales y corresponden a una estimación de prefactibilidad, no a una cotización contractual. El costo adoptado de S/ 450.00/t representa un escenario intermedio de procesamiento básico para uso vial, considerando extracción, molienda, calcinación, ensacado, manipuleo y transporte. La estimación se apoya en el rango de valor reportado para la diatomita, cuyo precio varía ampliamente según uso, calidad y nivel de procesamiento (U.S. Geological Survey, 2025). El flete fue estimado sobre una distancia referencial de 215 km; por tanto, en un expediente técnico o aplicación real debe ser reemplazado por cotizaciones de cantera, planta de calcinación y transportista.

Tabla 46*Equipos referenciales requeridos para producir diatomita calcinada*

Etapas	Equipo requerido	Función
Extracción y selección	Herramientas manuales, cargador o minicargador	Retiro y selección inicial del material diatomítico
Secado y acondicionamiento	Área de secado, bandejas o tolva	Reducción de humedad inicial y preparación previa
Molienda	Molino de martillos, bolas o similar	Reducción de tamaño y homogeneización
Calcinación	Horno tipo mufla, horno de cámara u horno rotatorio	Tratamiento térmico del material a temperatura controlada
Control de finura	Tamices normalizados	Verificación del tamaño de partícula del aditivo
Ensacado y despacho	Balanza, sacos o big bags	Control de peso, almacenamiento y transporte

Nota. Los equipos indicados corresponden a una línea referencial de procesamiento del aditivo. En esta investigación, la calcinación se realizó en horno tipo mufla a 700 °C durante 2 h y la finura se controló mediante tamices normalizados. Para una aplicación real, la selección del equipo dependerá del volumen de producción y de la disponibilidad de planta cercana a la cantera.

Con el costo adoptado de S/ 450.00 por tonelada de diatomita calcinada puesta en obra, el costo del aditivo por tonelada de suelo seco tratado al 6 % es:

$$C_{DC} = 0.06 \times 450.00 = S/27.00 /t \quad (10)$$

A.6.3 Comparación con cemento Portland tipo I y cal hidratada

Para comparar la diatomita calcinada con estabilizantes tradicionales, se usaron precios referenciales documentados en expedientes públicos de Ayacucho. Para el cemento Portland tipo I se tomó el precio contractual de S/ 33.45 por bolsa de 42.5 kg, correspondiente a una adquisición de 15,000 bolsas para obra pública. Para la cal hidratada se tomó el precio de S/ 25.00 por bolsa de 25 kg.

Tabla 47

Precio referencial de aditivos tradicionales

Aditivo	Fuente referencial	Presentación	Precio documentado	Equivalente por tonelada
Cemento Portland tipo I	Contrato PRIDER 2026	Bolsa 42.5 kg	S/ 33.45/bolsa	S/ 787.06/t
Cal hidratada	Presupuesto analítico 2026	Bolsa 25 kg	S/ 25.00/bolsa	S/ 1,000.00/t

Nota. El precio del cemento corresponde a un contrato de adquisición de cemento Portland tipo I para obra pública en Ayacucho (Gobierno Regional de Ayacucho–PRIDER, 2026a). El precio de cal hidratada corresponde a un presupuesto analítico de actividad pública en Ayacucho (Gobierno Regional de Ayacucho–PRIDER, 2026b).

A una dosificación común de 6 %, el consumo de aditivo es de 0.06 t por cada tonelada de suelo seco tratado. Con ello, el costo directo del aditivo por tonelada de suelo tratado se resume en la Tabla 48.

Tabla 48

Comparación referencial del costo del aditivo por tonelada de suelo tratado al 6 %

Aditivo	Costo puesto en obra o documentado (S/ por t)	Dosificación	Costo del aditivo por t de suelo tratado
Diatomita calcinada	450.00	6 %	S/ 27.00
Cemento Portland tipo I	787.06	6 %	S/ 47.22
Cal hidratada	1,000.00	6 %	S/ 60.00

Nota. La comparación considera únicamente el costo del aditivo, debido a que las actividades de mezcla, riego, conformación, compactación y control de calidad serían comunes para los tres tratamientos. Los costos de cemento y cal provienen de fuentes documentadas en obras públicas regionales; el costo de diatomita corresponde a una estimación de prefactibilidad sustentada en el procesamiento mínimo requerido y en el rango de valor del material.

De acuerdo con la Tabla 48, la diatomita calcinada presenta el menor costo directo de aditivo por tonelada de suelo tratado. Respecto al cemento Portland tipo I, el ahorro referencial es de 42.8 %. Respecto a la cal hidratada, el ahorro es de 55.0 %. Esta diferencia se explica porque la dosificación óptima de diatomita fue de solo 6 % y porque, aun incorporando molienda, calcinación y acarreo, el costo total estimado del aditivo se mantiene por debajo de los estabilizantes tradicionales evaluados.

A.6.4 APU simplificado de aplicación básica en obra

De manera complementaria al costo del aditivo, se plantea un análisis de precios unitarios simplificado para representar una situación básica de aplicación en campo. Este APU considera el suministro del aditivo, descarga, dosificación, acarreo corto y extendido manual sobre el suelo a tratar. No incluye mezcla mecánica, riego, conformación, compactación ni control de calidad, debido a que dichas actividades forman parte de la partida general de estabilización o mejoramiento de subrasante y serían comunes para cualquier aditivo evaluado.

Tabla 49

APU simplificado para suministro, dosificación y extendido de diatomita calcinada al 6 %

Recurso	Unidad	Cuadrilla / cantidad	Precio unitario referencial (S/)	Parcial (S/)
Diatomita calcinada puesta en obra	t	0.060	450.00	27.00
Capataz	hh	0.064	32.98	2.11
Peón	hh	0.640	17.33	11.09
Herramientas manuales	% MO	3 %	13.20	0.40
Equipo menor y acarreo corto en frente	glb	1.000	1.00	1.00
Costo directo referencial				41.60

Nota. El APU corresponde a una estimación referencial de prefactibilidad para una aplicación básica en obra. La cuadrilla considerada representa labores de descarga, dosificación, acarreo corto y extendido manual del aditivo. No se incluyen mezcla mecánica, riego, conformación, compactación ni control de calidad, porque estas actividades corresponden a la partida general de estabilización de subrasante y deben presupuestarse de forma independiente según el expediente técnico. Los precios de mano de obra y equipo menor son referenciales y deben actualizarse con jornales y tarifas vigentes del proyecto.

A partir del APU anterior, la diatomita calcinada tendría un costo directo referencial de S/ 41.60 por tonelada de suelo seco tratado, considerando suministro del aditivo y aplicación básica en obra. Este valor permite aproximar mejor el costo real de uso del material, ya que no se limita únicamente al precio del aditivo, sino que incorpora una cuadrilla mínima de trabajo para su dosificación y extendido en campo.

Con ello, la comparación económica ajustada se presenta en la Tabla 50.

Tabla 50

Comparación referencial incluyendo aplicación básica en obra

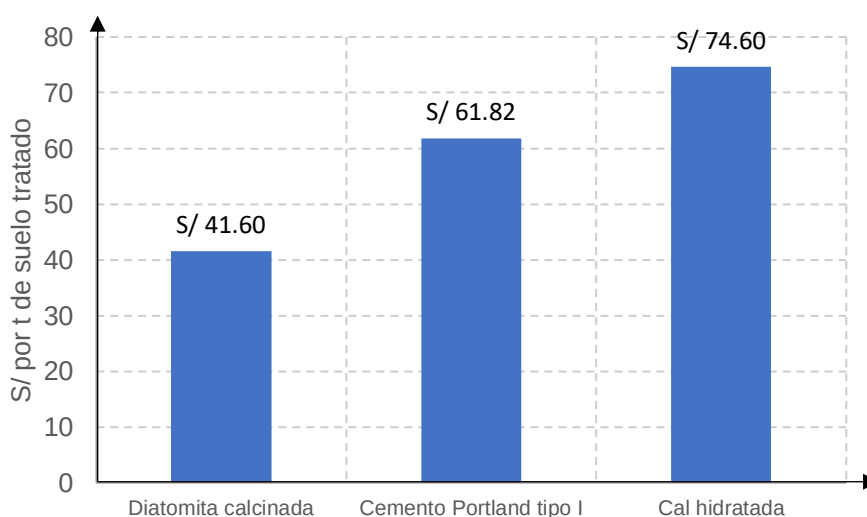
Aditivo	Costo del aditivo al 6 % (S/ por t de suelo tratado)	Aplicación básica en obra (S/ por t de suelo tratado)	Costo directo referencial total (S/ por t de suelo tratado)
Diatomita calcinada	27.00	14.60	41.60
Cemento Portland tipo I	47.22	14.60	61.82
Cal hidratada	60.00	14.60	74.60

Nota. La comparación considera suministro del aditivo y aplicación básica en obra. No incluye mezcla mecánica, riego, conformación, compactación ni control de calidad, debido a que estas actividades deben analizarse como partidas comunes de estabilización o mejoramiento de subrasante. Los costos de cemento y cal provienen de precios documentados en expedientes públicos regionales; el costo de diatomita corresponde a una estimación referencial de prefactibilidad.

De acuerdo con la Tabla 50, al incorporar una aplicación básica de obra, la diatomita calcinada mantiene ventaja económica frente al cemento Portland tipo I y la cal hidratada. El costo directo referencial total de la diatomita sería de S/ 41.60 por tonelada de suelo seco tratado, mientras que el cemento alcanzaría S/ 61.82/t y la cal hidratada S/ 74.60/t. En términos relativos, la diatomita calcinada sería aproximadamente 32.7 % menor que el cemento y 44.2 % menor que la cal hidratada. Esta diferencia confirma que la viabilidad económica preliminar no se pierde al incorporar un costo básico de mano de obra y aplicación en campo.

Figura 51

Comparación referencial del costo directo con aplicación básica en obra



Nota. Elaboración propia a partir del costo estimado de diatomita calcinada puesta en obra, el precio contractual de cemento Portland tipo I, el precio referencial de cal hidratada y el APU simplificado de aplicación básica. Los valores corresponden al costo directo referencial por tonelada de suelo seco tratado al 6 %, incluyendo suministro del aditivo, descarga, dosificación, acarreo corto y extendido manual.

A.6.5 Sensibilidad económica de la diatomita calcinada

Para evitar que la viabilidad dependa de un solo precio estimado, se evaluó una sensibilidad simple del costo de la diatomita calcinada puesta en obra. En este caso, el análisis considera el costo total por tonelada de suelo tratado, incluyendo tanto el costo del aditivo como la aplicación básica en obra. Como el costo de aplicación básica se mantiene constante para los tres aditivos, el punto de equilibrio frente al cemento se alcanza cuando la diatomita calcinada cuesta S/ 787.06/t; frente a la cal hidratada, cuando cuesta S/ 1,000.00/t.

Tabla 51

Sensibilidad del costo de diatomita calcinada puesta en obra, incluyendo aplicación básica

Escenario	Costo de diatomita calcinada puesta en obra	Costo del aditivo al 6 % por t de suelo tratado	Aplicación básica en obra	Costo directo total	Interpretación
Base adoptada	S/ 450.00/t	S/ 27.00	S/ 14.60	S/ 41.60	Viable frente a cemento y cal
Incremento de 25 %	S/ 562.50/t	S/ 33.75	S/ 14.60	S/ 48.35	Mantiene ventaja frente a cemento y cal
Incremento de 50 %	S/ 675.00/t	S/ 40.50	S/ 14.60	S/ 55.10	Mantiene ventaja frente a cemento y cal
Punto de equilibrio frente al cemento	S/ 787.06/t	S/ 47.22	S/ 14.60	S/ 61.82	Igualaría el costo del cemento
Punto de equilibrio frente a la cal	S/ 1,000.00/t	S/ 60.00	S/ 14.60	S/ 74.60	Igualaría el costo de la cal hidratada

Nota. La sensibilidad permite verificar que la diatomita calcinada mantiene ventaja económica incluso si el costo real de producción y transporte aumenta respecto al escenario base. El costo de aplicación básica se mantiene constante para los tres aditivos, por lo que los puntos de equilibrio frente al cemento y la cal no cambian respecto al análisis basado únicamente en el precio del aditivo.

El análisis de sensibilidad es importante porque el costo base de la diatomita calcinada corresponde a una estimación de prefactibilidad. Aun si el costo puesto en obra aumentara 50 %, pasando de S/ 450.00/t a S/ 675.00/t, el costo directo total

sería S/ 55.10 por tonelada de suelo tratado, todavía menor que el costo equivalente del cemento Portland tipo I, estimado en S/ 61.82/t. Por ello, la viabilidad económica preliminar no depende únicamente del escenario base adoptado.

A.6.6 Costo-efectividad respecto al CBR

El análisis costo-efectividad se evaluó dividiendo el costo directo referencial total por tonelada de suelo tratado entre el incremento de CBR obtenido con la dosificación óptima. Al 6 % de diatomita calcinada, el CBR remojado al 95 % de la MDS aumentó de 3.75 % a 9.11 %, con una mejora de 5.36 puntos porcentuales. Para este cálculo se emplea el costo directo total de S/ 41.60/t de suelo tratado, que incluye el costo del aditivo y la aplicación básica en obra.

$$CE_{CBR} = \frac{41.60}{5.36} = S/7.76 \quad (11)$$

Tabla 52

Costo-efectividad de la diatomita calcinada al 6 %, incluyendo aplicación básica

Indicador	Valor
CBR natural al 95 % MDS	3.75 %
CBR con 6 % de diatomita calcinada	9.11 %
Incremento de CBR	5.36 puntos
Costo directo total por t de suelo tratado	S/ 41.60
Costo por punto de incremento de CBR	S/ 7.76/t de suelo por punto CBR

Nota. El cálculo se realiza con el CBR remojado al 95 % de la MDS, por ser la condición más conservadora para subrasante expuesta a humedad. El costo directo total incluye suministro del aditivo y aplicación básica en obra; no incluye mezcla mecánica, riego, conformación, compactación ni control de calidad.

En síntesis, al incorporar el APU simplificado de aplicación básica en obra, la diatomita calcinada mantiene una ventaja económica referencial frente al cemento Portland tipo I y la cal hidratada. El costo directo total de S/ 41.60/t de suelo tratado permite alcanzar una mejora de 5.36 puntos de CBR al 95 % de la MDS, equivalente a S/ 7.76 por tonelada de suelo tratado por cada punto de incremento de CBR. Por tanto, la alternativa conserva viabilidad económica preliminar aun cuando se considera un costo básico de aplicación en campo.

A.7 ENSAYOS FÍSICOS DE LA DIATOMITA CALCINADA



MATERIALES MÁS FINOS QUE PASAN POR EL TAMIZ N° 200 Y N° 325

INF N° 001-M1-2025/ING-LAB-25-O-039/OT-0681-25

PROYECTO:

“INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL
CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE
ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR
SARAHUARCAY, APURÍMAC”

SOLICITANTE:

EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON

FECHA:

DICIEMBRE DEL 2025



989 900 609 - 961 372 637



A.H. Covadonga Mz P2 lote 8



www.ingeotecon.com

**MATERIALES MÁS FINOS QUE PASAN POR EL TAMIZ NORMALIZADO 75 μ m
(N° 200) POR LAVADO EN AGREGADOS.**

Método NTP 400.018: AGREGADOS. Determinación de materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75 μ m (No. 200) por lavado en agregados. Método de ensayo. (Versión 2020)

Proyecto* : "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

Ubicación* : APURÍMAC - OCOBAMBA - CHINCHEROS

Lugar* : SECTOR SARAHUARCAY

Trazabilidad : INF. N° 001-M1-2025/ING-LAB-25-O-039/OT-681-2025

Exploración* : DIATOMITA CALCINADA

Cliente* : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON

Estrato/Nivel* : -.-

Contacto* : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON

Fecha de informe : 2025-12-23

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA Y ENSAYO

Tipo de agregado: **Material zarandeado**

Fecha de recepción: Diciembre del 2025

Identificación de la muestra*: DIATOMITA CALCINADA

Fecha de inicio de ensayo: Diciembre del 2025

Procedimiento de ensayo: Procedimiento A (Sin dispersante)

Lugar de ensayo : Laboratorio INGEOTECON zona de lavado

Analista : J. Huasacca

DETERMINACIÓN DE MATERIALES MÁS FINOS QUE EL TAMIZ No. 200

Masa seca del espécimen de ensayo P1 : 162,7 g

Masa seca lavada espécimen ensayo P2 : 0,0 g

Cantidad de material que pasa el tamiz normalizado de 75 μ m (No. 200) por vía húmeda; A = 100,0%

OBSERVACIONES

- (*) Son datos proporcionados por el cliente como: proyecto, ubicación, cliente, contacto, lugar, exploración, estrato/nivel y la identificación de la muestra y otros indicados. El Laboratorio no se responsabiliza por esta información, que pueda afectar la validez de los resultados.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos al ensayo.
- Los resultados reportados en el presente informe de ensayo se aplican a la muestra de acuerdo a las condiciones de como se recibió.
- Los resultados de los ensayos no deben ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- El informe de ensayo no podrá reproducirse en forma parcial, solo podrá reproducirse en su totalidad con la aprobación del Laboratorio.

-.-



INGEOTECON E.I.R.L.
MARIA DE LOS ANGELES PORTAL CORDOVA
INGENIERA CIVIL
CIP N° 334134

**MATERIALES MÁS FINOS QUE PASAN POR EL TAMIZ NORMALIZADO 45
 μm (N° 325) POR LAVADO EN AGREGADOS.**

Proyecto* : "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA
CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCA, APURÍMAC"

Ubicación* : APURÍMAC - OCOBAMBA - CHINCHEROS

Lugar* : SECTOR SARAHUARCA

Trazabilidad : INF. N° 001-M1-2025/ING-LAB-25-0-039/OT-681-2025

Exploración* : DIATOMITA CALCINADA

Cliente* : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON

Estrato/Nivel* : -.-

Contacto* : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON

Fecha de informe : 2025-12-23

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA Y ENSAYO

Tipo de agregado: **Material zarandeado**

Fecha de recepción: Diciembre del 2025

Identificación de la muestra*: DIATOMITA CALCINADA

Fecha de inicio de ensayo: Diciembre del 2025

Procedimiento de ensayo: Procedimiento A (Sin dispersante)

Lugar de ensayo : Laboratorio INGEOTECON zona de lavado

Analista : J. Huasacca

DETERMINACIÓN DE MATERIALES MÁS FINOS QUE EL TAMIZ N° 325

Masa seca del espécimen de ensayo P1 : 152,9 g

Masa seca lavada espécimen ensayo P2 : 121,9 g

Cantidad de material que pasa el tamiz normalizado de 45 μm (N° 325) por vía húmeda A = 20,3%

OBSERVACIONES

- (*) Son datos proporcionados por el cliente como: proyecto, ubicación, cliente, contacto, lugar, exploración, estrato/nivel y la identificación de la muestra y otros indicados. El Laboratorio no se responsabiliza por esta información, que pueda afectar la validez de los resultados.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos al ensayo.
- Los resultados reportados en el presente informe de ensayo se aplican a la muestra de acuerdo a las condiciones de como se recibió.
- Los resultados de los ensayos no deben ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- El informe de ensayo no podrá reproducirse en forma parcial, solo podrá reproducirse en su totalidad con la aprobación del Laboratorio.



INGEOTECON E.I.R.L.
MARIA DE LOS ANGELES PORTAL CORDOVA
INGENIERA CIVIL
CIP N° 34134

Método: ASTM D854 Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer (versión vigente)

Proyecto : "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

Ubicación : APURÍMAC - OCOBAMBA - CHINCHEROS

Lugar : SECTOR SARAHUARCAY

Trazabilidad : INF. N° 001-M1-2025/ING-LAB-25-0-039/OT-681-2(

Exploración : DIATOMITA CALCINADA

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON

Estrato/Nivel : -.-

Atención : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON

Fecha Reporte : 2025-12-23

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

La Gravedad Específica de los Sólidos del suelo (Gs) es la relación entre la masa de una unidad de volumen de sólidos del suelo y la masa del mismo volumen de agua destilada sin aire a 20 °C.

Código del informe: N° 001-AS-25 -GS-SUE-

Fecha de recepción: Diciembre del 2025

Lugar de ensayo (área): Laboratorio INGEOTECON zona de Pesos Específicos

Fecha de ensayo: Diciembre del 2025

Temperatura ambiente (°C): 23,2

Humedad relativa ambiente (%): 35

Analista: H. Flores

DE LA MUESTRA / ESPÉCIMEN

Clasificación visual del suelo: (-)

Material pasante el Tamiz No. 4 (%): 100 Bastante

Material excluido en la prueba: Ninguno

DATOS DEL ENSAYO (PASANTE EN LA MALLA No. 4)

MÉTODO : B (Suelo Seco)

IDENTIFICACIÓN		ENSAYO 01	ENSAYO 02	PROMEDIO
Capacidad de Picnómetro (comercial)	cm ³	250	250	
Masa seca promedio del Picnómetro (calibración)	g	91,36	93,27	
Volumen promedio calibrado del Picnómetro	mL	249,75	249,66	
Densidad del agua a la temperatura de prueba	g/mL	0,99863	0,99863	
Masa del Picnómetro y agua a la T° del ensayo	g	340,76	342,58	
Masa del Picnómetro, suelo y agua a la T° de ens.	g	371,32	373,03	
Temperatura del agua en el ensayo	°C	17,8	17,8	
Masa de la muestra seca al horno	g	55,00	54,96	
Gravedad específica a la T° de ensayo (Gs)		2,250	2,242	2,246
Corrección por temperatura (K) para 20 °C		1,00043	1,00043	
Gravedad específica de los sólidos a 20 °C (Gs_{20°C})		2,251	2,243	2,247

OBSERVACIONES

- Los datos proporcionados por el cliente son los siguientes: proyecto, ubicación, solicitante, atención, lugar, exploración, estrato/nivel.
- Los resultados corresponden a ensayos realizados sobre las muestras proporcionadas por el cliente al laboratorio INGEOTECON.
- 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 de INGEOTECON son responsabilidad del solicitante, así como los datos proporcionados.
- Los resultados de los ensayos no deben ser usados como conformidad de requisitos de normas o como certificado del sistema de gestión de la calidad de la entidad que lo produce.
- El informe de ensayo no podrá reproducirse en forma parcial, solo podrá reproducirse en su totalidad previa autorización del cliente.

Nota: La muestra cumple con las condiciones del ensayo


INGEOTECON E.I.R.L.

 MARIA DE LOS ANGELES PORTAL CORDOVA
 INGENIERA CIVIL
 CIP N° 334134

A.8 ENSAYOS MINERALÓGICOS Y QUÍMICOS DE LA DIATOMITA CALCINADA



SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS S.A.C.

INFORME DE ENSAYO

IE-2025-5742

1. DATOS DEL CLIENTE

1.1 Cliente : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON
1.2 RUC o DNI : 76614066
1.3 Dirección : CANTERA TAMBILLO-AYACUCHO

2. DATOS DE LA MUESTRA

2.1 Producto : MINERAL
2.2 Muestreado por : CLIENTE ^(c)
2.3 Número de Muestras : 01
2.4 Fecha de Recepción : 2025-12-23
2.5 Periodo de Ensayo : 2025-12-26 al 2026-01-13
2.6 Fecha de Emisión : 2026-01-16
2.7 Fecha y Hora de Muestreo : No Precisa
2.8 N° de cotización : COT-180230-SL25

3. ENSAYO SOLICITADO - METODOLOGÍA UTILIZADA

ENSAYO	MÉTODO
Ensayo de Fluorescencia de Rayos X Composición Química por (óxidos)	Fluorescencia de Rayos X - FRX
Ensayo de Difracción de Rayos X Composición Química por Fases	Difracción de Rayos X - DRX

4. RESULTADOS

4.1. DESCRIPCIÓN DE MUESTRA: DIATOMITA CALCINADA A 700 °C DURANTE 2 HORAS ^(c)

Nombre del Proyecto: Influencia de la diatomita calcinada en el CBR, plasticidad y Proctor de la subrasante arcillosa en la carretera AP-102, sector Sarahuacay, Apurímac ^(c)

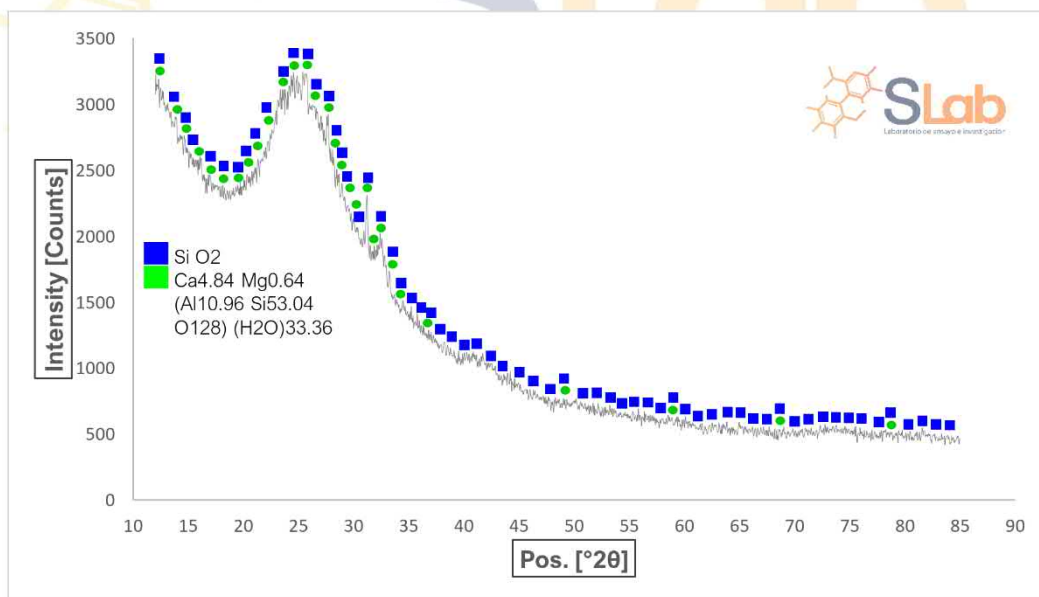
VERGARAY D'ARRIGO
DIEGO ROMANO
DNI:45841126
QUIMICO CQP 1337

4.2. RESULTADOS OBTENIDOS DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X

- Equipo Utilizado: PANALYTICAL – MODELO AERIS
- Radiación (fuente):
 - Material del ánodo: Co
 - Tipo de longitud de onda prevista: K-Alpha
- Rango 2θ
 - Posición inicial [$^{\circ}2\theta$]: 5.0109
 - Posición final [$^{\circ}2\theta$]: 79.9869
- Tamaño de paso [$^{\circ}2\theta$]: 0.0220
- Tiempo por paso 46.665 s
- Preparación de muestra: Tamizado por malla N°325.

Tabla N°1: CONCENTRACIÓN DE LAS FASES CRISTALINAS EN LA MUESTRA

Nombre del componente identificado	Fórmula Química	Unidad	Resultados
Si O2	O148.00 Si74.00	%	69.90
Ca4.84 Mg0.64 (Al10.96 Si53.04 O128) (H2O)33.36	Al10.96 O161.36 Si53.04 Ca4.00 Mg0.64	%	30.10


Figura N°1: DIFRACTOGRAMA DE LA MUESTRA Y FASES CRISTALINAS IDENTIFICADAS.

4.3. RESULTADOS OBTENIDOS DE ENSAYO FLUORESCENCIA DE RAYOS X

- Equipo Utilizado: SHIMADZU EDX 7200 espectrómetro de fluorescencia de rayos X
- Barrido elemental del Na a U, expresados en óxidos.
- Límite de detección del equipo es 0.001%.

Tabla N°2: COMPOSICIÓN QUÍMICA EXPRESADOS COMO ELEMENTOS

Código de Muestra	Composición química	Unidad	LCM	Resultado
S-7607	Silicio, Si	%	0.001	89.744
	Hierro, Fe	%	0.001	5.733
	Calcio, Ca	%	0.001	2.233
	Aluminio, Al	%	0.001	1.126
	Titanio, Ti	%	0.001	0.573
	Azufre, S	%	0.001	0.529
	Estroncio, Sr	%	0.001	0.058
	Sodio, Na	%	0.001	0.002
	Magnesio, Mg	%	0.001	0.002

Nota: Balance de resultados al 100% de óxidos calculados del análisis elemental (del sodio al uranio) por espectrometría de fluorescencia de rayos X. Análisis semicuantitativo en atmósfera de vacío.

La muestra se tamizó por malla N°325 antes de realizar el ensayo de Fluorescencia de Rayos X.

Tabla N°3: COMPOSICIÓN QUÍMICA EXPRESADOS COMO ÓXIDOS

Código de Muestra	Composición química	Unidad	LCM	Resultado
S-7607	Óxido de Silicio, SiO ₂	%	0.001	94.797
	Óxido de Hierro, Fe ₂ O ₃	%	0.001	2.289
	Óxido de Aluminio, Al ₂ O ₃	%	0.001	1.268
	Óxido de Calcio, CaO	%	0.001	0.936
	Óxido de Azufre, SO ₃	%	0.001	0.408
	Óxido de Titanio, TiO ₂	%	0.001	0.279
	Óxido de Estroncio, SrO	%	0.001	0.017
	Óxido de Magnesio, MgO	%	0.001	0.003
	Óxido de Sodio, Na ₂ O	%	0.001	0.003

Nota: Balance de resultados al 100% de óxidos calculados del análisis elemental (del sodio al uranio) por espectrometría de fluorescencia de rayos X. Análisis semicuantitativo en atmósfera de vacío.

La muestra se tamizó por malla N°325 antes de realizar el ensayo de Fluorescencia de Rayos X.

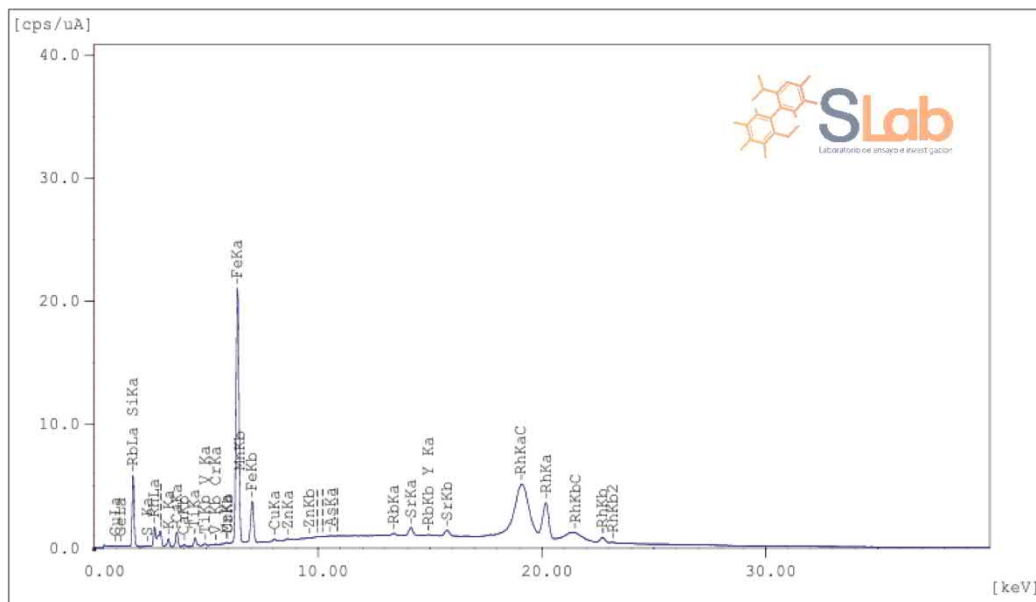


Figura N°1: GRÁFICO DE ENERGÍA DE ANÁLISIS

Leyenda

LCM: Límite de Cuantificación de Método.

N.A. No Aplica.

(c) Información suministrada por el cliente.

- Sin la aprobación del laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. no se debe reproducir el informe de ensayo parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.
- Los resultados de los ensayos se aplican a la muestra cómo se recibió y no se deben usar como una declaración de conformidad con una especificación o normas de productos de la entidad que lo produce.
- El laboratorio no es responsable de la información que ha sido identificada como suministrada por el cliente.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.
- Este laboratorio está acreditado de acuerdo con la norma internacional reconocida ISO / IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio.

FIN DE DOCUMENTO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
LABORATORIO DE SUELOS Y ANALISIS FOLIAR
Jr. Abraham Valdelomar N° 249 – Telf. 315936 966942996
Ayacucho – Perú

“Año de la Recuperación y Consolidación de la Economía Peruana”

Región : Ayacucho HR. 0039
Provincia : Huamanga
Distrito : Tambillo
Localidad : Tambillo
Proyecto : “Influencia de la diatomita calcinada en el CBR, plasticidad y Proctor de la subrasante arcillosa en la carretera AP-102, sector Sarahuarcay, Apurímac”
Solicitante : Sr. Efraín Lizardo Damiano Alarcon
Muestra : Diatomita Calcinada

ANALISIS QUIMICO

Muestra	ELEMENTOS			
	pH	Cloruros (ppm)	Sulfatos (ppm)	S. S. T. (ppm)
	*MTC E 129	*MTC E 720	*MTC E 719	*MTC E 219
Diatomita Calcinada	6.97	426.0	37.1	464.2

* Manual de Ensayo de Materiales – MTC

Ayacucho, 22 de Diciembre del 2025.

LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS
PLANTA, AGUAS Y FERTILIZANTES
RESPONSABLE

Juan B. Giron Molina
C.I.P. 77120

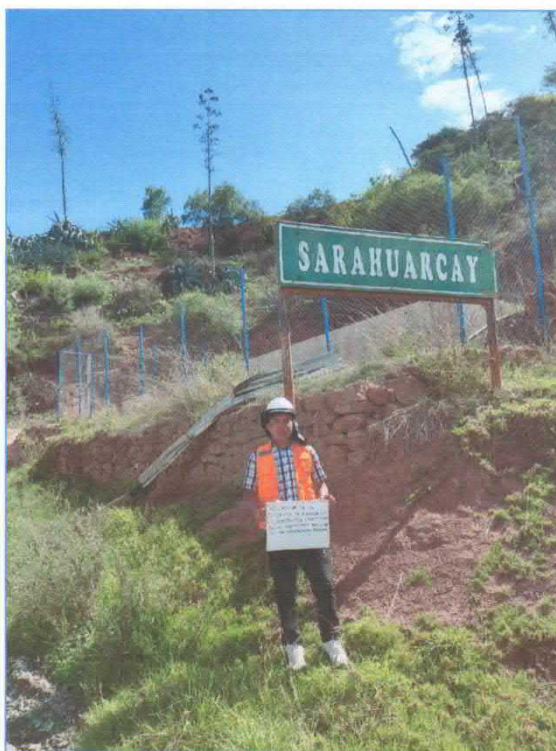
A.9 RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA CON DIATOMITA CALCINADA

Delay-Ingenieros
Proyectos-estudios geotécnicos
y control de materiales



INFORME TÉCNICO ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS

Solicitado por:
EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON



Proyecto:

**"INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR,
PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA
CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"**

UBICACIÓN	: SECTOR SARAHUARCAY
DISTRITO	: OCOBAMBA
PROVINCIA	: CHINCHEROS
DEPARTAMENTO	: APURIMAC

APURIMAC – PERÚ

2025

DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.

Ing. Arturo Delgado Baldeon
ING. ARTURO DELGADO BALDEON
JEFE DE LABORATORIO
RUC: 20494399891

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETOS, ANALISIS DE AGUAS, SUELOS Y MINERALES –
DELAY INGENIEROS CONSULTORES Y CONTRATISTAS E.I.R.L. RUC: 20494399891. OFICINA CENTRAL Jr. BELLIDO
Nº 722 Cel: 966916606 Email: delay_20@hotmail.com



PERFIL ESTRATIGRÁFICO

PERFIL ESTRATIGRAFICO DE SUELOS



DATOS DEL PROYECTO

PROYECTO: **"INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"**

UBICACIÓN: SECTOR SARAHUARCAY
LUGAR: CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY PROG. 26+220Km
SOLICITANTE: EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON

CODIGO: -
RESPONSABLE: -
REGISTRO: MUESTRA-01
RESP. TECNICO: **ADB**
FECHA: DIC. DEL 2025

1.- DATOS

DISTRITO: OCOBAMBA
PROVINCIA: APURIMAC
COORDENADA: N:8504179.74
E:661188.09
CALICATA: C - 01
PROFUNDIDAD: 0.00 - 1.50 mts

2.- PERSONAL

TÉCNICO: -
ASISTENTE: -

2.- PERFIL

PROFUNDIDAD (cm)	MUESTRA			CLASIFICACION		VISTA FOTOGRAFICA DE CALICATA	PROFUNDIDAD (cm)
	TIPO	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	AASHTO	SUCCS		
0.0	N.S.						0.0
40	M-1		- Profundidad de 0.40m Compuesto por material de cobertura. Suelos con presencia de raicillas, suelo de color marrón claro, suelo semicompacto.				
	M-2		- Profundidad de 0.40 a 1.50m Compuesto por material de suelos Arcillas inorgánicas, de color marrón rojizo, suelo arcilloso semicompacto; engloba gravillas de formas sub angulares, la matriz areno arcilloso es de característica de mediana a alta plasticidad y se encuentra en estado de compactación semi compacta, a esta profundidad el suelo presenta % de finos=54.20; LL=40.86; IP=17.22.	A-7-6(7)	CL		
-1.50							-1.50

3.- OBSERVACIONES

En la exploración de la calicata se ha observado la presencia de dos estratos, correspondiendo a la primera una muestra alterada y la segunda muestra corresponde a muestra inalterada

☐ MUESTRA ALTERADA ☐ MUESTRA INALTERADA ☒ MUESTRA EN BLOQUE ☐ MUESTRA DE AGUA

PREPARADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR RESIDENTE Y/O PRODUCCION:
DELAY INGENIEROS CONSULTORES Y CONTRATISTAS E.I.R.L. ING. ARTURO DELGADO BALDEON JEFE DE LABORATORIO RUC: 20494399891		

PERFIL ESTRATIGRAFICO DE SUELOS



DATOS DEL PROYECTO

PROYECTO: "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

UBICACIÓN: SECTOR SARAHUARCAY
LUGAR: CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY PROG. 26+440Km
SOLICITANTE: EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON

CODIGO: -
RESPONSABLE: -
RESP. TECNICO: ADB

REGISTRO: MUESTRA-02
FECHA: DIC. DEL 2025

1.- DATOS				2.- PERSONAL	
DISTRITO: OCOBAMBA	COORDENADA	N:8504305.20 E:661072.49	CALIGATA: C-02	TÉCNICO:	
PROVINCIA: APURÍMAC			PROFUNDIDAD: 0.00 - 1.50 mts	ASISTENTE:	

2.- PERFIL							
PROFUNDIDAD (cm)	TIPO	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	CLASIFICACION		VISTA FOTOGRÁFICA DE CALICATA	PROFUNDIDAD (cm)
				AASHTO	SUCCS		
0.0 N.S.							0.0
	M-1		- Profundidad de 0.40m Compuesto por material de cobertura. Suelos con presencia de raicillas, suelo de color marrón claro, suelo semicompacto.				
40							
	M-2		- Profundidad de 0.40 a 1.50m Compuesto por material de suelos Arcillas inorgánicas, de color marrón rojizo, suelo arcilloso semicompacto; engloba gravillas de formas sub angulares, la matriz arcillosa es de característica de mediana a alta plasticidad y se encuentra en estado de compactación semi compacta, a esta profundidad el suelo presenta % de finos=56.68; LL=41.63; IP=18.50.	A-7-6(8)	CL		
1.50							1.50

3.- OBSERVACIONES

En la exploración de la calicata se ha observado la presencia de dos estratos, correspondiendo a la primera una muestra alterada y la segunda muestra corresponde a muestra inalterada

☐ MUESTRA ALTERADA ☐ MUESTRA INALTERADA ☐ MUESTRA EN BLOQUE ☐ MUESTRA DE AGUA

PREPARADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR RESIDENTE Y/O PRODUCCION:
DELAY INGENIEROS CONSULTORES Y CONTRATISTAS E.I.R.L. ING. ARTURO DELGADO BALDEON JEFE DE LABORATORIO RUC: 2049439891		

PERFIL ESTRATIGRAFICO DE SUELOS



DATOS DEL PROYECTO

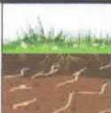
PROYECTO: "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

UBICACIÓN: SECTOR SARAHUARCAY
LUGAR: CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY PROG. 27+700Km
SOLICITANTE: EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON

CODIGO: -
RESPONSABLE: -
RESP. TECNICO: **ADB**

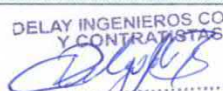
REGISTRO: MUESTRA-03
FECHA: DIC. DEL 2025

1.- DATOS				2.- PERSONAL	
DISTRITO : OCOBAMBA	COORDENADA	N:8505217.08	CALICATA: C - 3	TÉCNICO:	
PROVINCIA : APURIMAC		E:660850.71	PROFUNDIDAD: 0.00 - 1.50 mts	ASISTENTE:	

2.- PERFIL							
PROFUNDIDAD (cm)	TIPO	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	CLASIFICACION		VISTA FOTOGRÁFICA DE CALICATA	PROFUNDIDAD (cm)
				AASHTO	SUCCS		
0.0 N.S.			- Profundidad de 0.20m				0.0
-20	M-1		Compuesto por material gravoso, suelo de cultivo de color marron oscuro, con presencia de raicillas.				
			- Profundidad de 0.20 a 1.50m				
	M-2		Suelo compuesto por material Arenas arcillosas, mezclas de arena - arcilla, de color marron claro, la matriz Areno Arcilloso engloba gravillas de formas sub. angulares, es de característica medianamente plástica y se encuentra en estado de compactidad semi compacta a compacta, a esta profundidad presenta % de Finos 28.38, LL=27.95, IP = 14.05.	A-2-6(1)	SC		
-1.50							-1.50

3.- OBSERVACIONES
En la exploración de la calicata se ha observado la presencia de dos estratos, correspondiendo a la primera una muestra alterada y la segunda muestra corresponde a muestra inalterada

☐ MUESTRA ALTERADA ☐ MUESTRA INALTERADA ☐ MUESTRA EN BLOQUE ☐ MUESTRA DE AGUA

PREPARADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR RESIDENTE Y/O PRODUCCION:
DELAY INGENIEROS CONSULTORES Y CONTRATISTAS E.I.R.L.  ING. ARTURO DELGADO BALDEON JEFE DE LABORATORIO RUC: 20494399891		

PERFIL ESTRATIGRAFICO DE SUELOS



DATOS DEL PROYECTO

PROYECTO: "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

UBICACIÓN: SECTOR SARAHUARCAY
LUGAR: CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY PROG. 28+500Km
SOLICITANTE: EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON

CODIGO: -
RESPONSABLE: -
RESP. TECNICO: ADB

REGISTRO: MUESTRA-04
FECHA: DIC. DEL 2025

1.- DATOS				2.- PERSONAL	
DISTRITO : OCOBAMBA	COORDENADA	N:8505252.35	CALICATA: C - 4	TÉCNICO:	
PROVINCIA : APURIMAC		E:660101.00	PROFUNDIDAD: 0.00 - 1.50 mts	ASISTENTE:	

2.- PERFIL						
PROFUNDIDAD (cm)	TIPO	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	CLASIFICACION		VISTA FOTOGRÁFICA DE CALICATA
				AASHTO	SUCCS	
0.0 N.S.			- Profundidad de 0.20m			
	M-1		Compuesto por material gravoso, suelo de cultivo de color marron oscuro, con presencia de raicillas.			
-20			- Profundidad de 0.20 a 1.50m			
	M-2		Suelo compuesto por material Arenas arcillosas, mezclas de arena - arcilla, de color marron claro, la matriz Areno Arcilloso engloba gravillas de formas sub. angulares, es de característica medianamente plástica y se encuentra en estado de compactidad semi compacta a compacta, a esta profundidad presenta % de Finos 27.76, LL=28.05, IP = 13.23.	A-2-6(0)	SC	
-1.50						

3.- OBSERVACIONES

En la exploración de la calicata se ha observado la presencia de dos estratos, correspondiendo a la primera una muestra alterada y la segunda muestra corresponde a muestra inalterada

☐ MUESTRA ALTERADA ☐ MUESTRA INALTERADA ☐ MUESTRA EN BLOQUE ☐ MUESTRA DE AGUA

PREPARADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR RESIDENTE Y/O PRODUCCION:
DELAY INGENIEROS CONSULTORES Y CONTRATISTAS E.I.R.L. ING. ARTURO DELGADO BALDEON JEFE DE LABORATORIO RUC: 20494399891		



ANALISIS GRANULOMÉTRICO



ENSAYOS ESTÁNDAR DE CLASIFICACIÓN

(ASTM D6913/D6913M, D4318, D2487, D2216, D4254, D854, D1557)

Proyecto

: "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON

Departamento : APURIMAC

Descripción : CALICATA

Provincia : CHINCHEROS

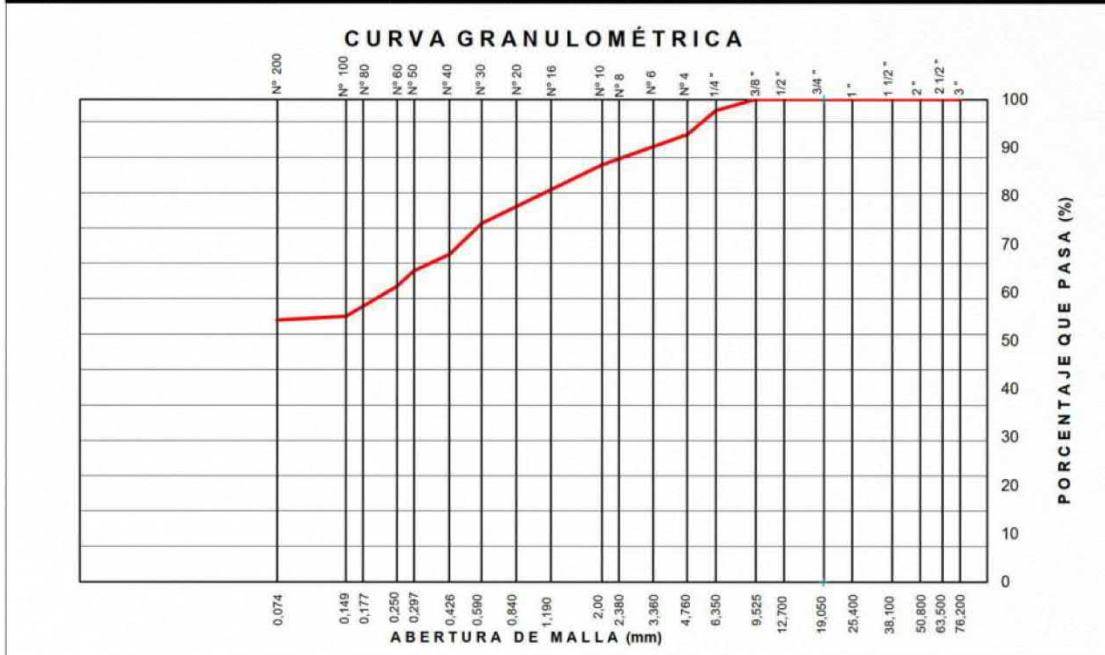
Fecha : DICIEMBRE DEL 2025

Distrito : OCOBAMBA

Calicata : CC - 01 PROG. 26+220Km

Ubicación : SECTOR SARAHUARCAY

TAMIZ ASTM	Abertura (mm)	PESO RETENIDO (gr.)	% RETEN PARCIAL	% RETEN ACUMULADO	% QUE PASA	DATOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO	3"	76.200	0.00	0.00	100.00	PESOS (gr.) Peso seco inicial 1039.85 Peso seco lavado 476.53 Pérdida por lavado 563.32 % Grava 7.31% % Arena 38.49% % Finos 54.20%
	2"	50.800	0.00	0.00	100.00	
	1 1/2"	38.100	0.00	0.00	100.00	
	1"	25.400	0.00	0.00	100.00	
	3/4"	19.050	0.00	0.00	100.00	
	1/2"	12.700	0.00	0.00	100.00	ENSAYOS ESTÁNDAR Límite Líquido 40.86 Límite Plástico 23.30 Índice de Plasticidad 17.56 Clasificación SUCS CL Clasificación AASTHO A-7-6 (7) Contenido de humedad 11.22% Mínima Densidad (gr./cm³) Peso Específico de los sólidos Máxima Densidad Seca (gr./cm³) Humedad Óptima
	3/8"	9.525	0.00	0.00	100.00	
	1/4"	6.350	24.00	2.31	97.69	
	Nº 4	4.760	52.00	5.00	92.69	
	Nº 10	2.000	65.00	6.25	86.44	
	Nº 20	0.840	42.00	4.04	82.40	
	Nº 30	0.590	85.00	8.17	74.23	
	Nº 40	0.426	66.00	6.35	67.88	
	Nº 50	0.297	36.14	3.48	64.40	
	Nº 60	0.250	33.00	3.17	61.23	
	Nº 80	0.177	43.69	4.20	57.03	
	Nº 100	0.149	21.20	2.04	54.99	
	Nº 200	0.074	8.20	0.79	54.20	
	Fondo	0.30	0.03	45.83	54.17	
	Lavado	563.32	54.17	100.00	0.00	
TOTAL		1039.85				



LIMO Y ARCILLA	ARENA			GRAVA		CANTO RODADO
	FINA	MEDIA	GRUESA	FINA	GRUESA	

DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.
Arturo Delgado Baldeon
ING. ARTURO DELGADO BALDEON
JEFE DE LABORATORIO



ENSAYOS ESTÁNDAR DE CLASIFICACIÓN

(ASTM D6913/D6913M, D4318, D2487, D2216, D4254, D854, D1557)

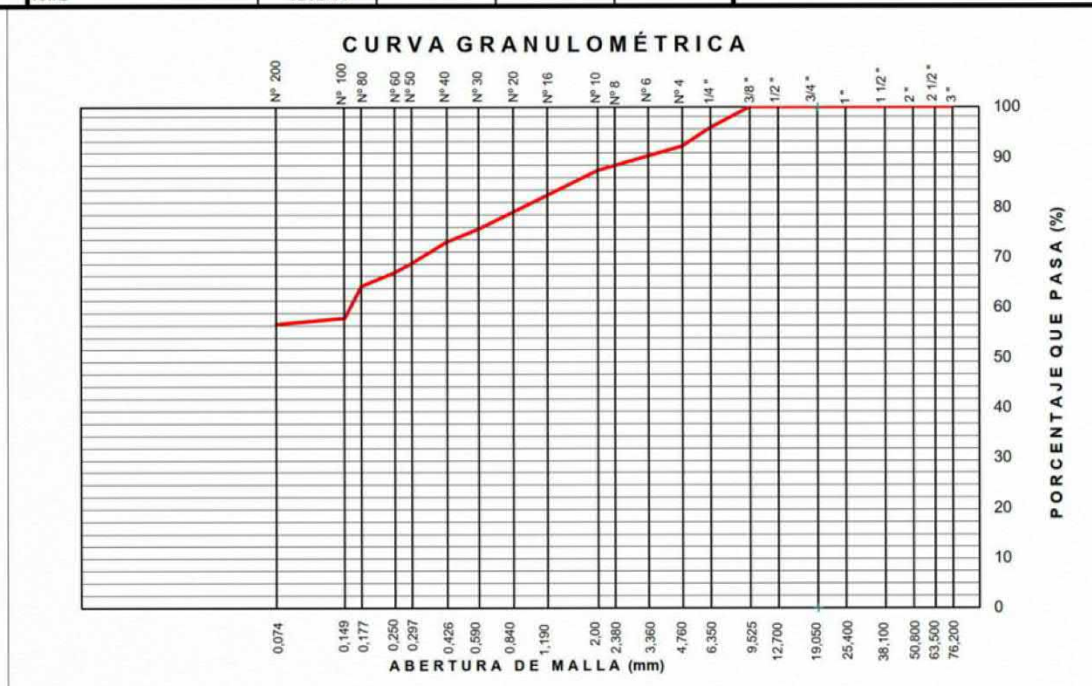
Proyecto

"INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCA, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON
Descripción : CALICATA
Fecha : DICIEMBRE DEL 2025
Calicata : CC - 02 PROG. 26+440Km

Departamento : APURIMAC
Provincia : CHINCHEROS
Distrito : OCOBAMBA
Ubicación : SECTOR SARAHUARCA

TAMIZ ASTM	Abertura (mm)	PESO RETENIDO (gr.)	% RETEN PARCIAL	% RETEN ACUMULADO	% QUE PASA	DATOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	
3"	76.200	0.00	0.00	0	100.00	PESOS (gr.)	
2"	50.800	0.00	0.00	0.00	100.00		
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00		
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00		
3/4"	19.050	0.00	0.00	0.00	100.00		
1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	100.00		
3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00	Peso seco inicial	1212.00
1/4"	6.350	50.00	4.13	4.13	95.87	Peso seco lavado	527.00
Nº 4	4.760	45.00	3.71	7.84	92.16	Pérdida por lavado	685.00
Nº 10	2.000	58.00	4.79	12.62	87.38	% Grava	7.84%
Nº 20	0.840	18.00	1.49	14.11	85.89	% Arena	35.48%
Nº 30	0.590	123.00	10.15	24.26	75.74	% Finos	56.68%
Nº 40	0.426	32.00	2.64	26.90	73.10	ENSAYOS ESTÁNDAR	
Nº 50	0.297	51.00	4.21	31.11	68.89	Límite Líquido	41.63
Nº 60	0.250	23.00	1.90	33.00	67.00	Límite Plástico	23.13
Nº 80	0.177	33.00	2.72	35.73	64.27	Índice de Plasticidad	18.50
Nº 100	0.149	77.00	6.35	42.08	57.92	Clasificación SUCS	CL
Nº 200	0.074	15.00	1.24	43.32	56.68	Clasificación AASTHO	A-7-6 (8)
Fondo	2.00	0.17	43.48	56.52	0.00	Contenido de humedad	11.65%
Lavado	685.00	56.52	100.00	0.00		Minima Densidad (gr./cm³)	
TOTAL		1212.00				Peso Especifico de los sólidos	
						Máxima Densidad Seca (gr./cm³)	
						Humedad Optima	



LIMO Y ARCILLA	ARENA			GRAVA		CANTO RODADO
	FINA	MEDIA	GRUESA	FINA	GRUESA	

DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.
ING. ARTURO DELGADO BALDEON
JEFE DE LABORATORIO
RUC: 20494399891



ENSAYOS ESTÁNDAR DE CLASIFICACIÓN

(ASTM D6913/D6913M, D4318, D2487, D2216, D4254, D854, D1557)

Proyecto

: "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCA, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON

Departamento : APURIMAC

Descripción : CALICATA

Provincia : CHINCHEROS

Fecha : DICIEMBRE DEL 2025

Distrito : OCOBAMBA

Calicata : CC - 03 PROG. 27+700Km

Ubicación : SECTOR SARAHUARCA

TAMIZ ASTM	Abertura (mm)	PESO RETENIDO (gr.)	% RETEN PARCIAL	% RETEN ACUMULADO	% QUE PASA	DATOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO	3"	76.200	0.00	0.00	100.00	PESOS (gr.) Peso seco inicial 1259.50 Peso seco lavado 903.50 Pérdida por lavado 356.00 % Grava 26.16% % Arena 45.45% % Finos 28.38%
	2"	50.800	0.00	0.00	100.00	
	1 1/2"	38.100	0.00	0.00	100.00	
	1"	25.400	0.00	0.00	100.00	
	3/4"	19.050	0.00	0.00	100.00	
	1/2"	12.700	96.00	7.62	92.38	ENSAYOS ESTÁNDAR Límite Líquido 27.95 Límite Plástico 13.90 Índice de Plasticidad 14.05 Clasificación SUCS SC Clasificación AASTHO A-2-6 (I) Contenido de humedad 9.66% Mínima Densidad (gr./cm³) 30.77 Peso Específico de los sólidos 28.27 Máxima Densidad Seca (gr./cm³) 28.27 Humedad Óptima 0.00
	3/8"	9.525	65.50	5.20	12.82	
	1/4"	6.350	102.00	8.10	20.92	
	Nº 4	4.760	66.00	5.24	73.84	
	Nº 10	2.000	163.00	12.94	60.90	
	Nº 20	0.840	0.00	0.00	39.10	
	Nº 30	0.590	154.50	12.27	48.63	
	Nº 40	0.426	43.50	3.45	45.18	
	Nº 50	0.297	49.50	3.93	41.25	
	Nº 60	0.250	25.00	1.98	60.74	
	Nº 80	0.177	68.00	5.40	66.14	
	Nº 100	0.149	39.00	3.10	69.23	
	Nº 200	0.074	30.00	2.38	71.62	
	Fondo	1.50	0.12	71.73	28.27	
	Lavado	356.00	28.27	100.00	0.00	
	TOTAL	1259.50				

CURVA GRANULOMÉTRICA



LIMO Y ARCILLA	ARENA			GRAVA		CANTO RODADO
	FINA	MEDIA	GRUESA	FINA	GRUESA	

DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.
ING. ARTURO DELGADO BALDEON
JEFE DE LABORATORIO
RUC: 20494399891



ENSAYOS ESTÁNDAR DE CLASIFICACIÓN

(ASTM D6913/D6913M, D4318, D2487, D2216, D4254, D854, D1557)

Proyecto

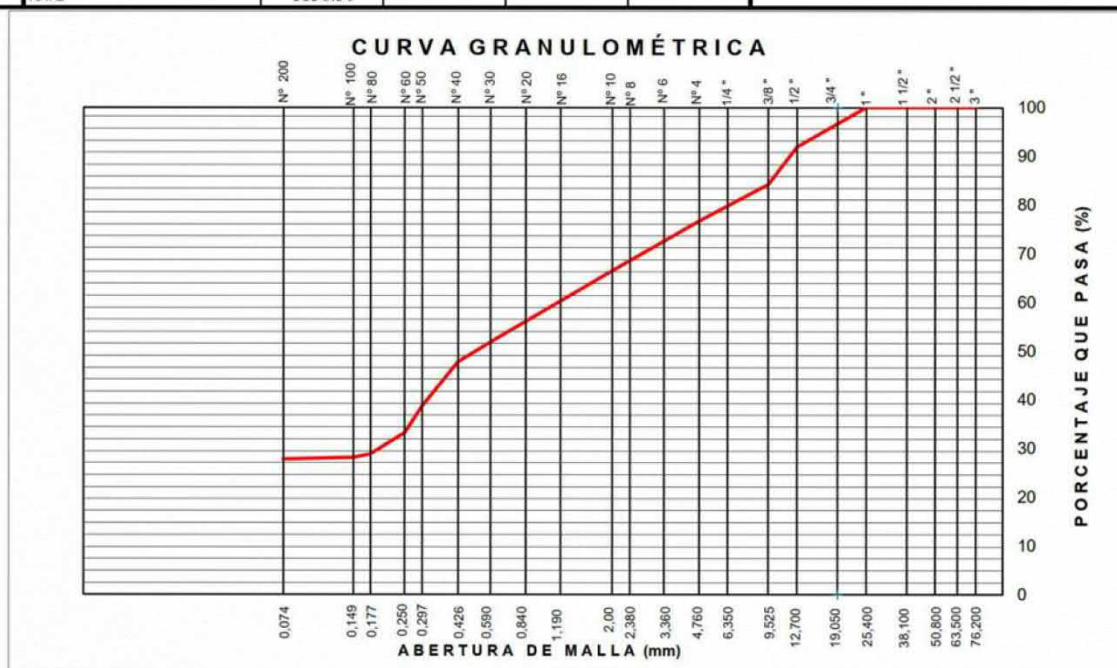
: "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCA, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON
Descripción : CALICATA
Fecha : DICIEMBRE DEL 2025

Departamento : APURIMAC
Provincia : CHINCHEROS
Distrito : OCOBAMBA
Ubicación : SECTOR SARAHUARCA

Calicata : CC - 04 PROG. 28+500Km

Cálculo: CC - 04 PROG. 287500Km								
TAMIZ ASTM	Abertura (mm)	PESO RETENIDO (gr.)	% RETEN PARCIAL	% RETEN ACUMULADO	% QUE PASA	DATOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO		
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO	3"	76.200	0.00	0.00	0	100.00	PESOS (gr.)	
	2"	50.800	0.00	0.00	0.00	100.00		
	11/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00		
	1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00		
	3/4"	19.050	0.00	0.00	0.00	100.00		
	1/2"	12.700	92.00	8.08	8.08	91.92	Peso seco inicial	1138.50
	3/8"	9.525	88.00	7.73	15.81	84.19	Peso seco lavado	823.50
	1/4"	6.350	49.50	4.35	20.16	79.84	Pérdida por lavado	315.00
	Nº 4	4.760	35.50	3.12	23.28	76.72	% Grava	23.28%
	Nº 10	2.000	116.50	10.23	33.51	66.49	% Arena	48.97%
	Nº 20	0.840	0.00	0.00	33.51	66.49	% Finos	27.76%
	Nº 30	0.590	167.50	14.71	48.22	51.78	ENSAYOS ESTÁNDAR	
	Nº 40	0.426	46.50	4.08	52.31	47.69	Límite Líquido	28.05
	Nº 50	0.297	103.00	9.05	61.35	38.65	Límite Plástico	14.82
	Nº 60	0.250	62.00	5.45	66.80	33.20	Índice de Plasticidad	13.23
	Nº 80	0.177	50.00	4.39	71.19	28.81	Clasificación SUCS	SC
	Nº 100	0.149	8.00	0.70	71.89	28.11	Clasificación AASTHO	A-2-6 (0)
	Nº 200	0.074	4.00	0.35	72.24	27.76	Contenido de humedad	9.85%
	Fondo	1.00	0.09	72.33	72.33	27.67	Mínima Densidad (gr./cm³)	
	Lavado	315.00	27.67	100.00	0.00		Peso Especifico de los sólidos	
TOTAL		1138.50				Máxima Densidad Seca (gr./cm³)		
						Humedad Óptima		



LIMO Y ARCILLA	ARENA			GRAVA		CANTO RODADO
	FINA	MEDIA	GRUESA	FINA	GRUESA	

DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.
ING. ARTURO DELGADO BALDEON
JEFE DE LABORATORIO
RUC: 20494399891



Límites de Consistencia — Calicatas C-01, C-02, C-03 y C-04



ENSAYO DE CONSTANTES FÍSICAS

(ASTM D-4318)

Proyecto

: "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCA, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON

Dep. : APURIMAC

Descripción : CALICATA

Provincia : CHINCHEROS

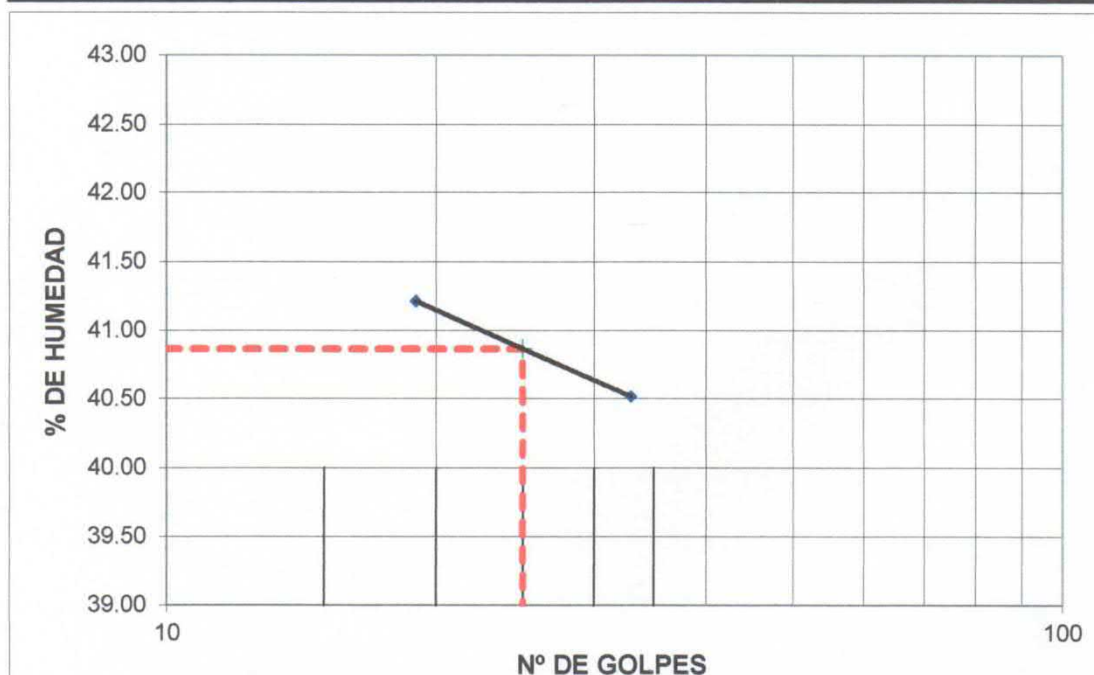
Fecha : DICIEMBRE DEL 2025

Distrito : OCOBAMBA

Calicata : CC - 01 PROG. 26+220Km

Ubicación : SECTOR SARAHUARCA

DESCRIPCIÓN	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLÁSTICO
Capsula N°	14	9
Peso Capsula + Suelo Húmedo (gr.)	63.69	62.32
Peso Capsula + Suelo Seco (gr.)	55.25	53.54
Peso Agua (gr.)	8.44	8.78
Peso de la Capsula (gr.)	34.77	31.87
Peso Suelo Seco (gr.)	20.48	21.67
Contenido de Humedad (%)	41.21	40.52
Número de Golpes	19	33



Limite Líquido (%)	40.86	Limite Plástico (%)	23.30	Índice Plástico (%)	17.56
--------------------	-------	---------------------	-------	---------------------	-------

DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.
[Signature]
ING. ARTURO DELGADO BALDEON
JEFE DE LABORATORIO
TEL: 2022433331



ENSAYO DE CONSTANTES FÍSICAS

(ASTM D-4318)

Proyecto : "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON

Departamento : APURIMAC

Descripción : CALICATA

Provincia : CHINCHEROS

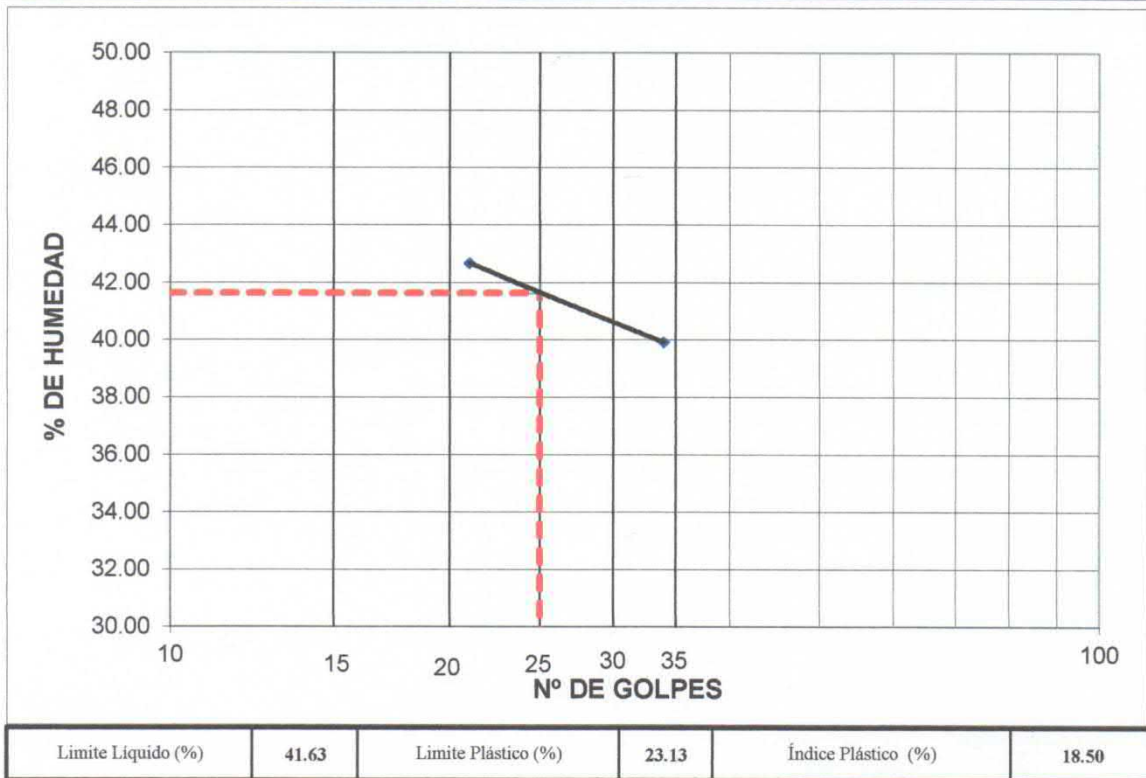
Fecha : DICIEMBRE DEL 2025

Distrito : OCOBAMBA

Calicata : CC - 02 PROG. 26+440Km

Ubicación : SECTOR SARAHUARCAY

DESCRIPCIÓN	LIMITE LIQUIDO		LIMITE PLÁSTICO	
Capsula N°	11	13	2	9
Peso Capsula + Suelo Húmedo (gr.)	68.15	65.51	39.11	38.48
Peso Capsula + Suelo Seco (gr.)	58.48	56.25	38.18	37.35
Peso Agua (gr.)	9.67	9.26	0.93	1.13
Peso de la Capsula (gr.)	34.25	34.55	34.25	32.35
Peso Suelo Seco (gr.)	24.23	21.70	3.93	5.00
Contenido de Humedad (%)	39.91	42.67	23.66	22.60
Número de Golpes	34	21		



DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.
[Signature]
ING. ARTURO DELGADO BALDEÓN
JEFE DE LABORATORIO
RUC: 20494399891



ENSAYO DE CONSTANTES FÍSICAS

(ASTM D-4318)

Proyecto : "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON

Departamento : APURIMAC

Descripción : CALICATA

Provincia : CHINCHEROS

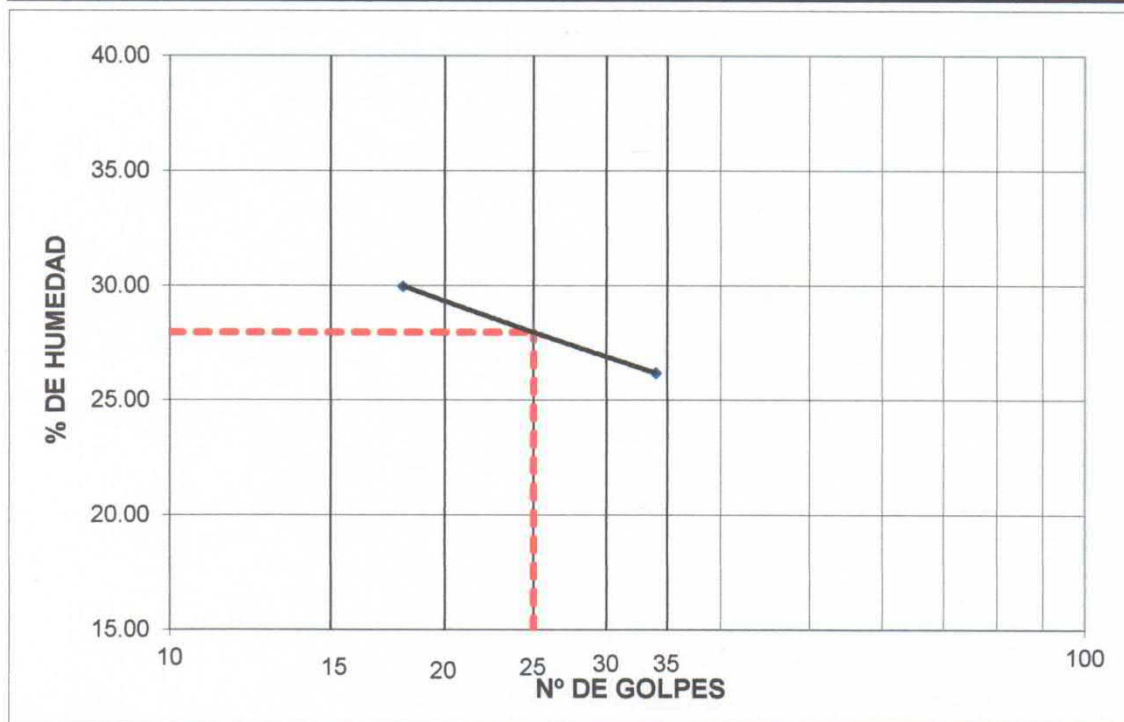
Fecha : DICIEMBRE DEL 2025

Distrito : OCOBAMBA

Calicata : CC - 03 PROG. 27+700Km

Ubicación : SECTOR SARAHUARCAY

DESCRIPCIÓN	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLÁSTICO
Capsula N°	21	29
Peso Capsula + Suelo Húmedo (gr.)	57.72	58.16
Peso Capsula + Suelo Seco (gr.)	52.83	52.75
Peso Agua (gr.)	4.89	5.41
Peso de la Capsula (gr.)	34.15	34.70
Peso Suelo Seco (gr.)	18.68	18.05
Contenido de Humedad (%)	26.18	29.97
Número de Golpes	34	18



Limite Líquido (%)	27.95	Limite Plástico (%)	13.90	Índice Plástico (%)	14.05
--------------------	-------	---------------------	-------	---------------------	-------

DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.
[Signature]
ING. ARTURO DELGADO BALDEON
JEFE DE LABORATORIO
RUC: 20494399891



ENSAYO DE CONSTANTES FÍSICAS

(ASTM D-4318)

Proyecto : "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON

Departamento : APURIMAC

Descripción : CALICATA

Provincia : CHINCHEROS

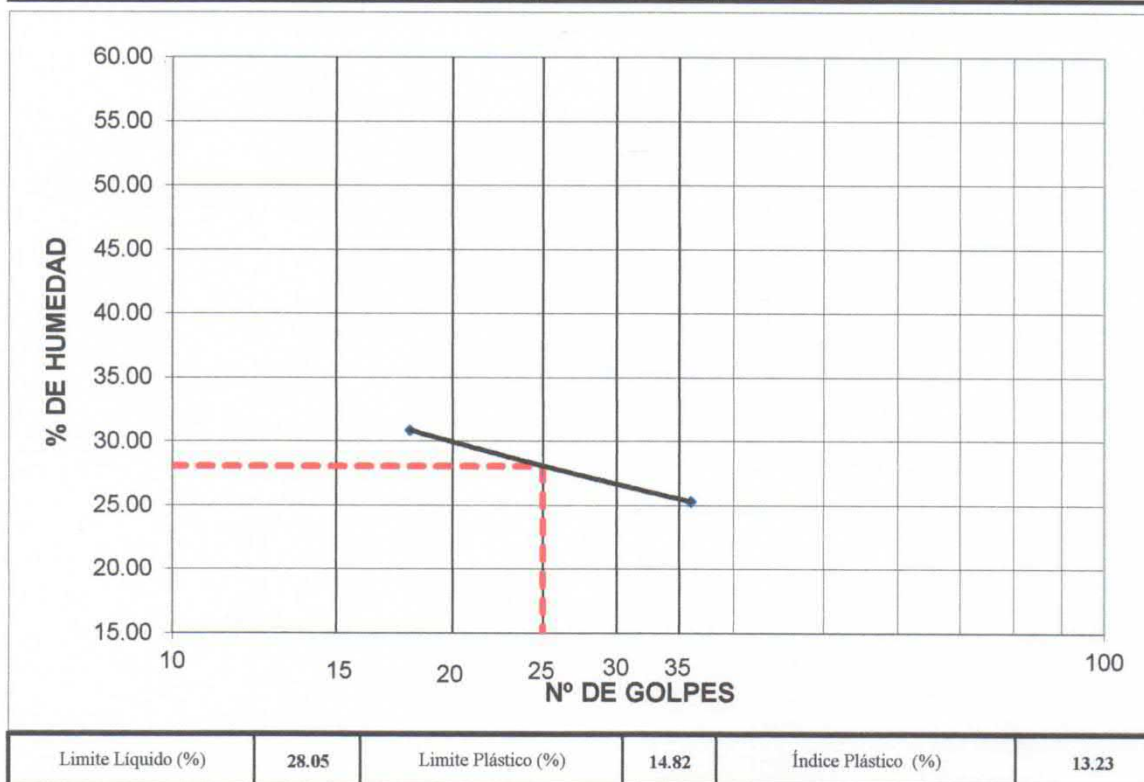
Fecha : DICIEMBRE DEL 2025

Distrito : OCOBAMBA

Calicata : CC - 04 PROG. 28+500Km

Ubicación : SECTOR SARAHUARCAY

DESCRIPCIÓN	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLÁSTICO
Capsula N°	32	20
Peso Capsula + Suelo Húmedo (gr.)	53.89	56.61
Peso Capsula + Suelo Seco (gr.)	49.29	52.25
Peso Agua (gr.)	4.60	4.36
Peso de la Capsula (gr.)	34.38	35.02
Peso Suelo Seco (gr.)	14.91	17.23
Contenido de Humedad (%)	30.85	25.30
Número de Golpes	18	36



DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.
ING. ARTURO DELGADO BALDEON
JEFE DE LABORATORIO
RUC: 20494399891



CBR - Calicatas C-01, C-02, C-03 y C-04



VALOR SOPORTE RELATIVO (C.B.R.) ASTM - D 1883 MTC E 132

Proyecto : "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCA, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON Dep. : APURIMAC
Descripción : CALICATA Provincia : CHINCHEROS
Fecha : DICIEMBRE DEL 2025 Distrito : OCOBAMBA
Muestra : M-01 Ubicación : SECTOR SARAHUARCA
Calicata : C-01 CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCA PROG. 26+220Km

COMPACTACIÓN CBR

NUMERO DE MOLDE	I		II		III	
GOLPES POR CAPA	12		25		56	
COND. DE MUESTRA	SIN MOJAR	MOJA.	SIN MOJAR	MOJA.	SIN MOJAR	MOJA.
PESO MOLDE + SUELO HUMEDO	7763		7852		8089	
PESO DEL MOLDE(g)	4200		4200		4200	
PESO DEL SUELO HUMEDO(g)	3563		3652		3889	
VOLUMEN DEL MOLDE(cm ³)	2105		2105		2105	
DENSIDAD HUMEDA(g/cm ³)	1.693		1.735		1.848	
% DE HUMEDAD	13.29		14.85		15.56	
DENSIDAD SECA	1.494		1.511		1.599	
Nro DE TARRO	6	12	18	15	11	21
TARRO + SUELO HUMEDO	53.26	46.32	51.15	52.82	52.45	53.16
TARRO + SUELO SECO	48.26	42.05	45.52	47.95	47.12	47.32
AGUA	5	4.27	5.63	4.87	5.33	5.84
PESO DEL TARRO	10.25	10.25	10.85	11.75	11.45	11.21
PESO DEL SUELO SECO	38.01	31.8	34.67	36.2	35.67	36.11
% DE HUMEDAD	13.15	13.43	16.24	13.45	14.94	16.17
HUMEDAD PROMEDIO	13.29		14.85		15.56	

ENSAYO DE HINCHAMIENTO

N° MOLDE			I			II			III		
FECHA	DIA	HORA	LECT. DEFOR	EXPANSIÓN		LECT. DEFOR	EXPANSIÓN		LECT. DEFOR	EXPANSIÓN	
				m.m	%		m.m	%		m.m	%
DIC -2025	1	0	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DIC -2025	2	24	0.28	0.28	0.23	0.18	0.18	0.15	0.47	0.47	0.39
DIC -2025	3	48	0.28	0.28	0.23	0.48	0.48	0.40	0.76	0.76	0.63
DIC -2025	4	72	0.48	0.48	0.39	0.68	0.68	0.57	0.98	0.98	0.82
DIC -2025	5	96	0.48	0.48	0.39	0.69	0.69	0.58	0.98	0.98	0.82

ENSAYO CARGA - PENETRACION

PENETRACIÓN		MOLDE I		CBR	MOLDE II		CBR	MOLDE III		CBR
m.m	pulg	CARGA	ESFUERZO	%	CARGA	ESFUERZO	%	CARGA	ESFUERZO	%
0.00	0.000	0	0.00		0.0	0.00		0.0	0.00	
0.64	0.025	13.5	0.69		30.9	1.58		47.5	2.41	
1.27	0.050	20.3	1.03		38.6	1.96		54.3	2.76	
1.91	0.075	28.2	1.44		54.2	2.75		65.2	3.32	
2.54	0.100	38.4	1.98	2.80	60.3	3.12	4.40	74.7	3.86	5.45
5.08	0.200	46.3	2.39	2.25	81.9	4.23	3.98	82.8	4.28	4.03
7.62	0.300	58.7	2.99		91.2	4.65		93.7	4.78	
10.16	0.400	68.8	3.50		100.5	5.12		108.6	5.53	
12.70	0.500	77.8	3.96		109.8	5.60		129.0	6.57	

DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.
Arturo Delgado Baldeon
ING. ARTURO DELGADO BALDEON
JEFE DE LABORATORIO
REG. 20100000001



VALOR SOPORTE RELATIVO (C.B.R.) ASTM - D 1883 MTC E 132

Proyecto

: "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON

Descripción : CALICATA

Fecha : DICIEMBRE DEL 2025

Muestra : M-01

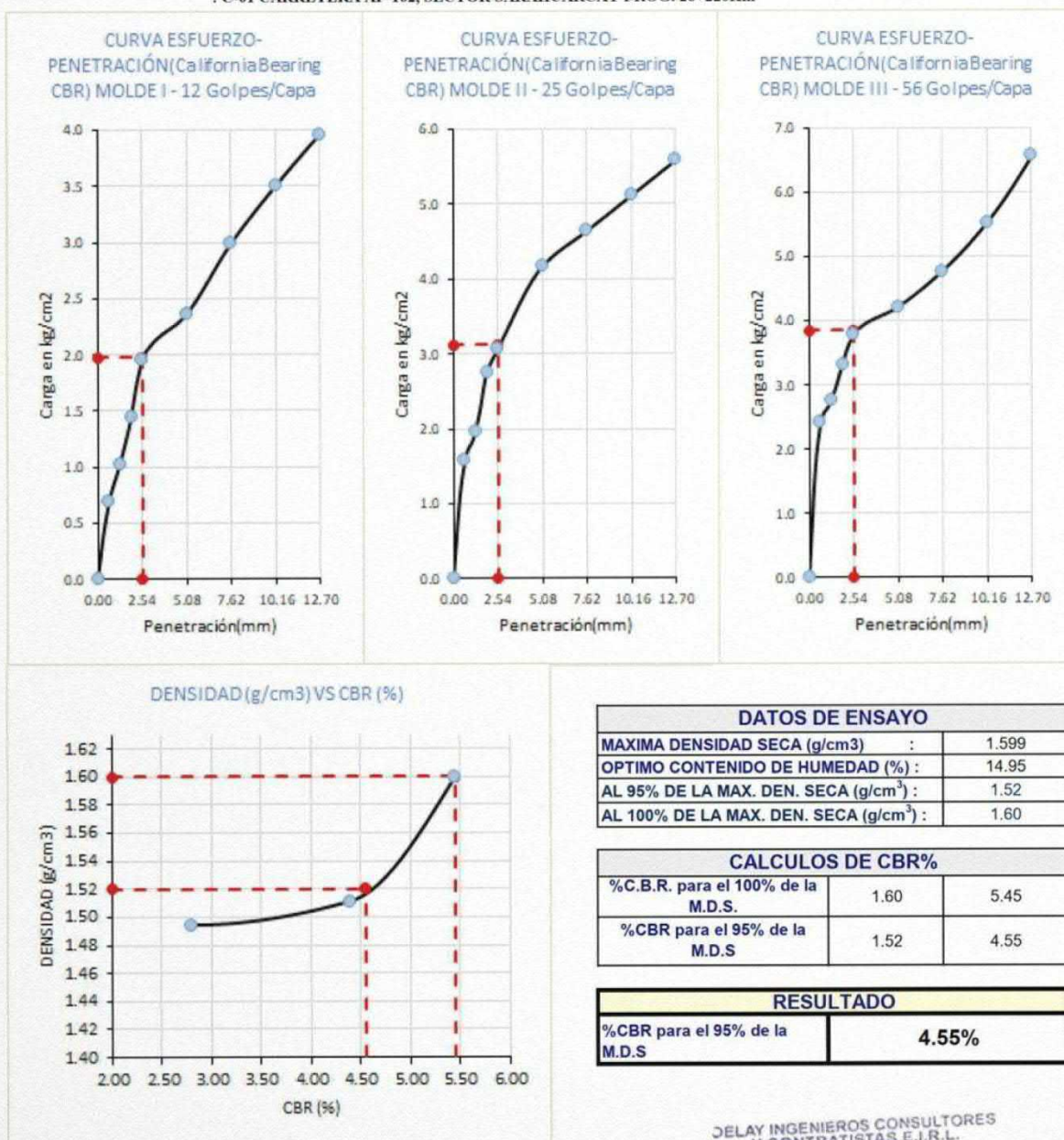
Calicata : C-01 CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY PROG. 26+220Km

Dep. : APURIMAC

Provincia : CHINCHEROS

Distrito : OCOBAMBA

Ubicación : SECTOR SARAHUARCAY



DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.
Arturo Delgado Baldeon
ING. ARTURO DELGADO BALDEON
JEFE DE LABORATORIO
RUC: 20494399091



VALOR SOPORTE RELATIVO (C.B.R.) ASTM - D 1883 MTC E 132

Proyecto : "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCA, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON

Dep. : APURIMAC

Descripción : CALICATA

Provincia : CHINCHEROS

Fecha : DICIEMBRE DEL 2025

Distrito : OCOBAMBA

Muestra : M-01-PATRON

Ubicación : SECTOR SARAHUARCA

Calicata : CC-02 - PROG. 26+440Km

COMPACTACIÓN CBR

NUMERO DE MOLDE	I		II		III	
GOLPES POR CAPA	12		25		56	
COND. DE MUESTRA	SIN MOJAR	MOJA.	SIN MOJAR	MOJA.	SIN MOJAR	MOJA.
PESO MOLDE + SUELO HUMEDO	7550		7715		8048	
PESO DEL MOLDE(g)	4200		4200		4200	
PESO DEL SUELO HUMEDO(g)	3350		3515		3848	
VOLUMEN DEL MOLDE(cm3)	2105		2105		2105	
DENSIDAD HUMEDA(g/cm3)	1.591		1.670		1.828	
% DE HUMEDAD	14.98		15.02		15.29	
DENSIDAD SECA	1.384		1.452		1.586	
Nro DE TARRO	20	10	2	8	7	12
TARRO + SUELO HUMEDO	51.22	41.26	51.69	53.24	54.66	52.36
TARRO + SUELO SECO	45.79	37.29	46.35	47.85	49.15	46.81
AGUA	5.43	3.97	5.34	5.39	5.51	5.55
PESO DEL TARRO	10.23	10.28	10.93	11.81	12.53	11.06
PESO DEL SUELO SECO	35.56	27.01	35.42	36.04	36.62	35.75
% DE HUMEDAD	15.27	14.70	15.08	14.96	15.05	15.52
HUMEDAD PROMEDIO	14.98		15.02		15.29	

ENSAYO DE HINCHAMIENTO

Nº MOLDE			I			II			III		
FECHA	DIA	HORA	LECT. DEFOR	EXPANSIÓN		LECT. DEFOR	EXPANSIÓN		LECT. DEFOR	EXPANSIÓN	
				m.m	%		m.m	%		m.m	%
DIC -2025	1	0	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DIC -2025	2	24	0.30	0.30	0.24	0.20	0.20	0.17	0.50	0.50	0.42
DIC -2025	3	48	0.30	0.30	0.24	0.50	0.50	0.42	0.80	0.80	0.67
DIC -2025	4	72	0.50	0.50	0.40	0.70	0.70	0.58	1.10	1.10	0.92
DIC -2025	5	96	0.50	0.50	0.40	0.70	0.70	0.58	1.10	1.10	0.92

ENSAYO CARGA - PENETRACION

PENETRACIÓN		MOLDE I		CBR	MOLDE II		CBR	MOLDE III		CBR
m.m	pulg	CARGA	ESFUERZO	%	CARGA	ESFUERZO	%	CARGA	ESFUERZO	%
0.00	0.000	0	0.00		0.0	0.00		0.0	0.00	
0.64	0.025	20.4	1.04		34.5	1.76		47.5	2.42	
1.27	0.050	27.2	1.39		38.7	1.97		48.9	2.49	
1.91	0.075	29.9	1.52		41.4	2.11		51.6	2.63	
2.54	0.100	34.0	1.73	2.48	47.0	2.40	3.43	61.1	3.11	4.46
5.08	0.200	43.5	2.22	2.12	52.5	2.68	2.55	76.0	3.87	3.70
7.62	0.300	66.6	3.39		89.8	4.58		95.0	4.84	
10.16	0.400	70.7	3.60		98.1	5.00		100.5	5.12	
12.70	0.500	76.1	3.88		113.3	5.78		129.0	6.57	

DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.
Arturo Delgado Baldeon
ING. ARTURO DELGADO BALDEON
JEFE DE LABORATORIO
RUC: 2060000000



VALOR SOPORTE RELATIVO (C.B.R.) ASTM - D 1883 MTC E 132

Proyecto

: "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON

Descripción : CALICATA

Fecha : DICIEMBRE DEL 2025

Muestra : M-01-PATRON

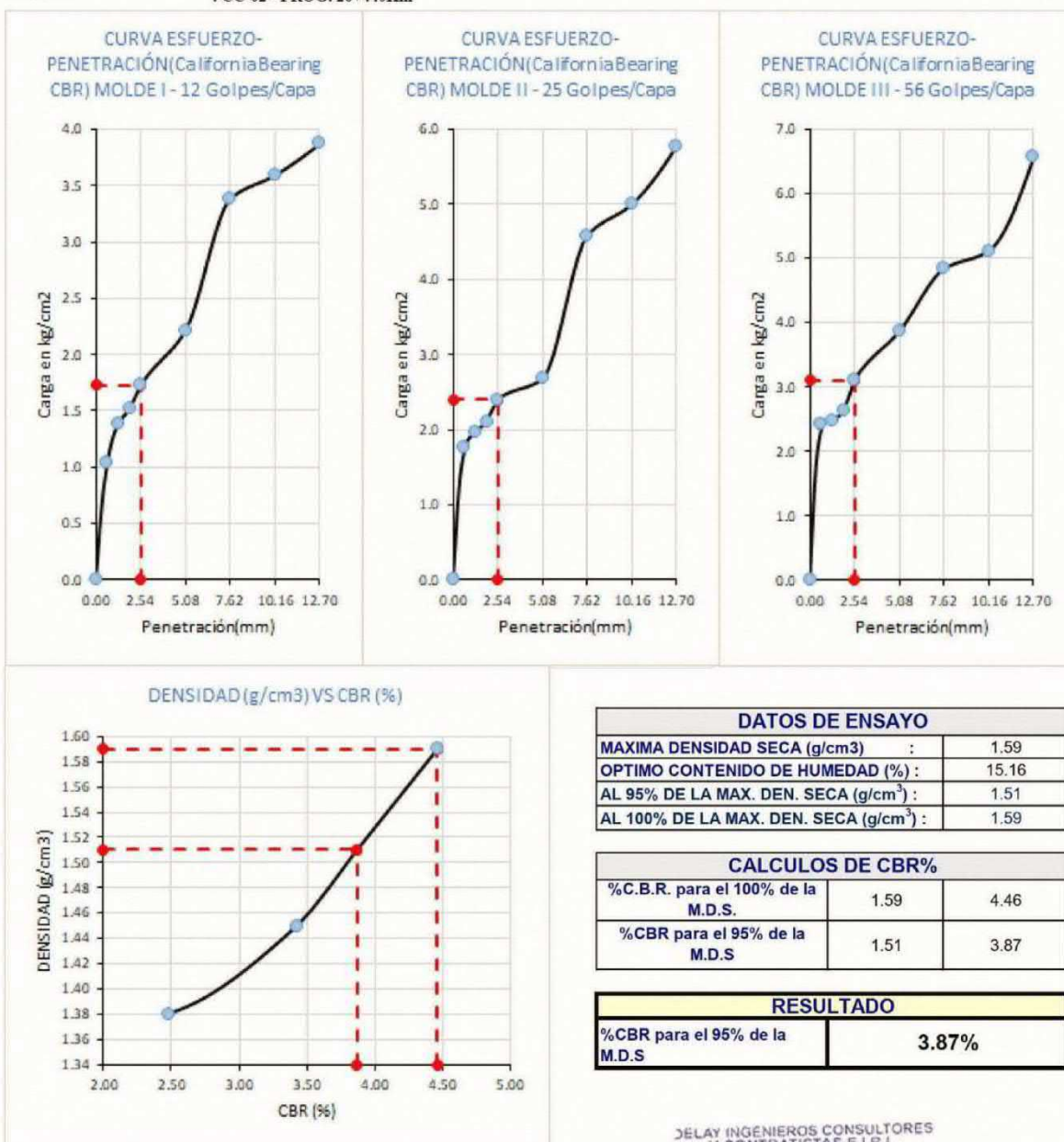
Calicata : CC-02 - PROG. 26+440Km

Dep. : APURIMAC

Provincia : CHINCHEROS

Distrito : OCOBAMBA

Ubicación : SECTOR SARAHUARCAY



DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.
Ing. Arturo Delgado Baldeon
ING. ARTURO DELGADO BALDEON
JEFE DE LABORATORIO
MTC - 2025-09-01-01



VALOR SOPORTE RELATIVO (C.B.R.) ASTM - D 1883 MTC E 132

Proyecto : "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON
Descripción : CALICATA
Fecha : DICIEMBRE DEL 2025
Muestra : M-03
Calicata : C-03 CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY PROG. 27+700Km

Dep. : APURIMAC
Provincia : CHINCHEROS
Distrito : OCOBAMBA
Ubicación : SECTOR SARAHUARCAY

COMPACTACIÓN CBR

NUMERO DE MOLDE	I		II		III	
GOLPES POR CAPA	12		25		56	
COND. DE MUESTRA	SIN MOJAR	MOJA.	SIN MOJAR	MOJA.	SIN MOJAR	MOJA.
PESO MOLDE + SUELO HUMEDO	7762		7942		8155	
PESO DEL MOLDE(g)	4200		4200		4200	
PESO DEL SUELO HUMEDO(g)	3562		3742		3955	
VOLUMEN DEL MOLDE(cm3)	2105		2105		2105	
DENSIDAD HUMEDA(g/cm3)	1.692		1.778		1.879	
% DE HUMEDAD	12.86		13.17		15.37	
DENSIDAD SECA	1.499		1.571		1.628	
Nro DE TARRO	5	18	20	10	8	3
TARRO + SUELO HUMEDO	51.32	53.12	52.15	51.84	53.14	52.95
TARRO + SUELO SECO	46.95	48.12	47.45	47.01	47.95	46.98
AGUA	4.37	5	4.7	4.83	5.19	5.97
PESO DEL TARRO	11.25	11.02	11.15	10.95	11.12	11.14
PESO DEL SUELO SECO	35.7	37.1	36.3	36.06	36.83	35.84
% DE HUMEDAD	12.24	13.48	12.95	13.39	14.09	16.66
HUMEDAD PROMEDIO	12.86		13.17		15.37	

ENSAYO DE HINCHAMIENTO

N° MOLDE			I			II			III		
FECHA	DIA	HORA	LECT. DEFOR	EXPANSIÓN		LECT. DEFOR	EXPANSIÓN		LECT. DEFOR	EXPANSIÓN	
				m.m	%		m.m	%		m.m	%
DIC -2025	1	0	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DIC -2025	2	24	0.25	0.25	0.20	0.20	0.20	0.17	0.45	0.45	0.38
DIC -2025	3	48	0.25	0.25	0.20	0.45	0.45	0.38	0.75	0.75	0.63
DIC -2025	4	72	0.45	0.45	0.36	0.65	0.65	0.54	0.95	0.95	0.79
DIC -2025	5	96	0.45	0.45	0.36	0.65	0.65	0.54	0.95	0.95	0.79

ENSAYO CARGA - PENETRACION

PENETRACIÓN		MOLDE I		CBR	MOLDE II		CBR	MOLDE III		CBR
m.m	pulg	CARGA	ESFUERZO	%	CARGA	ESFUERZO	%	CARGA	ESFUERZO	%
0.00	0.000	0	0.00		0.0	0.00		0.0	0.00	
0.64	0.025	14.8	0.75		47.9	2.44		74.7	3.80	
1.27	0.050	24.6	1.25		57.5	2.93		81.4	4.15	
1.91	0.075	31.5	1.60		75.3	3.84		101.8	5.19	
2.54	0.100	38.4	1.98	2.80	84.8	4.38	6.19	115.4	5.96	8.42
5.08	0.200	45.2	2.34	2.20	103.9	5.37	5.05	131.6	6.80	6.41
7.62	0.300	51.1	2.60		105.0	5.35		142.5	7.26	
10.16	0.400	61.0	3.11		127.2	6.48		156.1	7.95	
12.70	0.500	71.8	3.66		143.6	7.32		164.2	8.36	

DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.

ING. ARTURO DELGADO BALDEON
JEFE DE LABORATORIO



VALOR SOPORTE RELATIVO (C.B.R.) ASTM - D 1883 MTC E 132

Proyecto

: "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

Solicitante
Descripción

: EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON
: CALICATA

Fecha

: DICIEMBRE DEL 2025

Muestra

: M-03

Calicata

: C-03 CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY PROG. 27+700Km

Dep.

: APURIMAC

Provincia

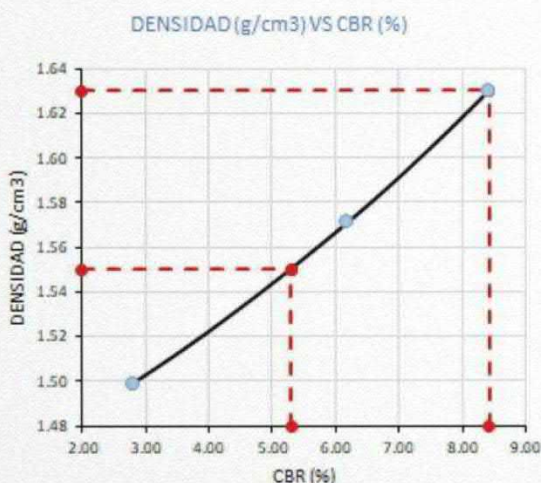
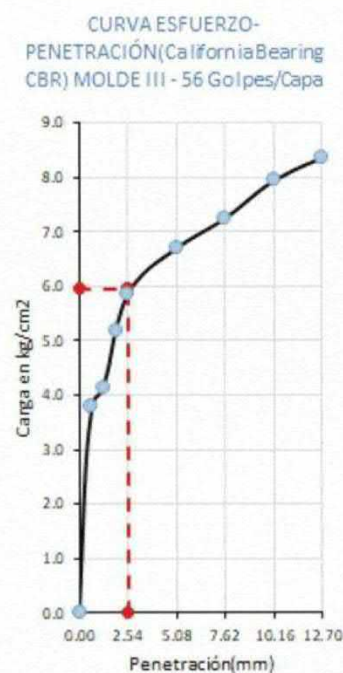
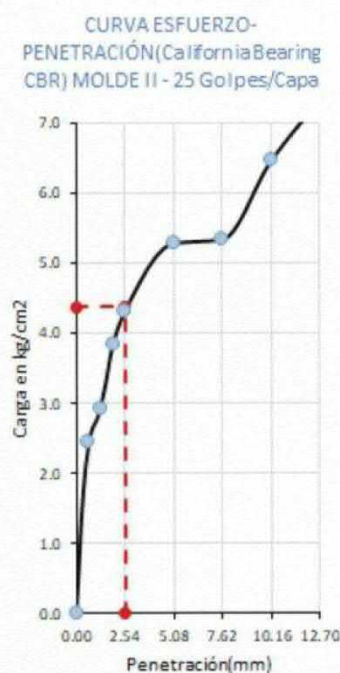
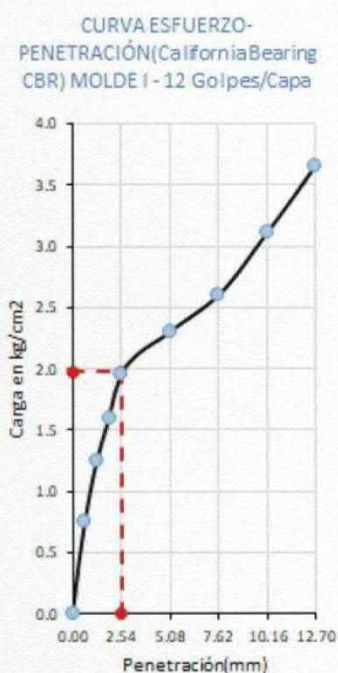
: CHINCHEROS

Distrito

: OCOBAMBA

Ubicación

: SECTOR SARAHUARCAY



DATOS DE ENSAYO

MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm3)	:	1.628
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	:	13.26
AL 95% DE LA MAX. DEN. SECA (g/cm3)	:	1.55
AL 100% DE LA MAX. DEN. SECA (g/cm3)	:	1.63

CALCULOS DE CBR%

%C.B.R. para el 100% de la M.D.S.	1.63	8.42
%CBR para el 95% de la M.D.S	1.55	5.30

RESULTADO

%CBR para el 95% de la M.D.S	5.30%
------------------------------	--------------

DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.
Arturo Delgado Baldeon
ING. ARTURO DELGADO BALDEON
JEFE DE LABORATORIO



VALOR SOPORTE RELATIVO (C.B.R.) ASTM - D 1883 MTC E 132

Proyecto : "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURIMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON Dep. : APURIMAC
Descripción : CALICATA Provincia : CHINCHEROS
Fecha : DICIEMBRE DEL 2025 Distrito : OCOBAMBA
Muestra : M-04 Ubicación : SECTOR SARAHUARCAY
Calicata : C-04 CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY PROG. 28+500Km

COMPACTACIÓN CBR

NUMERO DE MOLDE	I		II		III	
GOLPES POR CAPA	12		25		56	
COND. DE MUESTRA	SIN MOJAR	MOJA.	SIN MOJAR	MOJA.	SIN MOJAR	MOJA.
PESO MOLDE + SUELO HUMEDO	7755		7946		8192	
PESO DEL MOLDE(g)	4200		4200		4200	
PESO DEL SUELO HUMEDO(g)	3555		3746		3992	
VOLUMEN DEL MOLDE(cm3)	2105		2105		2105	
DENSIDAD HUMEDA(g/cm3)	1.689		1.780		1.896	
% DE HUMEDAD	12.56		13.11		15.65	
DENSIDAD SECA	1.500		1.573		1.640	
Nro DE TARRO	11	16	4	18	21	10
TARRO + SUELO HUMEDO	50.12	51.48	51.44	52.62	52.15	52.41
TARRO + SUELO SECO	45.81	46.95	46.85	47.78	46.94	46.52
AGUA	4.31	4.53	4.59	4.84	5.21	5.89
PESO DEL TARRO	11.25	11.15	11.1	11.6	11.3	11.2
PESO DEL SUELO SECO	34.56	35.8	35.75	36.18	35.64	35.32
% DE HUMEDAD	12.47	12.65	12.84	13.38	14.62	16.68
HUMEDAD PROMEDIO	12.56		13.11		15.65	

ENSAYO DE HINCHAMIENTO

N° MOLDE			I			II			III		
FECHA	DIA	HORA	LECT. DEFOR	EXPANSIÓN		LECT. DEFOR	EXPANSIÓN		LECT. DEFOR	EXPANSIÓN	
				m.m	%		m.m	%		m.m	%
DIC -2025	1	0	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DIC -2025	2	24	0.25	0.25	0.20	0.20	0.20	0.17	0.45	0.45	0.38
DIC -2025	3	48	0.25	0.25	0.20	0.45	0.45	0.38	0.75	0.75	0.63
DIC -2025	4	72	0.45	0.45	0.36	0.65	0.65	0.54	0.95	0.95	0.79
DIC -2025	5	96	0.45	0.45	0.36	0.65	0.65	0.54	0.95	0.95	0.79

ENSAYO CARGA - PENETRACION

PENETRACIÓN		MOLDE I		CBR	MOLDE II		CBR	MOLDE III		CBR
m.m	pulg	CARGA	ESFUERZO	%	CARGA	ESFUERZO	%	CARGA	ESFUERZO	%
0.00	0.000	0	0.00		0.0	0.00		0.0	0.00	
0.64	0.025	21.3	1.08		52.1	2.65		88.2	4.49	
1.27	0.050	29.1	1.48		61.8	3.15		101.7	5.17	
1.91	0.075	33.9	1.73		68.6	3.49		111.2	5.67	
2.54	0.100	39.7	2.05	2.90	85.1	4.40	6.21	122.1	6.31	8.91
5.08	0.200	47.5	2.45	2.31	109.8	5.67	5.35	137.0	7.08	6.66
7.62	0.300	50.4	2.57		126.2	6.43		143.8	7.32	
10.16	0.400	60.1	3.06		134.5	6.85		156.0	7.94	
12.70	0.500	69.8	3.55		140.0	7.13		164.1	8.36	

DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.

ING. ARTURO DELGADO BALDEON
JEFE DE LABORATORIO
RUC: 20494399691



VALOR SOPORTE RELATIVO (C.B.R.) ASTM - D 1883 MTC E 132

Proyecto

: "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON

Descripción : CALICATA

Fecha : DICIEMBRE DEL 2025

Muestra : M-04

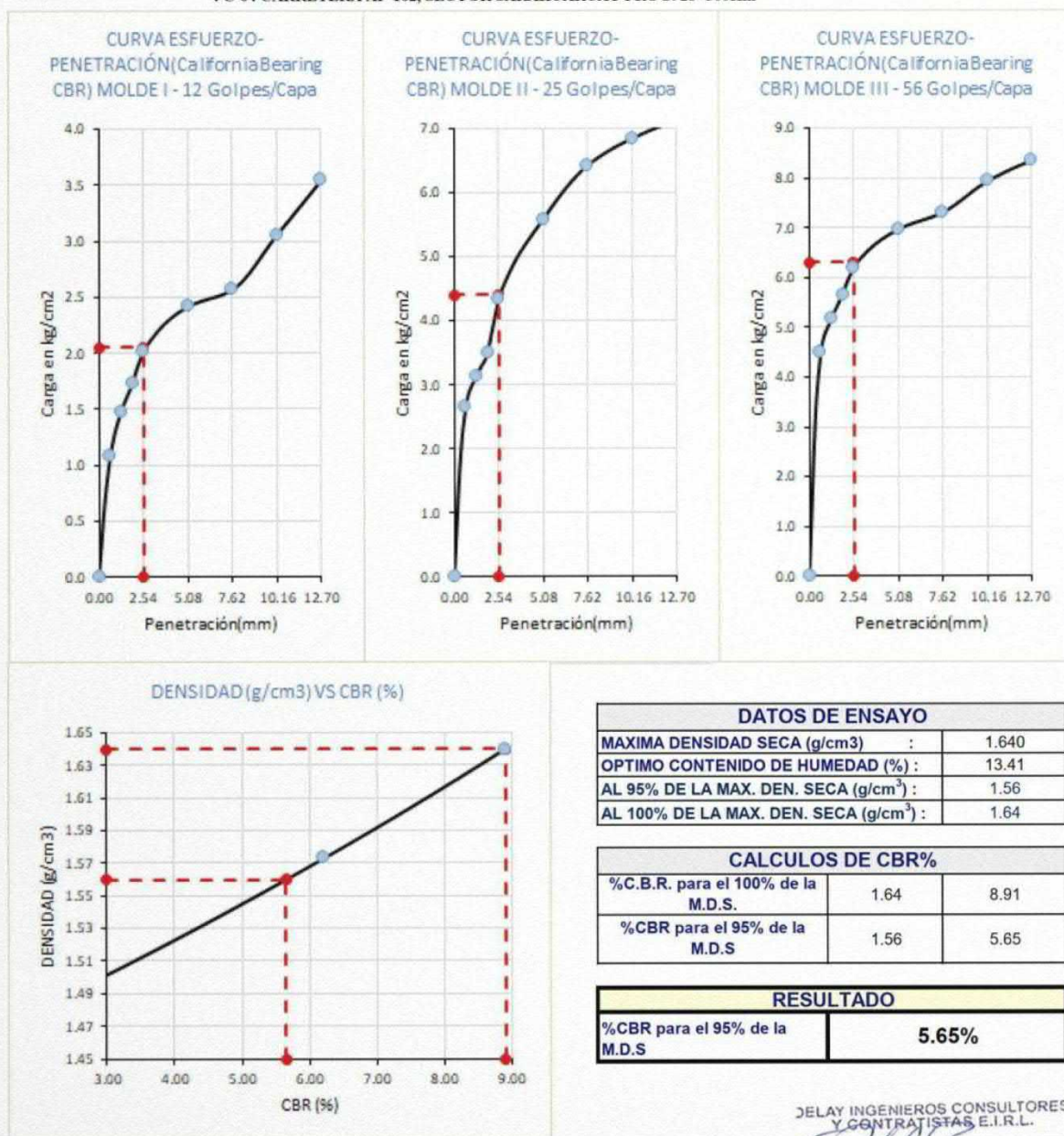
Calicata : C-04 CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY PROG. 28+500Km

Dep. : APURIMAC

Provincia : CHINCHEROS

Distrito : OCOBAMBA

Ubicación : SECTOR SARAHUARCAY



DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.
Ing. Arturo Delgado Baldeon
ING. ARTURO DELGADO BALDEON
JEFE DE LABORATORIO
INCLUIDO EN EL REGISTRO NACIONAL DE INGENIEROS



Límites de Consistencia — Calicata C-02 con adición de diatomita calcinada

ENSAYO DE CONSTANTES FÍSICAS (ASTM D-4318)



Proyecto : "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON Departamento : APURIMAC

Descripción : MATERIAL DE SUBRASANTE Provincia : CHINCHEROS

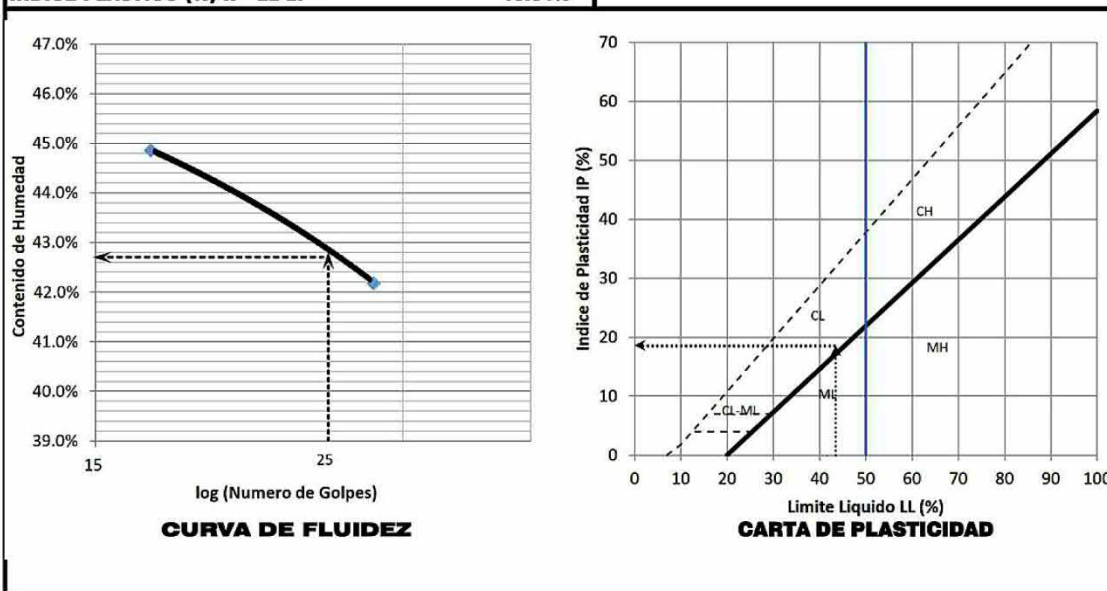
Fecha : DICIEMBRE DEL 2025 Distrito : OCOBAMBA

Muestra : M-01- PATRON Ubicación : SECTOR SARAHUARCAY

DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD (ASTM D-4318,MTC E 111-2000)						
	RECIPIENTE	Nº	34	3		
1	PESO SUELO HUMEDO+RECIPIENTE	gr	50.67	51.86		
2	PESO SUELO SECO+RECIPIENTE	gr	47.52	48.01		
3	PESO RECIPIENTE	gr	33.97	32.08		
4	PESO AGUA (1)-(2)	gr	3.15	3.85		
5	PESO SECO (2)-(3)	gr	13.55	15.93		
6	HUMEDAD	%	23.23%	24.19%		
LIMITE PLASTICO		%	23.71%			

DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS (ASTM D-4318,MTC E 110-2000)						
	RECIPIENTE	Nº	16	25		
1	PESO SUELO HUMEDO+RECIPIENTE	gr	53.25	54.45		
2	PESO SUELO SECO+RECIPIENTE	gr	47.55	48.10		
3	PESO RECIPIENTE	gr	34.03	33.96		
4	PESO AGUA (1)-(2)	gr	5.70	6.35		
5	PESO SECO (2)-(3)	gr	13.52	14.14		
6	HUMEDAD	%	42.16%	44.91%		
7	NUMERO DE GOLPES	Nº	28.00	17.00		
LIMITE LIQUIDO		%	42.75%			

INDICE PLASTICO (%) IP=LL-LP= 19.04%



DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.
Delay
ING. ARTURO DELGADO BALDEON
JEFE DE LABORATORIO
RUC: 20494399691

ENSAYO DE CONSTANTES FÍSICAS (ASTM D-4318)



Proyecto : "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON

Departamento : APURIMAC

Descripción : MATERIAL DE SUBRASANTE

Provincia : CHINCHEROS

Fecha : DICIEMBRE DEL 2025

Distrito : OCOBAMBA

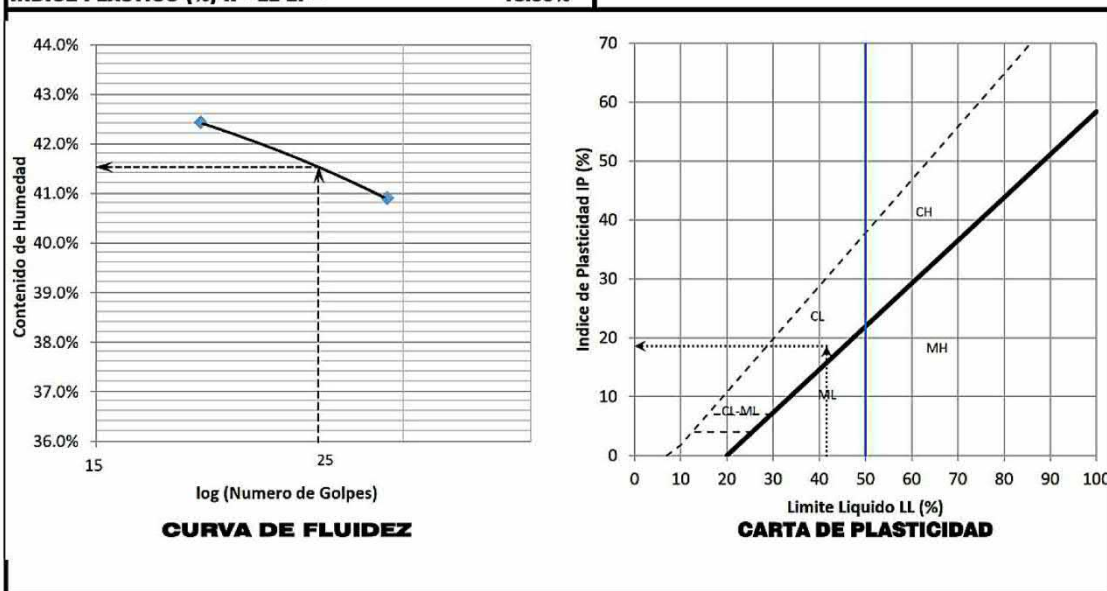
Muestra : M-02- PATRON

Ubicación : SECTOR SARAHUARCAY

DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD (ASTM D-4318, MTC E 111-2000)						
	RECIPIENTE	Nº	11	8		
1	PESO SUELO HUMEDO+RECIPIENTE	gr	49.83	49.94		
2	PESO SUELO SECO+RECIPIENTE	gr	46.81	46.57		
3	PESO RECIPIENTE	gr	33.52	32.25		
4	PESO AGUA (1)-(2)	gr	3.02	3.37		
5	PESO SECO (2)-(3)	gr	13.29	14.32		
6	HUMEDAD	%	22.71%	23.55%		
	LIMITE PLASTICO	%		23.13%		

DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS (ASTM D-4318, MTC E 110-2000)						
	RECIPIENTE	Nº	10	16		
1	PESO SUELO HUMEDO+RECIPIENTE	gr	52.16	55.14		
2	PESO SUELO SECO+RECIPIENTE	gr	46.90	48.80		
3	PESO RECIPIENTE	gr	34.03	33.96		
4	PESO AGUA (1)-(2)	gr	5.26	6.34		
5	PESO SECO (2)-(3)	gr	12.87	14.84		
6	HUMEDAD	%	40.87%	42.72%		
7	NUMERO DE GOLPES	Nº	29.00	19.00		
	LIMITE LIQUIDO	%		41.63%		

INDICE PLASTICO (%) IP=LL-LP= 18.50%



DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.
Arturo Delgado Baldeon
ING. ARTURO DELGADO BALDEON
JEFE DE LABORATORIO

ENSAYO DE CONSTANTES FÍSICAS (ASTM D-4318)



Proyecto : "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCA, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON

Departamento : APURIMAC

Descripción : MATERIAL DE SUBRASANTE

Provincia : CHINCHEROS

Fecha : DICIEMBRE DEL 2025

Distrito : OCOBAMBA

Muestra : M-03- PATRON

Ubicación : SECTOR SARAHUARCA

DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD (ASTM D-4318, MTC E 111-2000)

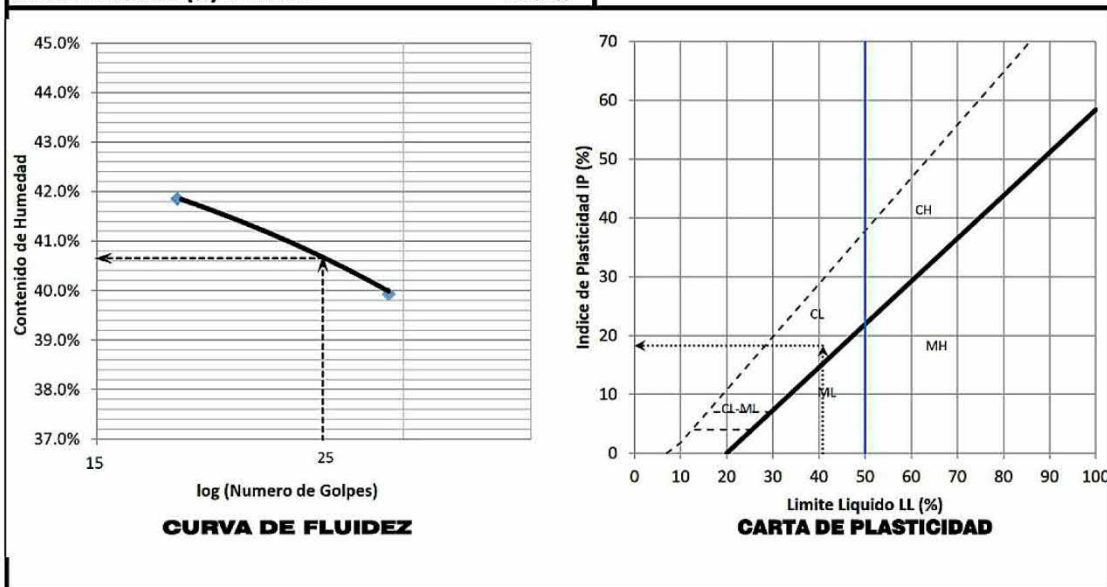
	RECIPIENTE	Nº	16	21		
1	PESO SUELO HUMEDO+RECIPIENTE	gr	48.56	49.72		
2	PESO SUELO SECO+RECIPIENTE	gr	45.88	46.51		
3	PESO RECIPIENTE	gr	33.25	32.15		
4	PESO AGUA (1)-(2)	gr	2.68	3.21		
5	PESO SECO (2)-(3)	gr	12.63	14.36		
6	HUMEDAD	%	21.23%	22.35%		
LIMITE PLASTICO		%	21.79%			

DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS (ASTM D-4318, MTC E 110-2000)

	RECIPIENTE	Nº	11	31		
1	PESO SUELO HUMEDO+RECIPIENTE	gr	52.27	51.20		
2	PESO SUELO SECO+RECIPIENTE	gr	46.85	45.97		
3	PESO RECIPIENTE	gr	33.26	33.45		
4	PESO AGUA (1)-(2)	gr	5.42	5.23		
5	PESO SECO (2)-(3)	gr	13.59	12.52		
6	HUMEDAD	%	39.89%	41.82%		
7	NUMERO DE GOLPES	Nº	29.00	18.00		
LIMITE LIQUIDO		%	40.61%			

INDICE PLASTICO (%) IP=LL-LP=

18.82%



DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS S.R.L.
[Signature]
ING. ARYUR DELGADO BALDEON
JEFE DE LABORATORIO
RUC: 20494399891

ENSAYO DE CONSTANTES FÍSICAS (ASTM D-4318)



Proyecto : "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON Departamento : APURIMAC

Descripción : MATERIAL DE SUBRASANTE Provincia : CHINCHEROS

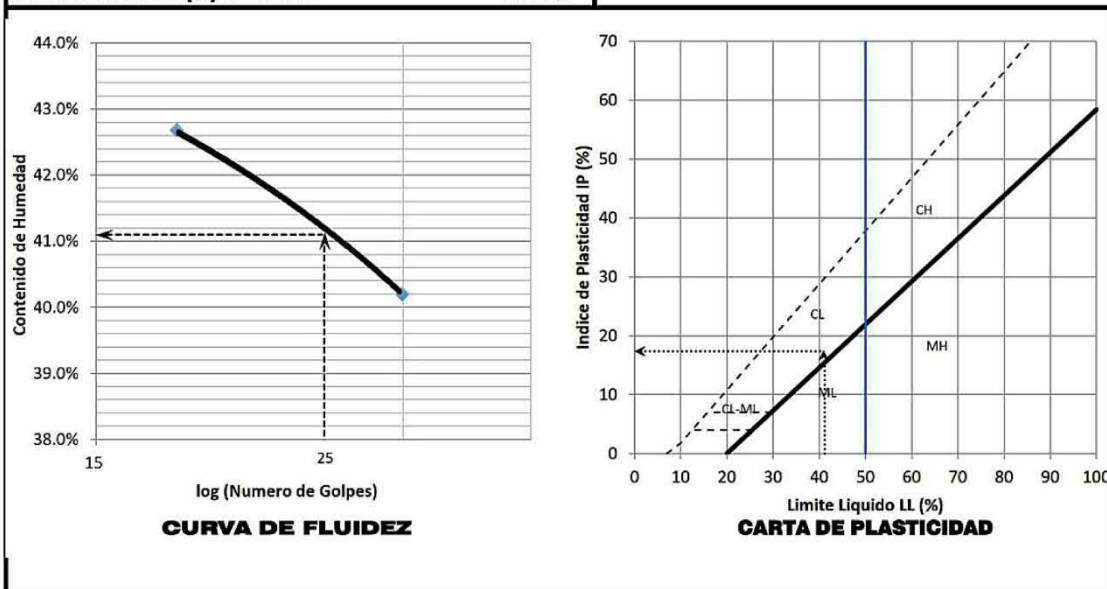
Fecha : DICIEMBRE DEL 2025 Distrito : OCOBAMBA

Muestra : M-01 + DIATOMITA CALCINADA AL 3% Ubicación : SECTOR SARAHUARCAY

DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD (ASTM D-4318, MTC E 111-2000)						
	RECIPIENTE	Nº	5	16		
1	PESO SUELO HUMEDO+RECIPIENTE	gr	53.67	54.66		
2	PESO SUELO SECO+RECIPIENTE	gr	49.70	50.39		
3	PESO RECIPIENTE	gr	32.66	32.78		
4	PESO AGUA (1)-(2)	gr	3.97	4.27		
5	PESO SECO (2)-(3)	gr	17.04	17.61		
6	HUMEDAD	%	23.32%	24.30%		
LIMITE PLASTICO		%	23.81%			

DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS (ASTM D-4318, MTC E 110-2000)						
	RECIPIENTE	Nº	10	8		
1	PESO SUELO HUMEDO+RECIPIENTE	gr	55.33	54.77		
2	PESO SUELO SECO+RECIPIENTE	gr	48.99	48.12		
3	PESO RECIPIENTE	gr	33.25	32.54		
4	PESO AGUA (1)-(2)	gr	6.34	6.65		
5	PESO SECO (2)-(3)	gr	15.74	15.58		
6	HUMEDAD	%	40.20%	42.68%		
7	NUMERO DE GOLPES	Nº	30.00	18.00		
LIMITE LIQUIDO		%	41.08%			

INDICE PLASTICO (%) IP=LL-LP= 17.27%



DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.
ING. ARTURO DELGADO BALDEON
JEFE DE LABORATORIO
RUC: 20494399891

ENSAYO DE CONSTANTES FÍSICAS (ASTM D-4318)



Proyecto : "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON Departamento : APURIMAC

Descripción : MATERIAL DE SUBRASANTE Provincia : CHINCHEROS

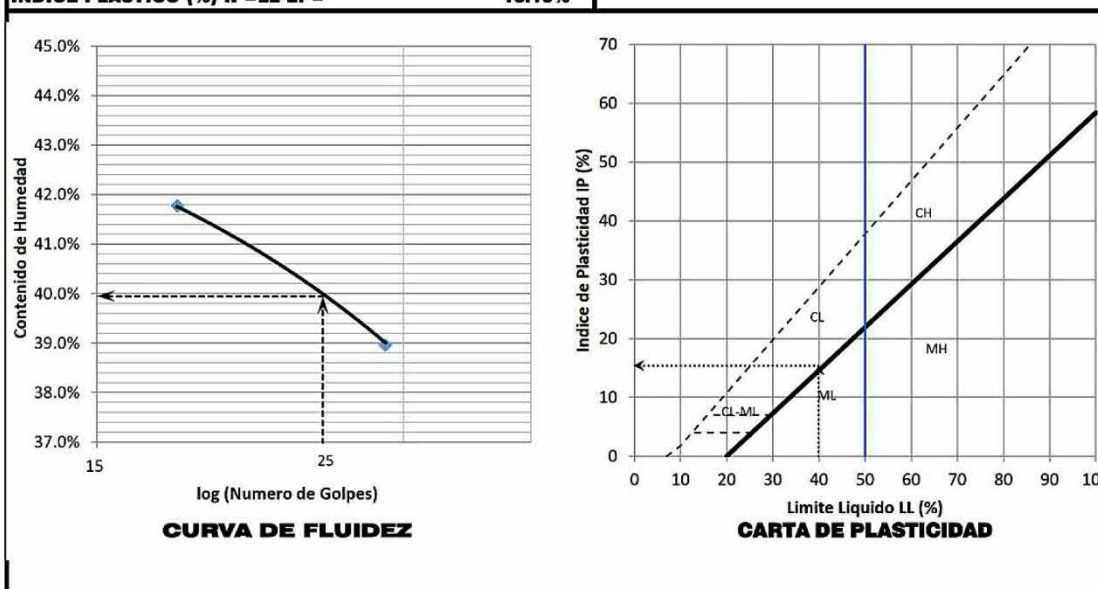
Fecha : DICIEMBRE DEL 2025 Distrito : OCOBAMBA

Muestra : M-02 + DIATOMITA CALCINADA AL 3% Ubicación : SECTOR SARAHUARCAY

DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD (ASTM D-4318, MTC E 111-2000)						
	RECIPIENTE	Nº	15	32		
1	PESO SUELO HUMEDO+RECIPIENTE	gr	53.88	54.92		
2	PESO SUELO SECO+RECIPIENTE	gr	49.72	50.43		
3	PESO RECIPIENTE	gr	32.55	32.78		
4	PESO AGUA (1)-(2)	gr	4.16	4.49		
5	PESO SECO (2)-(3)	gr	17.17	17.65		
6	HUMEDAD	%	24.28%	25.42%		
	LIMITE PLASTICO	%	24.85%			

DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS (ASTM D-4318, MTC E 110-2000)						
	RECIPIENTE	Nº	11	21		
1	PESO SUELO HUMEDO+RECIPIENTE	gr	52.28	53.62		
2	PESO SUELO SECO+RECIPIENTE	gr	46.95	47.50		
3	PESO RECIPIENTE	gr	33.25	32.85		
4	PESO AGUA (1)-(2)	gr	5.33	6.12		
5	PESO SECO (2)-(3)	gr	13.70	14.65		
6	HUMEDAD	%	38.94%	41.74%		
7	NUMERO DE GOLPES	Nº	31.00	18.00		
	LIMITE LIQUIDO	%	39.95%			

INDICE PLASTICO (%) IP=LL-LP= 15.10%



DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.
[Signature]
ING. ARTURO DELGADO BALDEON
JEFE DE LABORATORIO
RUC: 2044439901

ENSAYO DE CONSTANTES FÍSICAS (ASTM D-4318)



Proyecto : "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON Departamento : APURIMAC

Descripción : MATERIAL DE SUBRASANTE Provincia : CHINCHEROS

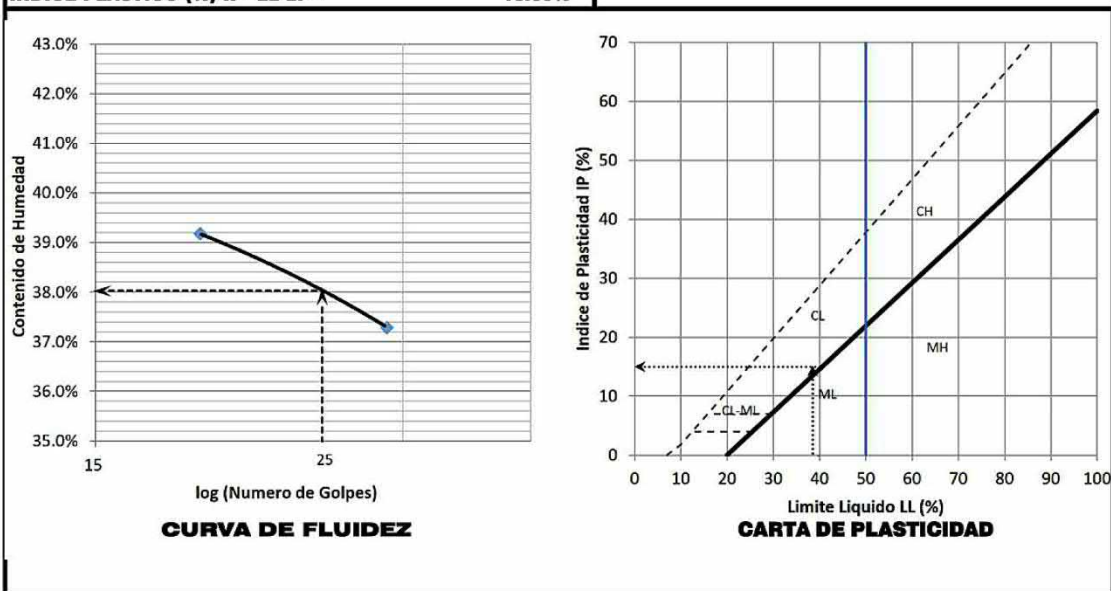
Fecha : DICIEMBRE DEL 2025 Distrito : OCOBAMBA

Muestra : M-03 + DIATOMITA CALCINADA AL 3% Ubicación : SECTOR SARAHUARCAY

DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD (ASTM D-4318, MTC E 111-2000)						
	RECIPIENTE	Nº	21	4		
1	PESO SUELO HUMEDO+RECIPIENTE	gr	52.52	52.53		
2	PESO SUELO SECO+RECIPIENTE	gr	48.71	48.64		
3	PESO RECIPIENTE	gr	31.82	32.08		
4	PESO AGUA (1)-(2)	gr	3.81	3.89		
5	PESO SECO (2)-(3)	gr	16.89	16.56		
6	HUMEDAD	%	22.56%	23.48%		
LIMITE PLASTICO		%	23.02%			

DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS (ASTM D-4318, MTC E 110-2000)						
	RECIPIENTE	Nº	10	4		
1	PESO SUELO HUMEDO+RECIPIENTE	gr	51.26	53.28		
2	PESO SUELO SECO+RECIPIENTE	gr	46.38	47.12		
3	PESO RECIPIENTE	gr	33.66	32.21		
4	PESO AGUA (1)-(2)	gr	4.88	6.16		
5	PESO SECO (2)-(3)	gr	12.72	14.91		
6	HUMEDAD	%	37.34%	39.27%		
7	NUMERO DE GOLPES	Nº	29.00	19.00		
LIMITE LIQUIDO		%	38.02%			

INDICE PLASTICO (%) IP=LL-LP= 15.00%



DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.
Delay
ING. ARTURO DELGADO BALDEON
JEFE DE LABORATORIO
RUC: 2044200001

ENSAYO DE CONSTANTES FÍSICAS (ASTM D-4318)



Proyecto : "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON Departamento : APURIMAC

Descripción : MATERIAL DE SUBRASANTE Provincia : CHINCHEROS

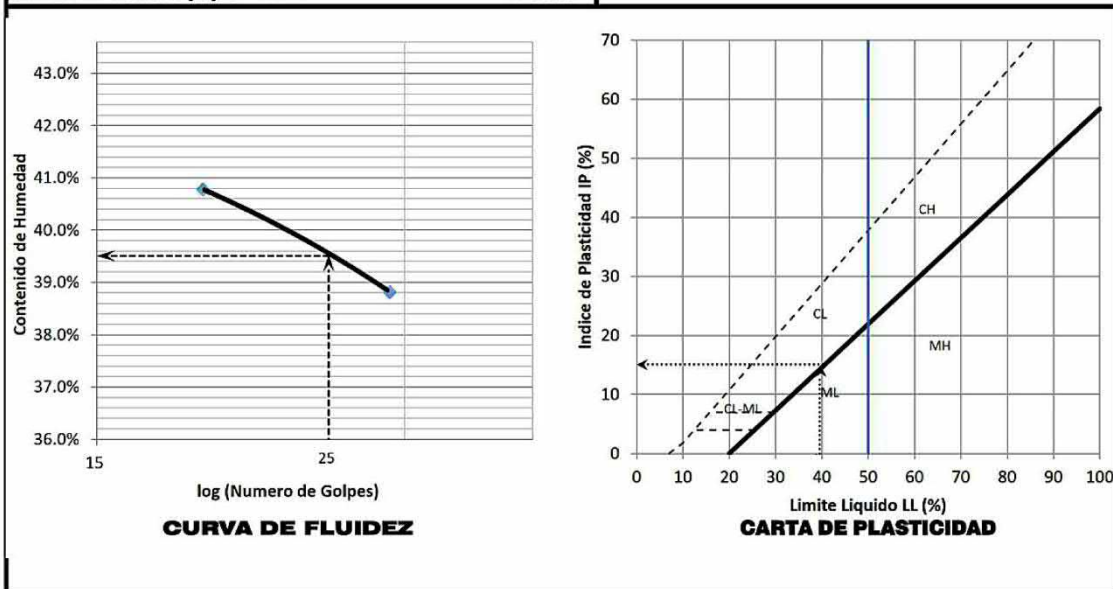
Fecha : DICIEMBRE DEL 2025 Distrito : OCOBAMBA

Muestra : M-01 + DIATOMITA CALCINADA AL 6% Ubicación : SECTOR SARAHUARCAY

DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD (ASTM D-4318,MTC E 111-2000)						
	RECIPIENTE	Nº	2	14		
1	PESO SUELO HUMEDO+RECIPIENTE	gr	54.84	55.71		
2	PESO SUELO SECO+RECIPIENTE	gr	50.54	51.13		
3	PESO RECIPIENTE	gr	32.63	32.86		
4	PESO AGUA (1)-(2)	gr	4.30	4.58		
5	PESO SECO (2)-(3)	gr	17.91	18.27		
6	HUMEDAD	%	23.98%	25.06%		
LIMITE PLASTICO		%	24.52%			

DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS (ASTM D-4318,MTC E 110-2000)						
	RECIPIENTE	Nº	20	15		
1	PESO SUELO HUMEDO+RECIPIENTE	gr	52.43	51.39		
2	PESO SUELO SECO+RECIPIENTE	gr	46.79	45.85		
3	PESO RECIPIENTE	gr	32.25	32.26		
4	PESO AGUA (1)-(2)	gr	5.64	5.54		
5	PESO SECO (2)-(3)	gr	14.54	13.59		
6	HUMEDAD	%	38.80%	40.79%		
7	NUMERO DE GOLPES	Nº	29.00	19.00		
LIMITE LIQUIDO		%	39.50%			

INDICE PLASTICO (%) IP=LL-LP= 14.98%



DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS S.R.L.
ING. ARTURO DELGADO BALDEON
JEFE DE LABORATORIO
RUC: 204435441

ENSAYO DE CONSTANTES FÍSICAS (ASTM D-4318)



Proyecto : "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON Departamento : APURIMAC

Descripción : MATERIAL DE SUBRASANTE Provincia : CHINCHEROS

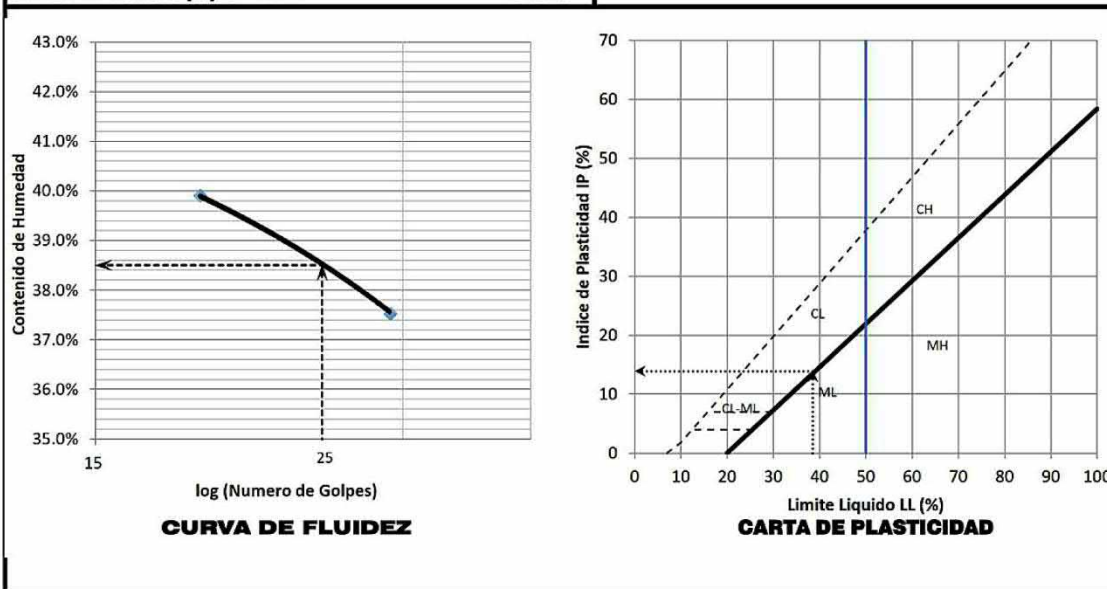
Fecha : DICIEMBRE DEL 2025 Distrito : OCOBAMBA

Muestra : M-02 + DIATOMITA CALCINADA AL 6% Ubicación : SECTOR SARAHUARCAY

DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD (ASTM D-4318,MTC E 111-2000)						
	RECIPIENTE	Nº	8	21		
1	PESO SUELO HUMEDO+RECIPIENTE	gr	53.85	54.81		
2	PESO SUELO SECO+RECIPIENTE	gr	49.52	50.19		
3	PESO RECIPIENTE	gr	32.28	32.40		
4	PESO AGUA (1)-(2)	gr	4.33	4.62		
5	PESO SECO (2)-(3)	gr	17.24	17.79		
6	HUMEDAD	%	25.11%	25.97%		
LIMITE PLASTICO		%	25.54%			

DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS (ASTM D-4318,MTC E 110-2000)						
	RECIPIENTE	Nº	5	3		
1	PESO SUELO HUMEDO+RECIPIENTE	gr	51.39	52.60		
2	PESO SUELO SECO+RECIPIENTE	gr	46.43	46.89		
3	PESO RECIPIENTE	gr	33.22	32.58		
4	PESO AGUA (1)-(2)	gr	4.96	5.71		
5	PESO SECO (2)-(3)	gr	13.21	14.31		
6	HUMEDAD	%	37.54%	39.89%		
7	NUMERO DE GOLPES	Nº	31.00	19.00		
LIMITE LIQUIDO		%	38.55%			

INDICE PLASTICO (%) IP=LL-LP= 13.01%



DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.
Arturo Delgado Baldeon
ING. ARTURO DELGADO BALDEON
JEFE DE LABORATORIO
RUC: 20494399001

ENSAYO DE CONSTANTES FÍSICAS (ASTM D-4318)



Proyecto : "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON Departamento : APURIMAC

Descripción : MATERIAL DE SUBRASANTE Provincia : CHINCHEROS

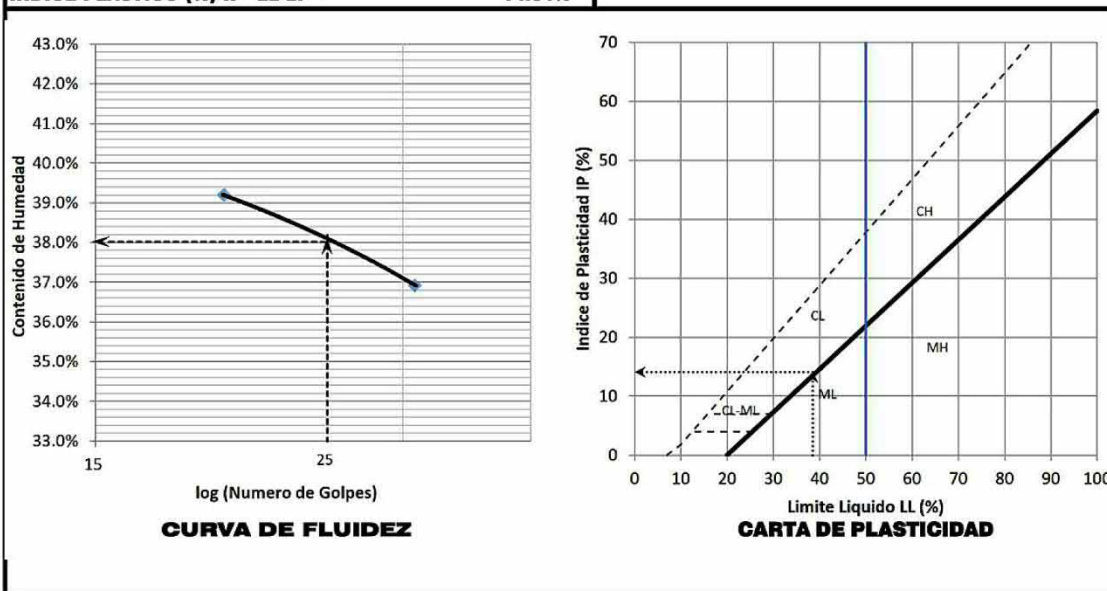
Fecha : DICIEMBRE DEL 2025 Distrito : OCOBAMBA

Muestra : M-03 + DIATOMITA CALCINADA AL 6% Ubicación : SECTOR SARAHUARCAY

DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD (ASTM D-4318, MTC E 111-2000)						
	RECIPIENTE	Nº	10	32		
1	PESO SUELO HUMEDO+RECIPIENTE	gr	52.34	52.53		
2	PESO SUELO SECO+RECIPIENTE	gr	48.47	48.46		
3	PESO RECIPIENTE	gr	31.91	31.92		
4	PESO AGUA (1)-(2)	gr	3.87	4.07		
5	PESO SECO (2)-(3)	gr	16.56	16.54		
6	HUMEDAD	%	23.36%	24.58%		
LIMITE PLASTICO		%	23.97%			

DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS (ASTM D-4318, MTC E 110-2000)						
	RECIPIENTE	Nº	19	2		
1	PESO SUELO HUMEDO+RECIPIENTE	gr	52.09	53.06		
2	PESO SUELO SECO+RECIPIENTE	gr	47.17	47.59		
3	PESO RECIPIENTE	gr	33.84	33.63		
4	PESO AGUA (1)-(2)	gr	4.92	5.47		
5	PESO SECO (2)-(3)	gr	13.33	13.96		
6	HUMEDAD	%	36.90%	39.19%		
7	NUMERO DE GOLPES	Nº	32.00	20.00		
LIMITE LIQUIDO		%	38.01%			

INDICE PLASTICO (%) IP=LL-LP= 14.04%



DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.
Arturo Delgado Baldeon
ING. ARTURO DELGADO BALDEON
JEFE DE LABORATORIO
RUC: 2040400007

ENSAYO DE CONSTANTES FÍSICAS (ASTM D-4318)



Proyecto : "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON Departamento : APURIMAC

Descripción : MATERIAL DE SUBRASANTE Provincia : CHINCHEROS

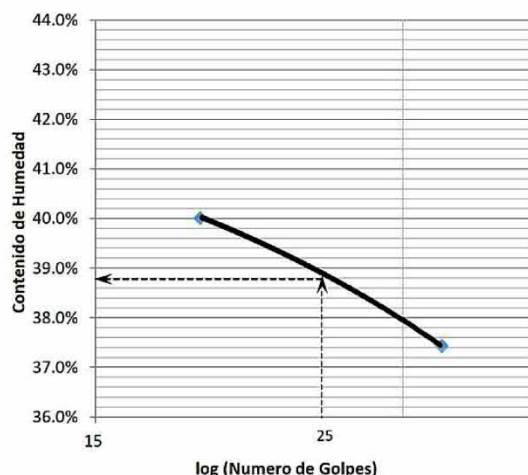
Fecha : DICIEMBRE DEL 2025 Distrito : OCOBAMBA

Muestra : M-01 + DIATOMITA CALCINADA AL 9% Ubicación : SECTOR SARAHUARCAY

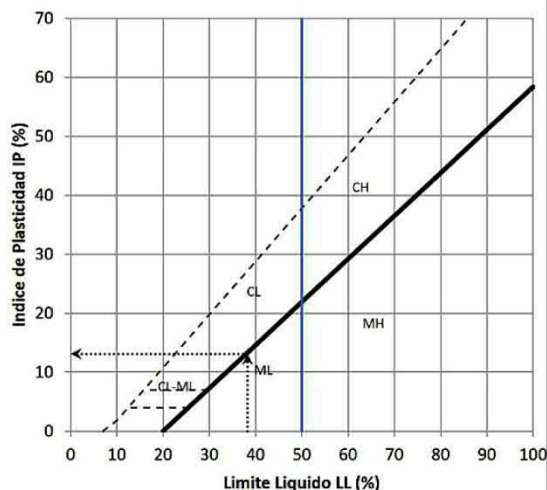
DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD (ASTM D-4318, MTC E 111-2000)						
	RECIPIENTE	Nº	12	28		
1	PESO SUELO HUMEDO+RECIPIENTE	gr	54.03	54.46		
2	PESO SUELO SECO+RECIPIENTE	gr	49.69	49.87		
3	PESO RECIPIENTE	gr	32.15	31.90		
4	PESO AGUA (1)-(2)	gr	4.34	4.59		
5	PESO SECO (2)-(3)	gr	17.54	17.97		
6	HUMEDAD	%	24.76%	25.54%		
LIMITE PLASTICO		%	25.15%			

DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS (ASTM D-4318, MTC E 110-2000)						
	RECIPIENTE	Nº	3	11		
1	PESO SUELO HUMEDO+RECIPIENTE	gr	55.68	53.99		
2	PESO SUELO SECO+RECIPIENTE	gr	49.55	47.85		
3	PESO RECIPIENTE	gr	33.20	32.49		
4	PESO AGUA (1)-(2)	gr	6.13	6.14		
5	PESO SECO (2)-(3)	gr	16.35	15.36		
6	HUMEDAD	%	37.49%	39.93%		
7	NUMERO DE GOLPES	Nº	33.00	19.00		
LIMITE LIQUIDO		%	38.75%			

INDICE PLASTICO (%) IP=LL-LP= 13.60%



CURVA DE FLUIDEZ



CARTA DE PLASTICIDAD

DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.
[Signature]
ING. ARFURIO DELGADO BALDEON
JEFE DE LABORATORIO
RUC: 206649901

ENSAYO DE CONSTANTES FÍSICAS (ASTM D-4318)



Proyecto : "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON Departamento : APURIMAC

Descripción : MATERIAL DE SUBRASANTE Provincia : CHINCHEROS

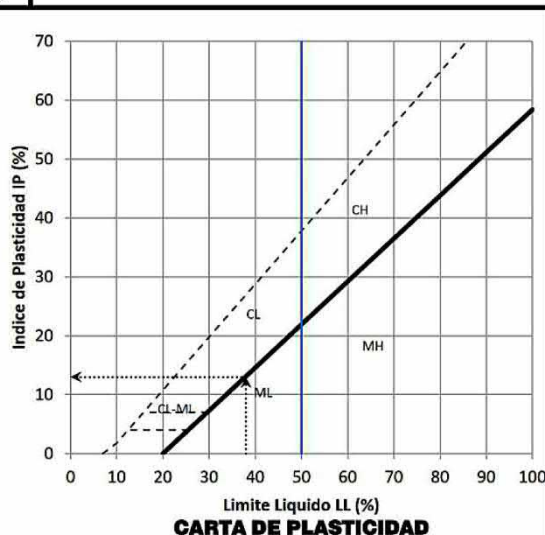
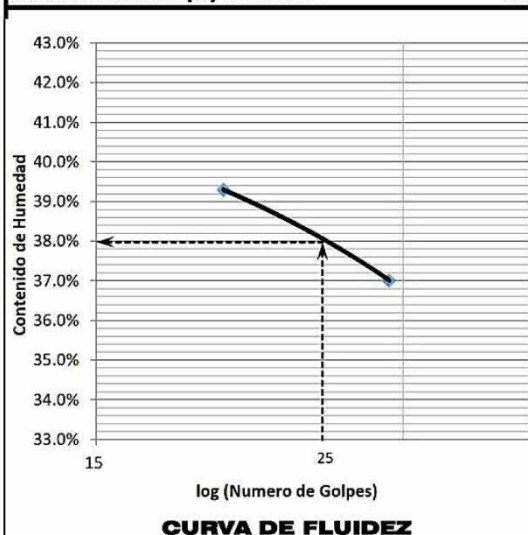
Fecha : DICIEMBRE DEL 2025 Distrito : OCOBAMBA

Muestra : M-02 + DIATOMITA CALCINADA AL 9% Ubicación : SECTOR SARAHUARCAY

DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD (ASTM D-4318, MTC E 111-2000)						
	RECIPIENTE	Nº	19	6		
1	PESO SUELO HUMEDO+RECIPIENTE	gr	53.09	52.52		
2	PESO SUELO SECO+RECIPIENTE	gr	48.98	48.39		
3	PESO RECIPIENTE	gr	32.05	32.02		
4	PESO AGUA (1)-(2)	gr	4.11	4.13		
5	PESO SECO (2)-(3)	gr	16.93	16.37		
6	HUMEDAD	%	24.28%	25.22%		
LIMITE PLASTICO		%	24.75%			

DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS (ASTM D-4318, MTC E 110-2000)						
	RECIPIENTE	Nº	2	14		
1	PESO SUELO HUMEDO+RECIPIENTE	gr	52.68	52.73		
2	PESO SUELO SECO+RECIPIENTE	gr	47.41	46.84		
3	PESO RECIPIENTE	gr	33.26	32.50		
4	PESO AGUA (1)-(2)	gr	5.27	5.89		
5	PESO SECO (2)-(3)	gr	14.15	14.34		
6	HUMEDAD	%	36.97%	39.35%		
7	NUMERO DE GOLPES	Nº	32.00	20.00		
LIMITE LIQUIDO		%	37.98%			

INDICE PLASTICO (%) IP=LL-LP= 13.23%



DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.
Arturo Delgado Baldeon
ING. ARTURO DELGADO BALDEON
JEFE DE LABORATORIO
RUC: 2040430001

ENSAYO DE CONSTANTES FÍSICAS (ASTM D-4318)



Proyecto : "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON Departamento : APURIMAC

Descripción : MATERIAL DE SUBRASANTE Provincia : CHINCHEROS

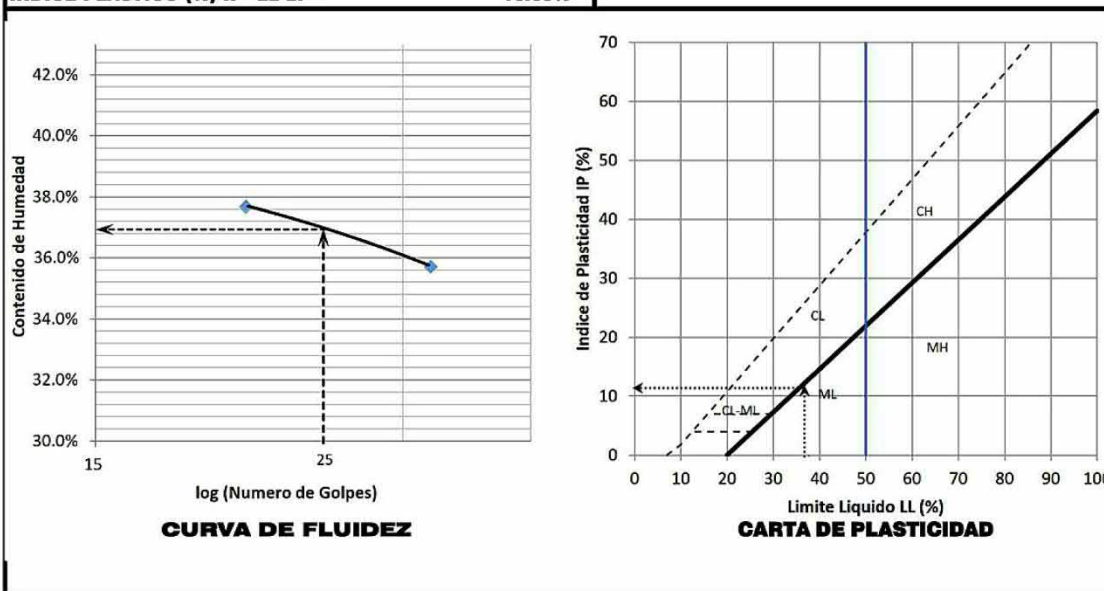
Fecha : DICIEMBRE DEL 2025 Distrito : OCOBAMBA

Muestra : M-03 + DIATOMITA CALCINADA AL 9% Ubicación : SECTOR SARAHUARCAY

DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD (ASTM D-4318, MTC E 111-2000)						
	RECIPIENTE	Nº	12	15		
1	PESO SUELO HUMEDO+RECIPIENTE	gr	53.30	52.65		
2	PESO SUELO SECO+RECIPIENTE	gr	48.97	48.26		
3	PESO RECIPIENTE	gr	32.09	31.81		
4	PESO AGUA (1)-(2)	gr	4.33	4.39		
5	PESO SECO (2)-(3)	gr	16.88	16.45		
6	HUMEDAD	%	25.64%	26.70%		
LIMITE PLASTICO		%	26.17%			

DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS (ASTM D-4318, MTC E 110-2000)						
	RECIPIENTE	Nº	6	10		
1	PESO SUELO HUMEDO+RECIPIENTE	gr	52.23	53.05		
2	PESO SUELO SECO+RECIPIENTE	gr	46.95	47.68		
3	PESO RECIPIENTE	gr	32.19	33.45		
4	PESO AGUA (1)-(2)	gr	5.28	5.37		
5	PESO SECO (2)-(3)	gr	14.76	14.23		
6	HUMEDAD	%	35.79%	37.73%		
7	NUMERO DE GOLPES	Nº	32.00	21.00		
LIMITE LIQUIDO		%	36.82%			

INDICE PLASTICO (%) IP=LL-LP= 10.65%



DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS S.R.L.
ING. ARTURO DELGADO BALDEON
JEFE DE LABORATORIO
RUC: 20494399891

ENSAYO DE CONSTANTES FÍSICAS (ASTM D-4318)



Proyecto : "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON Departamento : APURIMAC

Descripción : MATERIAL DE SUBRASANTE Provincia : CHINCHEROS

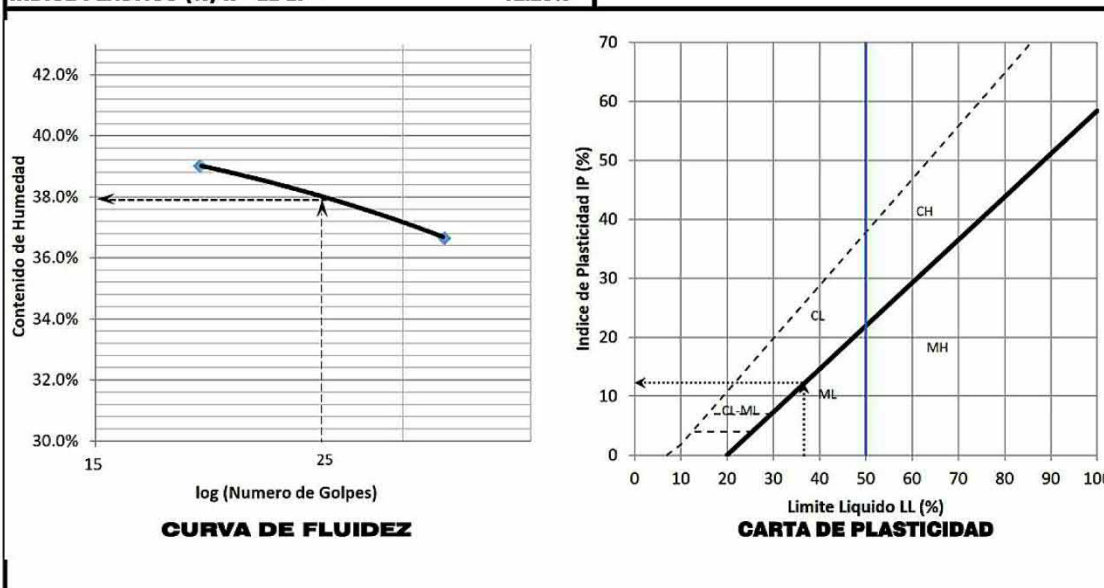
Fecha : DICIEMBRE DEL 2025 Distrito : OCOBAMBA

Muestra : M-01 + DIATOMITA CALCINADA AL 12% Ubicación : SECTOR SARAHUARCAY

DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD (ASTM D-4318, MTC E 111-2000)						
	RECIPIENTE	Nº	2	21		
1	PESO SUELO HUMEDO+RECIPIENTE	gr	55.30	56.00		
2	PESO SUELO SECO+RECIPIENTE	gr	50.77	51.23		
3	PESO RECIPIENTE	gr	32.76	32.90		
4	PESO AGUA (1)-(2)	gr	4.53	4.77		
5	PESO SECO (2)-(3)	gr	18.01	18.33		
6	HUMEDAD	%	25.15%	26.03%		
LIMITE PLASTICO		%	25.59%			

DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS (ASTM D-4318, MTC E 110-2000)						
	RECIPIENTE	Nº	12	30		
1	PESO SUELO HUMEDO+RECIPIENTE	gr	52.33	53.27		
2	PESO SUELO SECO+RECIPIENTE	gr	47.02	47.48		
3	PESO RECIPIENTE	gr	32.51	32.36		
4	PESO AGUA (1)-(2)	gr	5.31	5.79		
5	PESO SECO (2)-(3)	gr	14.51	15.12		
6	HUMEDAD	%	36.61%	38.99%		
7	NUMERO DE GOLPES	Nº	33.00	19.00		
LIMITE LIQUIDO		%	37.85%			

INDICE PLASTICO (%) IP=LL-LP= 12.26%



DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS S.R.L.
ING. ARTURO DELGADO BALDEON
JEFE DE LABORATORIO
RUC: 2044330001

ENSAYO DE CONSTANTES FÍSICAS (ASTM D-4318)



Proyecto : "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON Departamento : APURIMAC

Descripción : MATERIAL DE SUBRASANTE Provincia : CHINCHEROS

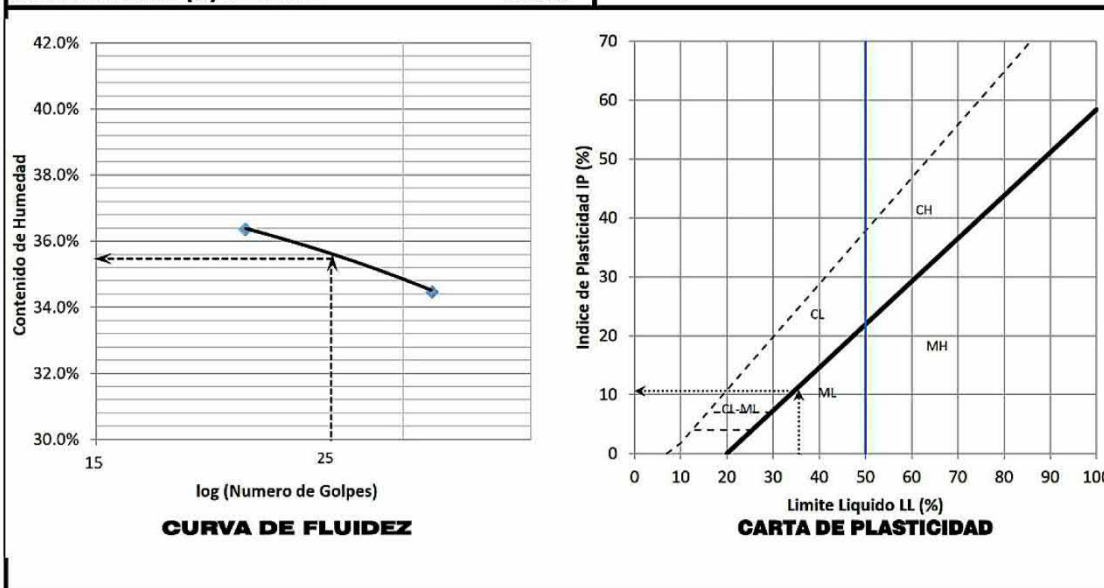
Fecha : DICIEMBRE DEL 2025 Distrito : OCOBAMBA

Muestra : M-03 + DIATOMITA CALCINADA AL 12% Ubicación : SECTOR SARAHUARCAY

DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD (ASTM D-4318, MTC E 111-2000)						
	RECIPIENTE	Nº	10	19		
1	PESO SUELO HUMEDO+RECIPIENTE	gr	53.51	53.37		
2	PESO SUELO SECO+RECIPIENTE	gr	49.52	49.27		
3	PESO RECIPIENTE	gr	33.11	33.10		
4	PESO AGUA (1)-(2)	gr	3.99	4.10		
5	PESO SECO (2)-(3)	gr	16.41	16.17		
6	HUMEDAD	%	24.31%	25.33%		
LIMITE PLASTICO		%	24.82%			

DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS (ASTM D-4318, MTC E 110-2000)						
	RECIPIENTE	Nº	2	20		
1	PESO SUELO HUMEDO+RECIPIENTE	gr	52.50	51.44		
2	PESO SUELO SECO+RECIPIENTE	gr	47.36	46.21		
3	PESO RECIPIENTE	gr	32.62	32.41		
4	PESO AGUA (1)-(2)	gr	5.07	5.02		
5	PESO SECO (2)-(3)	gr	14.74	13.80		
6	HUMEDAD	%	34.44%	36.43%		
7	NUMERO DE GOLPES	Nº	32.00	21.00		
LIMITE LIQUIDO		%	35.48%			

INDICE PLASTICO (%) IP=LL-LP= 10.66%



DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.
Arturo Delgado Baldeón
ING. ARTURO DELGADO BALDEÓN
JEFE DE LABORATORIO
RUC: 20434370001



Proctor Modificado — Calicata C-02 con adición de diatomita calcinada



RELACION DENSIDAD - HUMEDAD (PROCTOR MODIFICADO) ASTM D-1557

Proyecto

: "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON

Departamento : APURIMAC

Descripción : MATERIAL DE SUBRASANTE

Provincia : CHINCHEROS

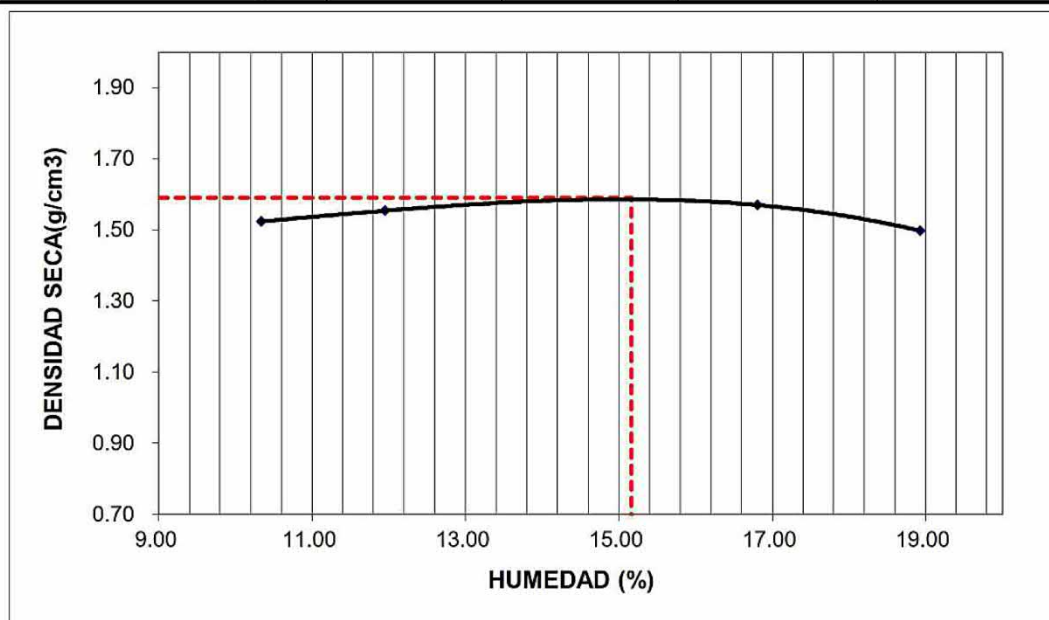
Muestra : M - 01 - PATRON

Distrito : OCOBAMBA

Fecha : DICIEMBRE DEL 2025

Ubicación : SECTOR SARAHUARCAY

PESO MOLDE + SUELO HÚMEDO	gr.	5,539.92	5,596.56	5,681.52	5,634.32
PESO MOLDE	gr.	3,954.00	3,954.00	3,954.00	3,954.00
PESO SUELO HÚMEDO	gr.	1,585.92	1,642.56	1,727.52	1,680.32
N° TARRO		16	19	14	25
PESO TARRO + SUELO HÚMEDO	gr.	88.06	79.29	82.81	78.63
PESO TARRO + SUELO SECO	gr.	83.00	74.25	75.85	71.52
PESO DE AGUA	gr.	5.06	5.04	6.96	7.11
PESO DE TARRO	gr.	34.04	32.07	34.43	33.95
PESO SUELO SECO	gr.	48.96	42.18	41.42	37.57
% DE HUMEDAD	%	10.33	11.95	16.80	18.92
DENSIDAD SUELO HÚMEDO	gr./cm ³ .	1.68	1.74	1.83	1.78
DENSIDAD SECA	gr./cm ³ .	1.52	1.55	1.57	1.50



MÉTODO DE COMPACTACIÓN	"A"
NUMERO DE CAPAS	5
NUMERO DE GOLPES	25
MÁX. DENSIDAD SECA gr./cm ³	1.590
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD %	15.16

DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.
Arturo Delgado Baldeon
ING. ARTURO DELGADO BALDEON
JEFE DE LABORATORIO
RUC: 2044400001



RELACION DENSIDAD - HUMEDAD (PROCTOR MODIFICADO) ASTM D-1557

Proyecto

: "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON

Departamento : APURIMAC

Descripción : MATERIAL DE SUBRASANTE

Provincia : CHINCHEROS

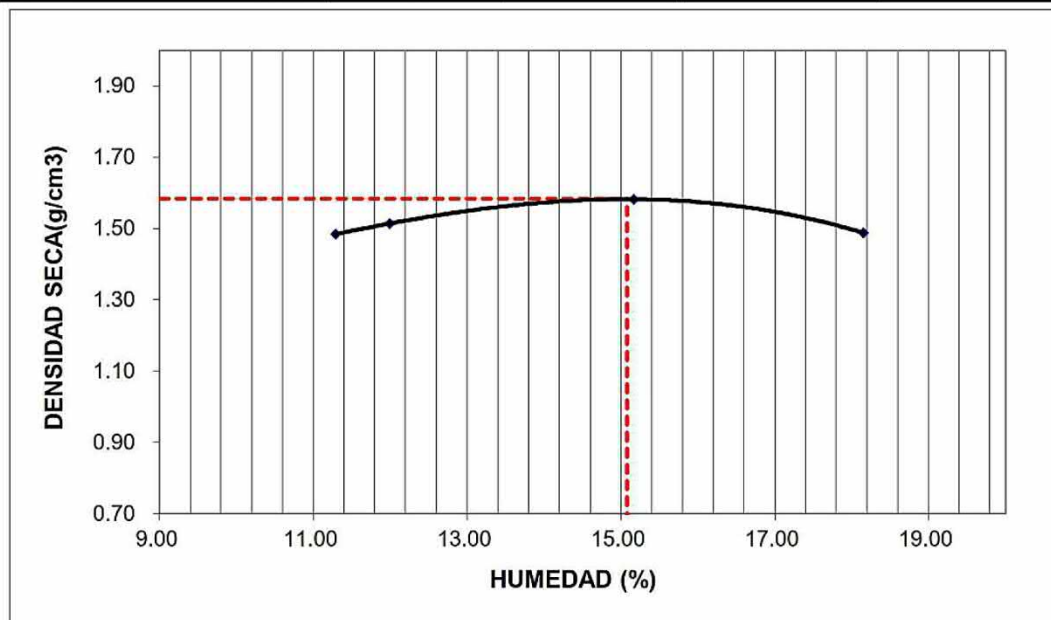
Muestra : M - 02 - PATRON

Distrito : OCOBAMBA

Fecha : DICIEMBRE DEL 2025

Ubicación : SECTOR SARAHUARCAY

PESO MOLDE + SUELO HÚMEDO	gr.	5,511.60	5,558.80	5,672.08	5,615.44
PESO MOLDE	gr.	3,954.00	3,954.00	3,954.00	3,954.00
PESO SUELO HÚMEDO	gr.	1,557.60	1,604.80	1,718.08	1,661.44
N° TARRO		10	14	21	16
PESO TARRO + SUELO HÚMEDO	gr.	91.32	81.32	81.21	80.32
PESO TARRO + SUELO SECO	gr.	85.52	76.05	75.02	73.12
PESO DE AGUA	gr.	5.80	5.27	6.19	7.20
PESO DE TARRO	gr.	34.15	32.10	34.20	33.45
PESO SUELO SECO	gr.	51.37	43.95	40.82	39.67
% DE HUMEDAD	%	11.29	11.99	15.16	18.15
DENSIDAD SUELO HÚMEDO	gr./cm ³	1.65	1.70	1.82	1.76
DENSIDAD SECA	gr./cm ³	1.48	1.51	1.58	1.49



MÉTODO DE COMPACTACIÓN	" A "
NÚMERO DE CAPAS	5
NÚMERO DE GOLPES	25
MÁX. DENSIDAD SECA gr./cm³	1.584
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD %	15.08

DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.
[Signature]
ING. ARTURO DELGADO BALDEON
JEFE DE LABORATORIO
RUC: 204433201



RELACION DENSIDAD - HUMEDAD (PROCTOR MODIFICADO) ASTM D-1557

Proyecto

: "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON

Departamento : APURIMAC

Descripción : MATERIAL DE SUBRASANTE

Provincia : CHINCHEROS

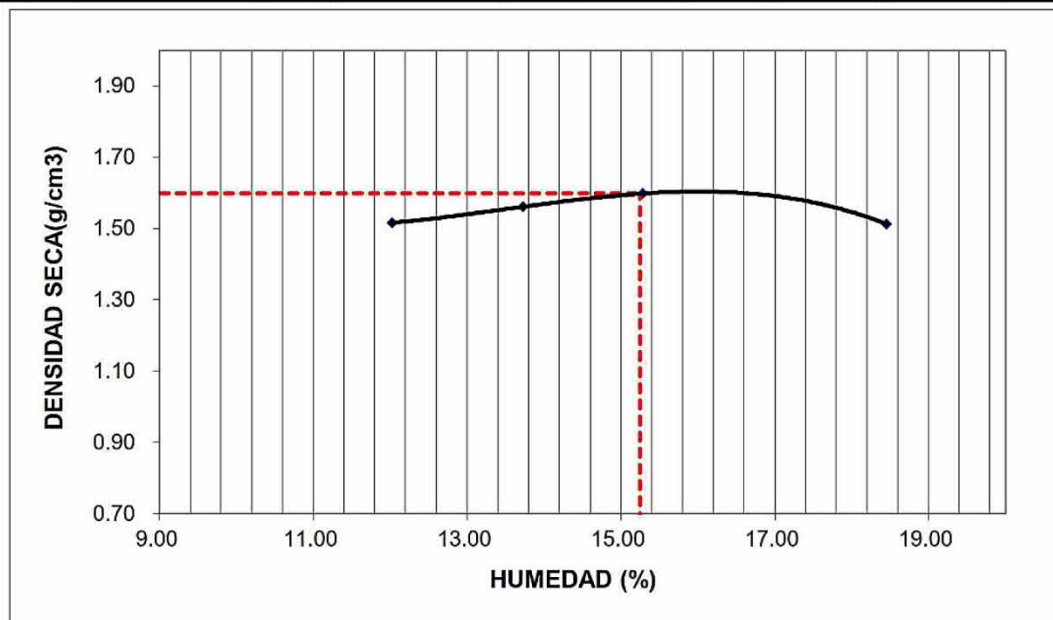
Muestra : M - 03 - PATRON

Distrito : OCOBAMBA

Fecha : DICIEMBRE DEL 2025

Ubicación : SECTOR SARAHUARCAY

PESO MOLDE + SUELO HÚMEDO	gr.	5,558.80	5,634.32	5,690.96	5,643.76
PESO MOLDE	gr.	3,954.00	3,954.00	3,954.00	3,954.00
PESO SUELO HÚMEDO	gr.	1,604.80	1,680.32	1,736.96	1,689.76
N° TARRO		21	10	5	11
PESO TARRO + SUELO HÚMEDO	gr.	92.32	81.32	84.52	80.21
PESO TARRO + SUELO SECO	gr.	86.01	75.52	77.75	73.02
PESO DE AGUA	gr.	6.31	5.80	6.77	7.19
PESO DE TARRO	gr.	33.52	33.26	33.45	34.05
PESO SUELO SECO	gr.	52.49	42.26	44.30	38.97
% DE HUMEDAD	%	12.02	13.72	15.28	18.45
DENSIDAD SUELO HÚMEDO	gr./cm ³	1.70	1.78	1.84	1.79
DENSIDAD SECA	gr./cm ³	1.52	1.56	1.595	1.51



MÉTODO DE COMPACTACIÓN	" A "
NÚMERO DE CAPAS	5
NÚMERO DE GOLPES	25
MÁX. DENSIDAD SECA gr./cm ³	1.598
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD %	15.25

DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.
[Signature]
ING. ARTURO DELGADO BALDEON
JEFE DE LABORATORIO
RUC: 26454399257



RELACION DENSIDAD - HUMEDAD (PROCTOR MODIFICADO) ASTM D-1557

Proyecto

: "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON

Departamento : APURIMAC

Descripción : MATERIAL DE SUBRASANTE

Provincia : CHINCHEROS

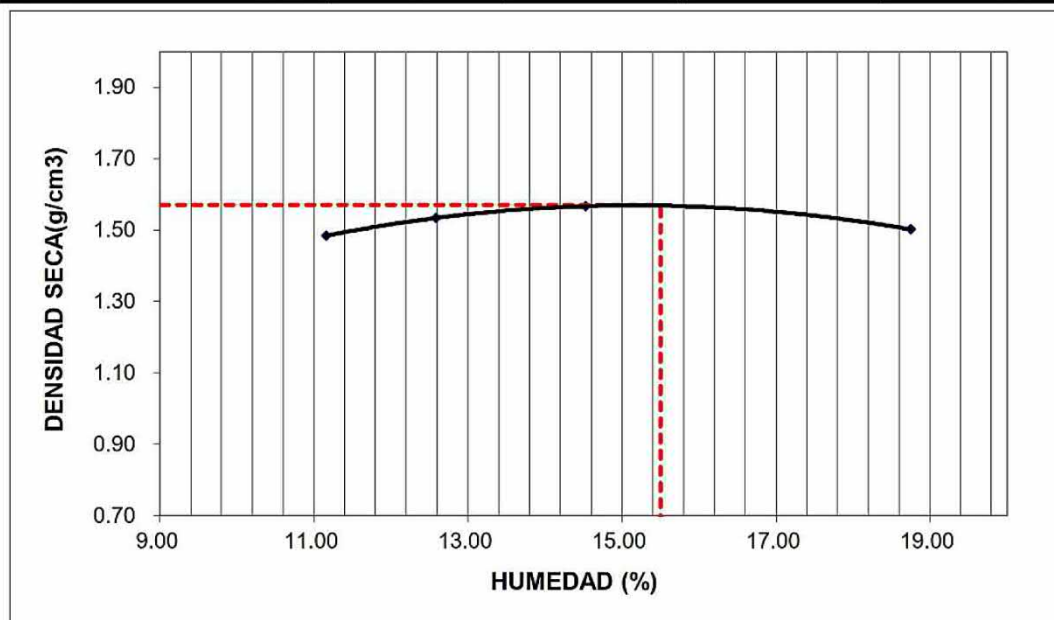
Muestra : M-01 + DIATOMITA CALCINADA AL 3%

Distrito : OCOBAMBA

Fecha : DICIEMBRE DEL 2025

Ubicación : SECTOR SARAHUARCAY

PESO MOLDE + SUELO HÚMEDO	gr.	5,511.60	5,587.12	5,653.20	5,634.32
PESO MOLDE	gr.	3,954.00	3,954.00	3,954.00	3,954.00
PESO SUELO HÚMEDO	gr.	1,557.60	1,633.12	1,699.20	1,680.32
Nº TARRO		20	14	8	5
PESO TARRO + SUELO HÚMEDO	gr.	95.23	83.62	86.36	88.54
PESO TARRO + SUELO SECO	gr.	89.01	78.02	79.65	79.85
PESO DE AGUA	gr.	6.22	5.60	6.71	8.69
PESO DE TARRO	gr.	33.26	33.52	33.45	33.50
PESO SUELO SECO	gr.	55.75	44.50	46.20	46.35
% DE HUMEDAD	%	11.16	12.58	14.52	18.75
DENSIDAD SUELO HÚMEDO	gr./cm ³	1.65	1.73	1.80	1.78
DENSIDAD SECA	gr./cm ³	1.48	1.53	1.57	1.50



MÉTODO DE COMPACTACIÓN	" A "
NUMERO DE CAPAS	5
NUMERO DE GOLPES	25
MÁX. DENSIDAD SECA gr./cm ³	1.570
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD %	15.50

DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.
Arturo Delgado Baldeon
ING. ARTURO DELGADO BALDEON
JEFE DE LABORATORIO
RUC: 2045431913



RELACION DENSIDAD - HUMEDAD (PROCTOR MODIFICADO) ASTM D-1557

Proyecto

: "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON

Departamento : APURIMAC

Descripción : MATERIAL DE SUBRASANTE

Provincia : CHINCHEROS

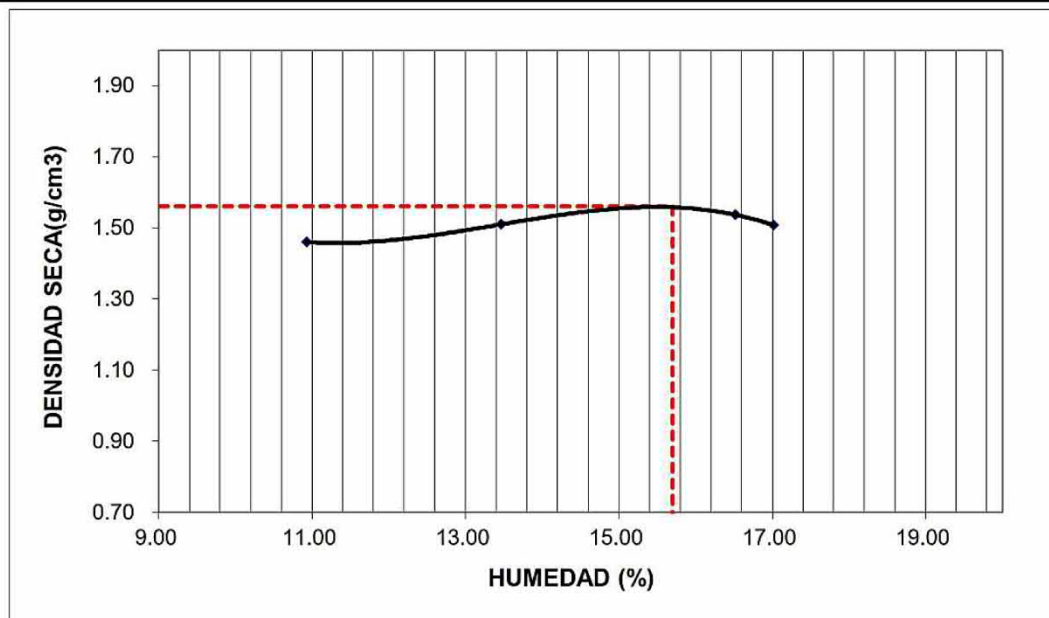
Muestra : M-02 + DIATOMITA CALCINADA AL 3%

Distrito : OCOBAMBA

Fecha : DICIEMBRE DEL 2025

Ubicación : SECTOR SARAHUARCAY

PESO MOLDE + SUELO HÚMEDO	gr.	5,583.28	5,568.24	5,643.76	5,615.44
PESO MOLDE	gr.	3,954.00	3,954.00	3,954.00	3,954.00
PESO SUELO HÚMEDO	gr.	1,529.28	1,614.24	1,689.76	1,661.44
N° TARRO		10	25	2	16
PESO TARRO + SUELO HÚMEDO	gr.	92.32	95.65	98.54	85.54
PESO TARRO + SUELO SECO	gr.	86.52	88.21	89.32	78.01
PESO DE AGUA	gr.	5.80	7.44	9.22	7.53
PESO DE TARRO	gr.	33.45	32.95	33.50	33.75
PESO SUELO SECO	gr.	53.07	55.26	55.82	44.26
% DE HUMEDAD	%	10.93	13.46	16.52	17.01
DENSIDAD SUELO HÚMEDO	gr./cm ³	1.62	1.71	1.79	1.76
DENSIDAD SECA	gr./cm ³	1.46	1.51	1.54	1.51



MÉTODO DE COMPACTACIÓN	" A "
NUMERO DE CAPAS	5
NUMERO DE GOLPES	25
MÁX. DENSIDAD SECA gr./cm ³	1.560
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD %	15.70

DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.
Arturo Delgado Baldeón
ING. ARTURO DELGADO BALDEÓN
JEFE DE LABORATORIO
RUC: 20494399091



RELACION DENSIDAD - HUMEDAD (PROCTOR MODIFICADO) ASTM D-1557

Proyecto

: "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON

Departamento : APURIMAC

Descripción : MATERIAL DE SUBRASANTE

Provincia : CHINCHEROS

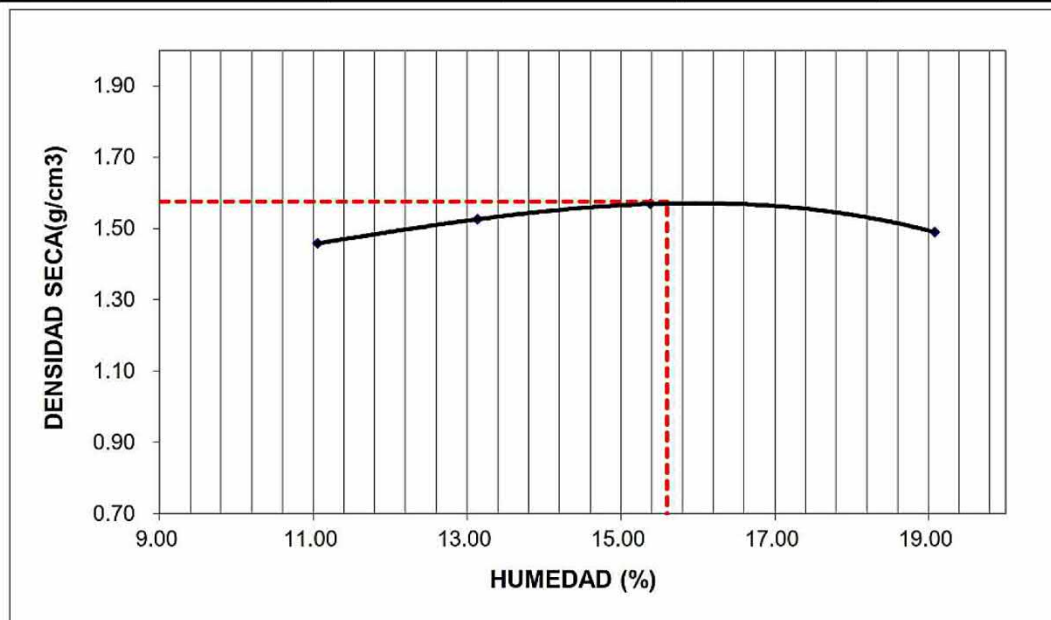
Muestra : M-03 + DIATOMITA CALCINADA AL 3%

Distrito : OCOBAMBA

Fecha : DICIEMBRE DEL 2025

Ubicación : SECTOR SARAHUARCAY

PESO MOLDE + SUELO HÚMEDO	gr.	5,483.28	5,587.12	5,662.64	5,624.88
PESO MOLDE	gr.	3,954.00	3,954.00	3,954.00	3,954.00
PESO SUELO HÚMEDO	gr.	1,529.28	1,633.12	1,708.64	1,670.88
N° TARRO		23	20	18	10
PESO TARRO + SUELO HÚMEDO	gr.	93.32	102.32	101.32	94.65
PESO TARRO + SUELO SECO	gr.	87.15	94.10	92.10	84.63
PESO DE AGUA	gr.	6.17	8.22	9.22	10.02
PESO DE TARRO	gr.	31.32	31.52	32.15	32.11
PESO SUELO SECO	gr.	55.83	62.58	59.95	52.52
% DE HUMEDAD	%	11.05	13.14	15.38	19.08
DENSIDAD SUELO HÚMEDO	gr./cm ³ .	1.62	1.73	1.81	1.77
DENSIDAD SECA	gr./cm ³ .	1.46	1.53	1.57	1.49



MÉTODO DE COMPACTACIÓN	" A "
NÚMERO DE CAPAS	5
NÚMERO DE GOLPES	25
MÁX. DENSIDAD SECA gr./cm ³	1.575
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD %	15.60

DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.
Ing. Arturo Delgado Baldeón
ING. ARTURO DELGADO BALDEÓN
JEFE DE LABORATORIO
TEL: 966916606



RELACION DENSIDAD - HUMEDAD (PROCTOR MODIFICADO) ASTM D-1557

Proyecto

: "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON

Departamento : APURIMAC

Descripción : MATERIAL DE SUBRASANTE

Provincia : CHINCHEROS

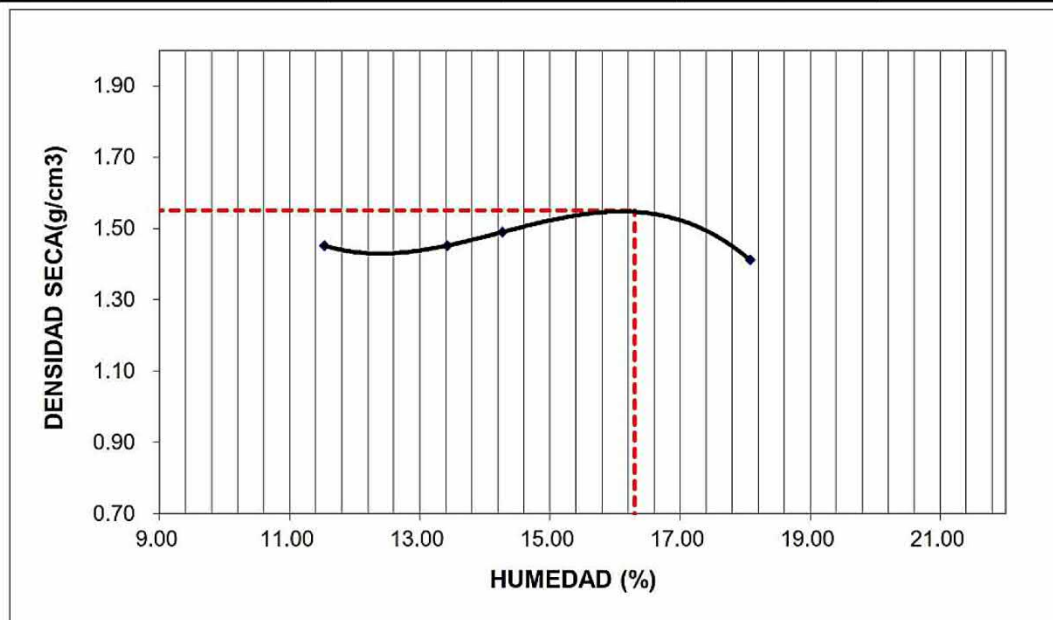
Muestra : M-01 + DIATOMITA CALCINADA AL 6%

Distrito : OCOBAMBA

Fecha : DICIEMBRE DEL 2025

Ubicación : SECTOR SARAHUARCAY

PESO MOLDE + SUELO HÚMEDO	gr.	5,483.28	5,511.60	5,558.80	5,530.48
PESO MOLDE	gr.	3,954.00	3,954.00	3,954.00	3,954.00
PESO SUELO HÚMEDO	gr.	1,529.28	1,557.60	1,604.80	1,576.48
N° TARRO		5	17	32	20
PESO TARRO + SUELO HÚMEDO	gr.	102.32	95.65	104.21	87.00
PESO TARRO + SUELO SECO	gr.	95.18	88.15	95.38	78.65
PESO DE AGUA	gr.	7.14	7.50	8.83	8.35
PESO DE TARRO	gr.	33.25	32.25	33.50	32.45
PESO SUELO SECO	gr.	61.93	55.90	61.88	46.20
% DE HUMEDAD	%	11.53	13.42	14.27	18.07
DENSIDAD SUELO HÚMEDO	gr./cm ³ .	1.62	1.65	1.70	1.67
DENSIDAD SECA	gr./cm ³ .	1.45	1.45	1.49	1.41



MÉTODO DE COMPACTACIÓN	" A "
NÚMERO DE CAPAS	5
NÚMERO DE GOLPES	25
MÁX. DENSIDAD SECA gr./cm ³	1.550
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD %	16.30

DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.
Arturo Delgado Baldeon
ING. ARTURO DELGADO BALDEON
JEFE DE LABORATORIO
RUC: 20454339291



RELACION DENSIDAD - HUMEDAD (PROCTOR MODIFICADO) ASTM D-1557

Proyecto

: "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON

Departamento : APURIMAC

Descripción : MATERIAL DE SUBRASANTE

Provincia : CHINCHEROS

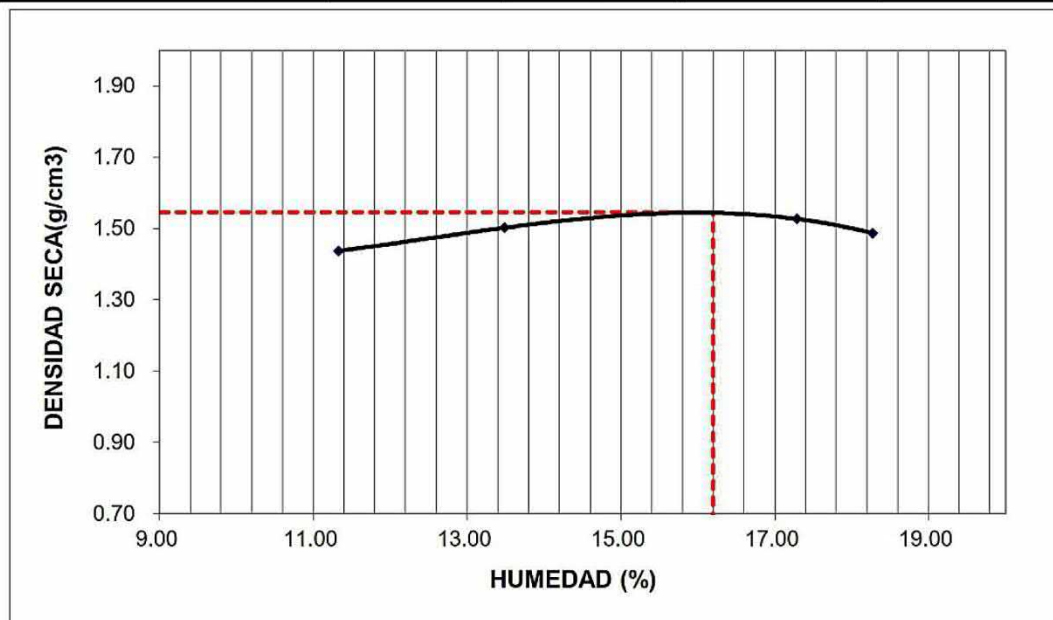
Muestra : M-02 + DIATOMITA CALCINADA AL 6%

Distrito : OCOBAMBA

Fecha : DICIEMBRE DEL 2025

Ubicación : SECTOR SARAHUARCAY

PESO MOLDE + SUELO HÚMEDO	gr.	5,464.40	5,568.24	5,643.76	5,615.44
PESO MOLDE	gr.	3,954.00	3,954.00	3,954.00	3,954.00
PESO SUELO HÚMEDO	gr.	1,510.40	1,614.24	1,689.76	1,661.44
N° TARRO		2	15	20	8
PESO TARRO + SUELO HÚMEDO	gr.	101.32	106.32	92.15	87.54
PESO TARRO + SUELO SECO	gr.	94.32	97.52	83.45	79.03
PESO DE AGUA	gr.	7.00	8.80	8.70	8.51
PESO DE TARRO	gr.	32.52	32.25	33.12	32.45
PESO SUELO SECO	gr.	61.80	65.27	50.33	46.58
% DE HUMEDAD	%	11.33	13.48	17.29	18.27
DENSIDAD SUELO HÚMEDO	gr./cm ³	1.60	1.71	1.79	1.76
DENSIDAD SECA	gr./cm ³	1.44	1.50	1.53	1.49



MÉTODO DE COMPACTACIÓN	"A"
NÚMERO DE CAPAS	5
NÚMERO DE GOLPES	25
MÁX. DENSIDAD SECA gr./cm ³	1.545
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD %	16.20

DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.
[Signature]
ING. ARTURO DELGADO BALDEON
JEFE DE LABORATORIO
RUC: 2043430091



RELACION DENSIDAD - HUMEDAD (PROCTOR MODIFICADO) ASTM D-1557

Proyecto

: "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON

Departamento : APURIMAC

Descripción : MATERIAL DE SUBRASANTE

Provincia : CHINCHEROS

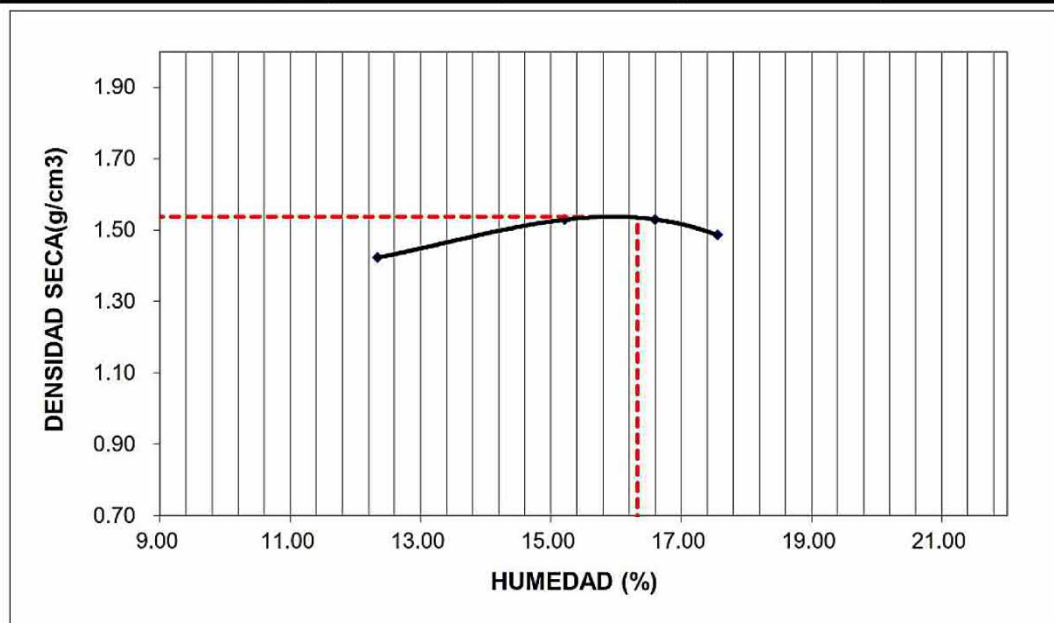
Muestra : M-03 + DIATOMITA CALCINADA AL 6%

Distrito : OCOBAMBA

Fecha : DICIEMBRE DEL 2025

Ubicación : SECTOR SARAHUARCAY

PESO MOLDE + SUELO HÚMEDO	gr.	5,464.40	5,615.44	5,634.32	5,606.00
PESO MOLDE	gr.	3,954.00	3,954.00	3,954.00	3,954.00
PESO SUELO HÚMEDO	gr.	1,510.40	1,661.44	1,680.32	1,652.00
Nº TARRO		5	3	2	10
PESO TARRO + SUELO HÚMEDO	gr.	92.32	81.24	85.65	91.21
PESO TARRO + SUELO SECO	gr.	85.92	74.75	78.36	82.66
PESO DE AGUA	gr.	6.40	6.49	7.29	8.55
PESO DE TARRO	gr.	34.04	32.07	34.43	33.95
PESO SUELO SECO	gr.	51.88	42.68	43.93	48.71
% DE HUMEDAD	%	12.34	15.21	16.59	17.55
DENSIDAD SUELO HÚMEDO	gr./cm ³	1.60	1.76	1.78	1.75
DENSIDAD SECA	gr./cm ³	1.42	1.53	1.53	1.49



MÉTODO DE COMPACTACIÓN	" A "
NUMERO DE CAPAS	5
NUMERO DE GOLPES	25
MÁX. DENSIDAD SECA gr./cm ³	1.538
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD %	16.33

DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.
[Signature]
ING. ARTURO DELGADO BALDEON
JEFE DE LABORATORIO
RUC: 20454379231



RELACION DENSIDAD - HUMEDAD (PROCTOR MODIFICADO) ASTM D-1557

Proyecto

: "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON

Departamento : APURIMAC

Descripción : MATERIAL DE SUBRASANTE

Provincia : CHINCHEROS

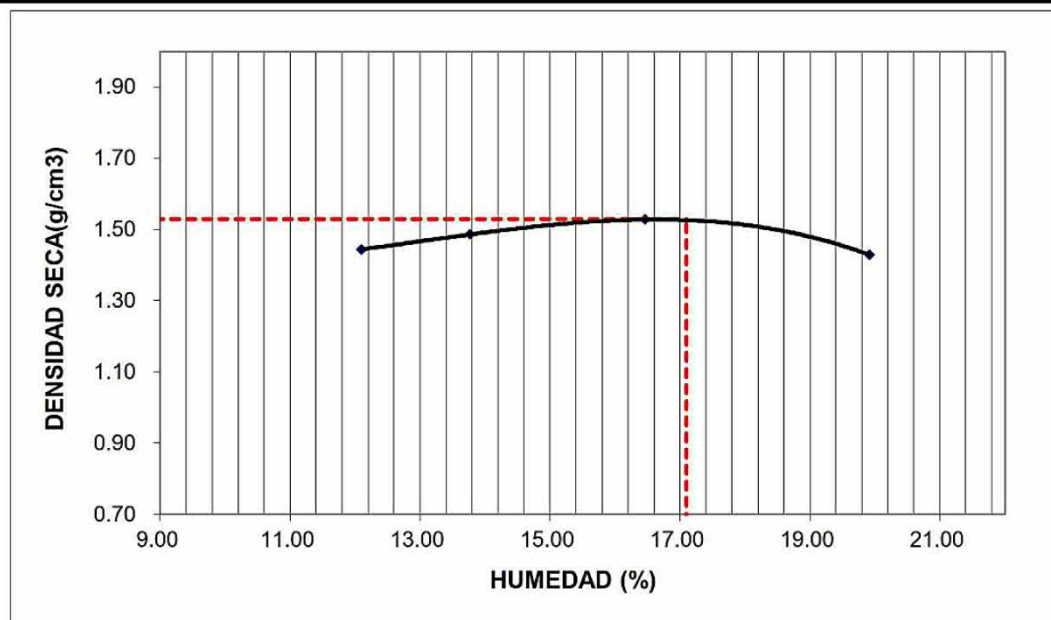
Muestra : M-01 + DIATOMITA CALCINADA AL 9%

Distrito : OCOBAMBA

Fecha : DICIEMBRE DEL 2025

Ubicación : SECTOR SARAHUARCAY

PESO MOLDE + SUELO HÚMEDO	gr.	5,483.28	5,549.36	5,634.32	5,568.24
PESO MOLDE	gr.	3,954.00	3,954.00	3,954.00	3,954.00
PESO SUELO HÚMEDO	gr.	1,529.28	1,595.36	1,680.32	1,614.24
N° TARRO		21	14	5	10
PESO TARRO + SUELO HÚMEDO	gr.	90.36	84.15	86.48	91.41
PESO TARRO + SUELO SECO	gr.	84.12	77.89	79.01	81.85
PESO DE AGUA	gr.	6.24	6.26	7.47	9.56
PESO DE TARRO	gr.	32.52	32.42	33.62	33.84
PESO SUELO SECO	gr.	51.60	45.47	45.39	48.01
% DE HUMEDAD	%	12.09	13.77	16.46	19.91
DENSIDAD SUELO HÚMEDO	gr./cm ³	1.62	1.69	1.78	1.71
DENSIDAD SECA	gr./cm ³	1.44	1.49	1.53	1.43



MÉTODO DE COMPACTACIÓN	"A"
NUMERO DE CAPAS	5
NUMERO DE GOLPES	25
MÁX. DENSIDAD SECA gr./cm ³	1.530
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD %	17.10

DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.
Arturo Delgado Baldeon
ING. ARTURO DELGADO BALDEON
JEFE DE LABORATORIO
RUC: 20494399691



RELACION DENSIDAD - HUMEDAD (PROCTOR MODIFICADO) ASTM D-1557

Proyecto

: "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON

Departamento : APURIMAC

Descripción : MATERIAL DE SUBRASANTE

Provincia : CHINCHEROS

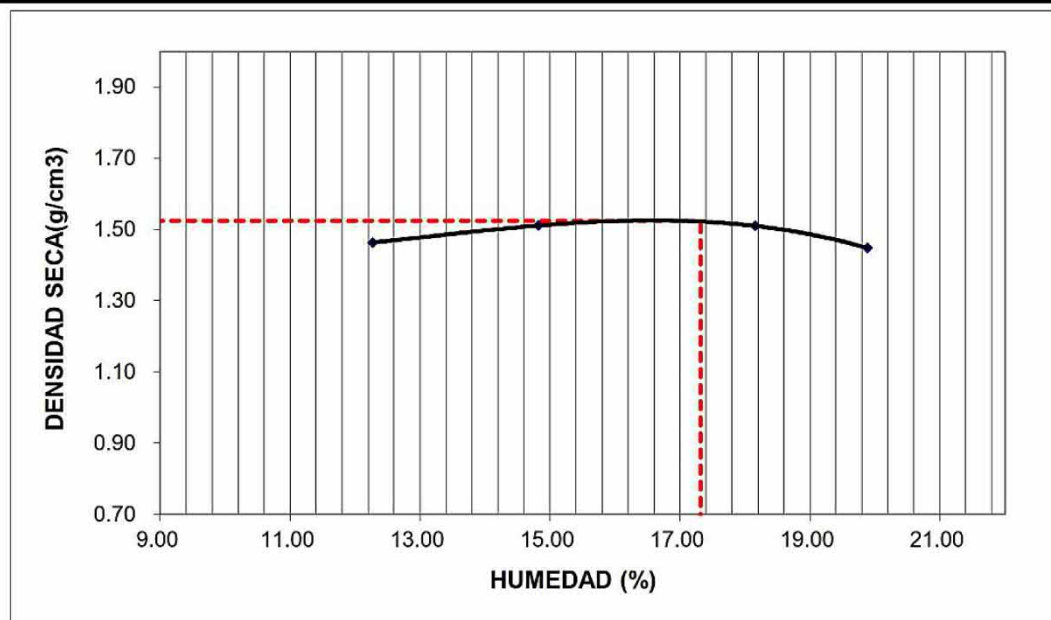
Muestra : M-02 + DIATOMITA CALCINADA AL 9%

Distrito : OCOBAMBA

Fecha : DICIEMBRE DEL 2025

Ubicación : SECTOR SARAHUARCAY

PESO MOLDE + SUELO HÚMEDO	gr.	5,502.16	5,596.56	5,634.32	5,596.56
PESO MOLDE	gr.	3,954.00	3,954.00	3,954.00	3,954.00
PESO SUELO HÚMEDO	gr.	1,548.16	1,642.56	1,680.32	1,642.56
N° TARRO		5	16	21	2
PESO TARRO + SUELO HÚMEDO	gr.	90.23	82.51	92.15	81.44
PESO TARRO + SUELO SECO	gr.	84.00	76.01	83.16	73.32
PESO DE AGUA	gr.	6.23	6.50	8.99	8.12
PESO DE TARRO	gr.	33.22	32.15	33.65	32.48
PESO SUELO SECO	gr.	50.78	43.86	49.51	40.84
% DE HUMEDAD	%	12.27	14.82	18.16	19.88
DENSIDAD SUELO HÚMEDO	gr./cm ³	1.64	1.74	1.78	1.74
DENSIDAD SECA	gr./cm ³	1.46	1.51	1.51	1.45



MÉTODO DE COMPACTACIÓN	"A"
NUMERO DE CAPAS	5
NUMERO DE GOLPES	25
MÁX. DENSIDAD SECA gr./cm³	1.525
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD %	17.32

DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS S.R.L.
Arturo Delgado Baldeón
ING. ARTURO DELGADO BALDEÓN
JEFE DE LABORATORIO
RUC: 20743399071



RELACION DENSIDAD - HUMEDAD (PROCTOR MODIFICADO) ASTM D-1557

Proyecto

: "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON

Departamento : APURIMAC

Descripción : MATERIAL DE SUBRASANTE

Provincia : CHINCHEROS

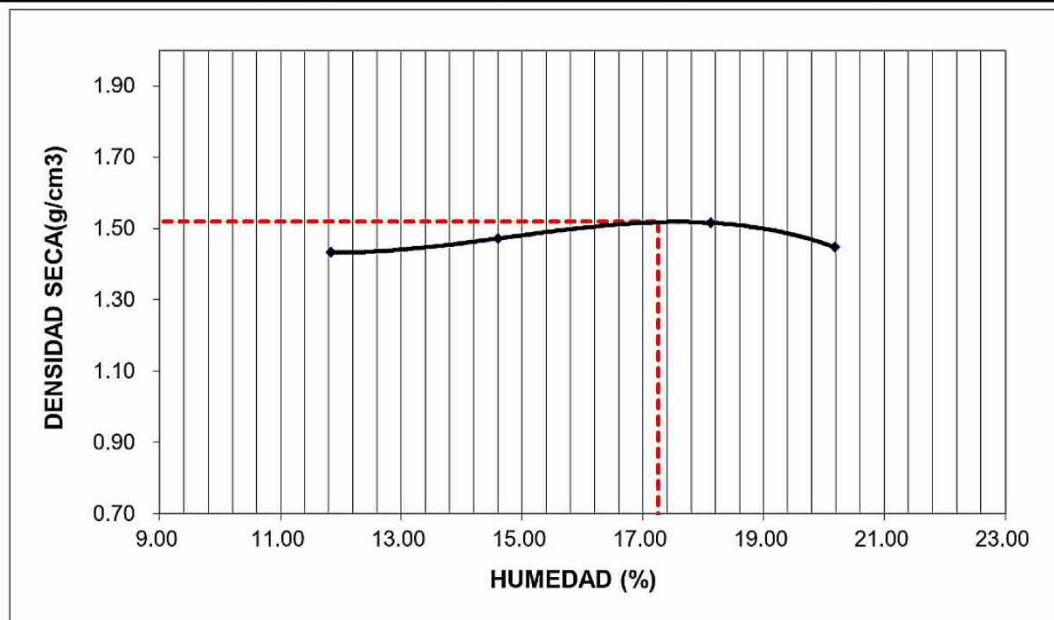
Muestra : M-03 + DIATOMITA CALCINADA AL 9%

Distrito : OCOBAMBA

Fecha : DICIEMBRE DEL 2025

Ubicación : SECTOR SARAHUARCAY

PESO MOLDE + SUELO HÚMEDO	gr.	5,464.40	5,549.36	5,643.76	5,596.56
PESO MOLDE	gr.	3,954.00	3,954.00	3,954.00	3,954.00
PESO SUELO HÚMEDO	gr.	1,510.40	1,595.36	1,689.76	1,642.56
N° TARRO		8	14	20	2
PESO TARRO + SUELO HÚMEDO	gr.	92.32	83.62	85.54	84.15
PESO TARRO + SUELO SECO	gr.	86.10	77.10	77.58	75.65
PESO DE AGUA	gr.	6.22	6.52	7.96	8.50
PESO DE TARRO	gr.	33.52	32.45	33.65	33.52
PESO SUELO SECO	gr.	52.58	44.65	43.93	42.13
% DE HUMEDAD	%	11.83	14.60	18.12	20.18
DENSIDAD SUELO HÚMEDO	gr./cm ³	1.60	1.69	1.79	1.74
DENSIDAD SECA	gr./cm ³	1.43	1.47	1.52	1.45



MÉTODO DE COMPACTACIÓN	" A "
NÚMERO DE CAPAS	5
NÚMERO DE GOLPES	25
MÁX. DENSIDAD SECA gr./cm ³	1.520
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD %	17.25

DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.
Arturo Delgado Baldeón
ING. ARTURO DELGADO BALDEÓN
JEFE DE LABORATORIO
19/12/2025



RELACION DENSIDAD - HUMEDAD (PROCTOR MODIFICADO) ASTM D-1557

Proyecto

: "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON

Departamento : APURIMAC

Descripción : MATERIAL DE SUBRASANTE

Provincia : CHINCHEROS

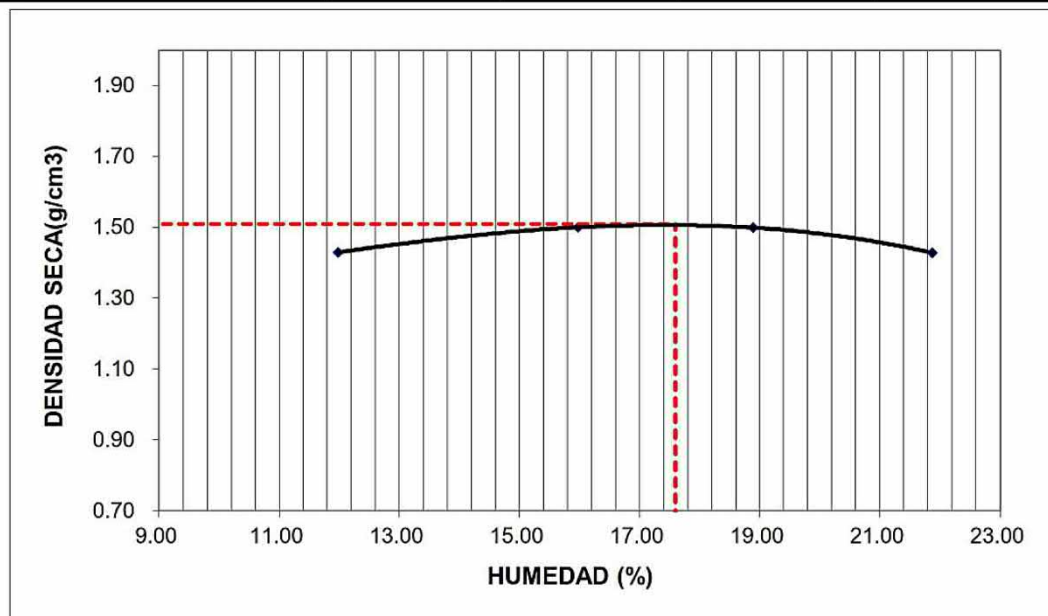
Muestra : M-01 + DIATOMITA CALCINADA AL 12%

Distrito : OCOBAMBA

Fecha : DICIEMBRE DEL 2025

Ubicación : SECTOR SARAHUARCAY

PESO MOLDE + SUELO HÚMEDO	gr.	5,464.40	5,596.56	5,634.32	5,596.56
PESO MOLDE	gr.	3,954.00	3,954.00	3,954.00	3,954.00
PESO SUELO HÚMEDO	gr.	1,510.40	1,642.56	1,680.32	1,642.56
N° TARRO		5	14	21	8
PESO TARRO + SUELO HÚMEDO	gr.	93.65	85.45	104.21	102.32
PESO TARRO + SUELO SECO	gr.	87.11	78.11	92.98	89.99
PESO DE AGUA	gr.	6.54	7.34	11.23	12.33
PESO DE TARRO	gr.	32.52	32.15	33.52	33.60
PESO SUELO SECO	gr.	54.59	45.96	59.46	56.39
% DE HUMEDAD	%	11.98	15.97	18.89	21.87
DENSIDAD SUELO HÚMEDO	gr./cm ³ .	1.60	1.74	1.78	1.74
DENSIDAD SECA	gr./cm ³ .	1.43	1.50	1.50	1.43



MÉTODO DE COMPACTACIÓN	"A"
NUMERO DE CAPAS	5
NUMERO DE GOLPES	25
MÁX. DENSIDAD SECA gr./cm ³	1.510
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD %	17.60

DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.

ING. ARTURO DELGADO BALDEON
JEFE DE LABORATORIO
TEL: 966916606



RELACION DENSIDAD - HUMEDAD (PROCTOR MODIFICADO) ASTM D-1557

Proyecto

: "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON

Departamento : APURIMAC

Descripción : MATERIAL DE SUBRASANTE

Provincia : CHINCHEROS

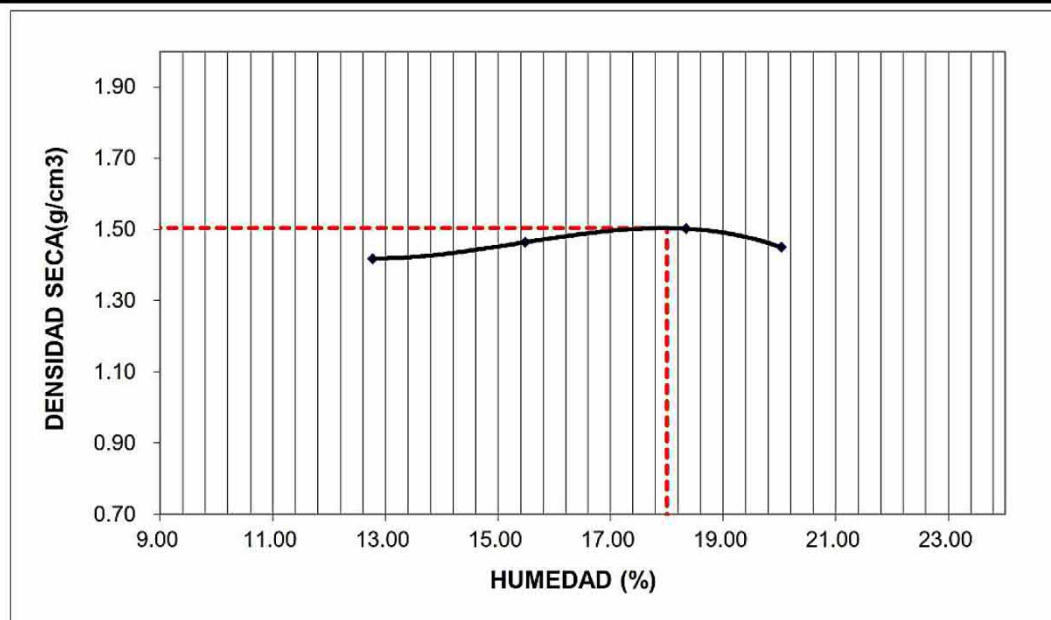
Muestra : M-02 + DIATOMITA CALCINADA AL 12%

Distrito : OCOBAMBA

Fecha : DICIEMBRE DEL 2025

Ubicación : SECTOR SARAHUARCAY

PESO MOLDE + SUELO HÚMEDO	gr.	5,464.40	5,549.36	5,634.32	5,596.56
PESO MOLDE	gr.	3,954.00	3,954.00	3,954.00	3,954.00
PESO SUELO HÚMEDO	gr.	1,510.40	1,595.36	1,680.32	1,642.56
N° TARRO		21	2	6	18
PESO TARRO + SUELO HÚMEDO	gr.	95.65	94.84	98.54	95.48
PESO TARRO + SUELO SECO	gr.	88.51	86.58	88.32	84.99
PESO DE AGUA	gr.	7.14	8.26	10.22	10.49
PESO DE TARRO	gr.	32.59	33.21	32.58	32.62
PESO SUELO SECO	gr.	55.92	53.37	55.74	52.37
% DE HUMEDAD	%	12.77	15.48	18.34	20.03
DENSIDAD SUELO HÚMEDO	gr./cm ³ .	1.60	1.69	1.78	1.74
DENSIDAD SECA	gr./cm ³ .	1.42	1.46	1.50	1.45



MÉTODO DE COMPACTACIÓN	"A"
NUMERO DE CAPAS	5
NUMERO DE GOLPES	25
MÁX. DENSIDAD SECA gr./cm ³	1.505
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD %	18.00

DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.
Arturo Delgado Baldeón
ING. ARTURO DELGADO BALDEÓN
JEFE DE LABORATORIO



RELACION DENSIDAD - HUMEDAD (PROCTOR MODIFICADO) ASTM D-1557

Proyecto

: "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON

Departamento : APURIMAC

Descripción : MATERIAL DE SUBRASANTE

Provincia : CHINCHEROS

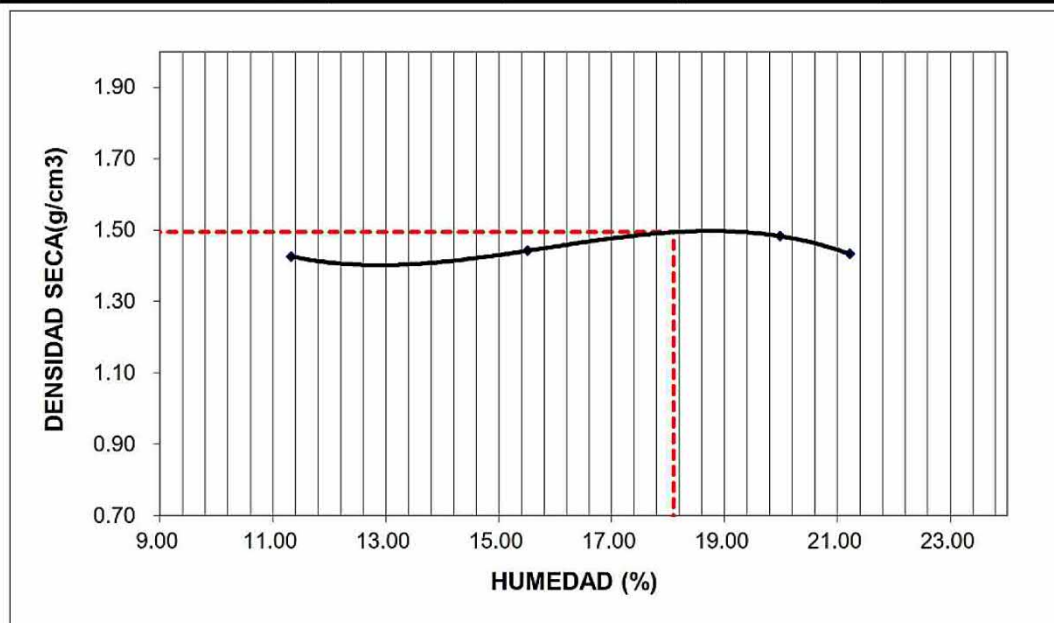
Muestra : M-03 + DIATOMITA CALCINADA AL 12%

Distrito : OCOBAMBA

Fecha : DICIEMBRE DEL 2025

Ubicación : SECTOR SARAHUARCAY

PESO MOLDE + SUELO HÚMEDO	gr.	5,454.96	5,530.48	5,634.32	5,596.56
PESO MOLDE	gr.	3,954.00	3,954.00	3,954.00	3,954.00
PESO SUELO HÚMEDO	gr.	1,500.96	1,576.48	1,680.32	1,642.56
Nº TARRO		21	10	12	9
PESO TARRO + SUELO HÚMEDO	gr.	102.32	100.45	95.65	98.47
PESO TARRO + SUELO SECO	gr.	95.22	91.32	85.32	87.10
PESO DE AGUA	gr.	7.10	9.13	10.33	11.37
PESO DE TARRO	gr.	32.52	32.45	33.62	33.50
PESO SUELO SECO	gr.	62.70	58.87	51.70	53.60
% DE HUMEDAD	%	11.32	15.51	19.98	21.21
DENSIDAD SUELO HÚMEDO	gr./cm ³	1.59	1.67	1.78	1.74
DENSIDAD SECA	gr./cm ³	1.43	1.44	1.48	1.43



MÉTODO DE COMPACTACIÓN	" A "
NUMERO DE CAPAS	5
NUMERO DE GOLPES	25
MÁX. DENSIDAD SECA gr./cm³	1.495
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD %	18.10

DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.
Arturo Delgado Baldeon
ING. ARTURO DELGADO BALDEON
JEFE DE LABORATORIO
RUC: 20494399891



Ensayos CBR — Calicata C-02 con adición de diatomita calcinada



VALOR SOPORTE RELATIVO (C.B.R.) ASTM - D 1883 MTC E 132

Proyecto : "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCA, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON
Descripción : CALICATA
Fecha : DICIEMBRE DEL 2025
Muestra : M-01-PATRON
Calicata : CC-02 - PROG. 26+440Km

Dep. : APURIMAC
Provincia : CHINCHEROS
Distrito : OCOBAMBA
Ubicación : SECTOR SARAHUARCA

COMPACTACIÓN CBR

NUMERO DE MOLDE	I		II		III	
GOLPES POR CAPA	12		25		56	
COND. DE MUESTRA	SIN MOJAR	MOJA.	SIN MOJAR	MOJA.	SIN MOJAR	MOJA.
PESO MOLDE + SUELO HUMEDO	7550		7715		8048	
PESO DEL MOLDE(g)	4200		4200		4200	
PESO DEL SUELO HUMEDO(g)	3350		3515		3848	
VOLUMEN DEL MOLDE(cm3)	2105		2105		2105	
DENSIDAD HUMEDA(g/cm3)	1.591		1.670		1.828	
% DE HUMEDAD	14.98		15.02		15.29	
DENSIDAD SECA	1.384		1.452		1.586	
Nro DE TARRO	20	10	2	8	7	12
TARRO + SUELO HUMEDO	51.22	41.26	51.69	53.24	54.66	52.36
TARRO + SUELO SECO	45.79	37.29	46.35	47.85	49.15	46.81
AGUA	5.43	3.97	5.34	5.39	5.51	5.55
PESO DEL TARRO	10.23	10.28	10.93	11.81	12.53	11.06
PESO DEL SUELO SECO	35.56	27.01	35.42	36.04	36.62	35.75
% DE HUMEDAD	15.27	14.70	15.08	14.96	15.05	15.52
HUMEDAD PROMEDIO	14.98		15.02		15.29	

ENSAYO DE HINCHAMIENTO

N° MOLDE			I			II			III		
FECHA	DIA	HORA	LECT. DEFOR	EXPANSIÓN		LECT. DEFOR	EXPANSIÓN		LECT. DEFOR	EXPANSIÓN	
				m.m	%		m.m	%		m.m	%
DIC -2025	1	0	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DIC -2025	2	24	0.30	0.30	0.24	0.20	0.20	0.17	0.50	0.50	0.42
DIC -2025	3	48	0.30	0.30	0.24	0.50	0.50	0.42	0.80	0.80	0.67
DIC -2025	4	72	0.50	0.50	0.40	0.70	0.70	0.58	1.10	1.10	0.92
DIC -2025	5	96	0.50	0.50	0.40	0.70	0.70	0.58	1.10	1.10	0.92

ENSAYO CARGA - PENETRACION

PENETRACIÓN		MOLDE I			MOLDE II			MOLDE III		
m.m	pulg	CARGA	ESFUERZO	%	CARGA	ESFUERZO	%	CARGA	ESFUERZO	%
0.00	0.000	0	0.00		0.0	0.00		0.0	0.00	
0.64	0.025	20.4	1.04		34.5	1.76		47.5	2.42	
1.27	0.050	27.2	1.39		38.7	1.97		48.9	2.49	
1.91	0.075	29.9	1.52		41.4	2.11		51.6	2.63	
2.54	0.100	34.0	1.73	2.48	47.0	2.40	3.43	61.1	3.11	4.46
5.08	0.200	43.5	2.22	2.12	52.5	2.68	2.55	76.0	3.87	3.70
7.62	0.300	66.6	3.39		89.8	4.58		95.0	4.84	
10.16	0.400	70.7	3.60		98.1	5.00		100.5	5.12	
12.70	0.500	76.1	3.88		113.3	5.78		129.0	6.57	

DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.

ING. ARTURO DELGADO BALDEÓN
JEFE DE LABORATORIO
RUC: 2040200000



VALOR SOPORTE RELATIVO (C.B.R.) ASTM - D 1883 MTC E 132

Proyecto

: "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON

Descripción : CALICATA

Fecha : DICIEMBRE DEL 2025

Muestra : M-01-PATRON

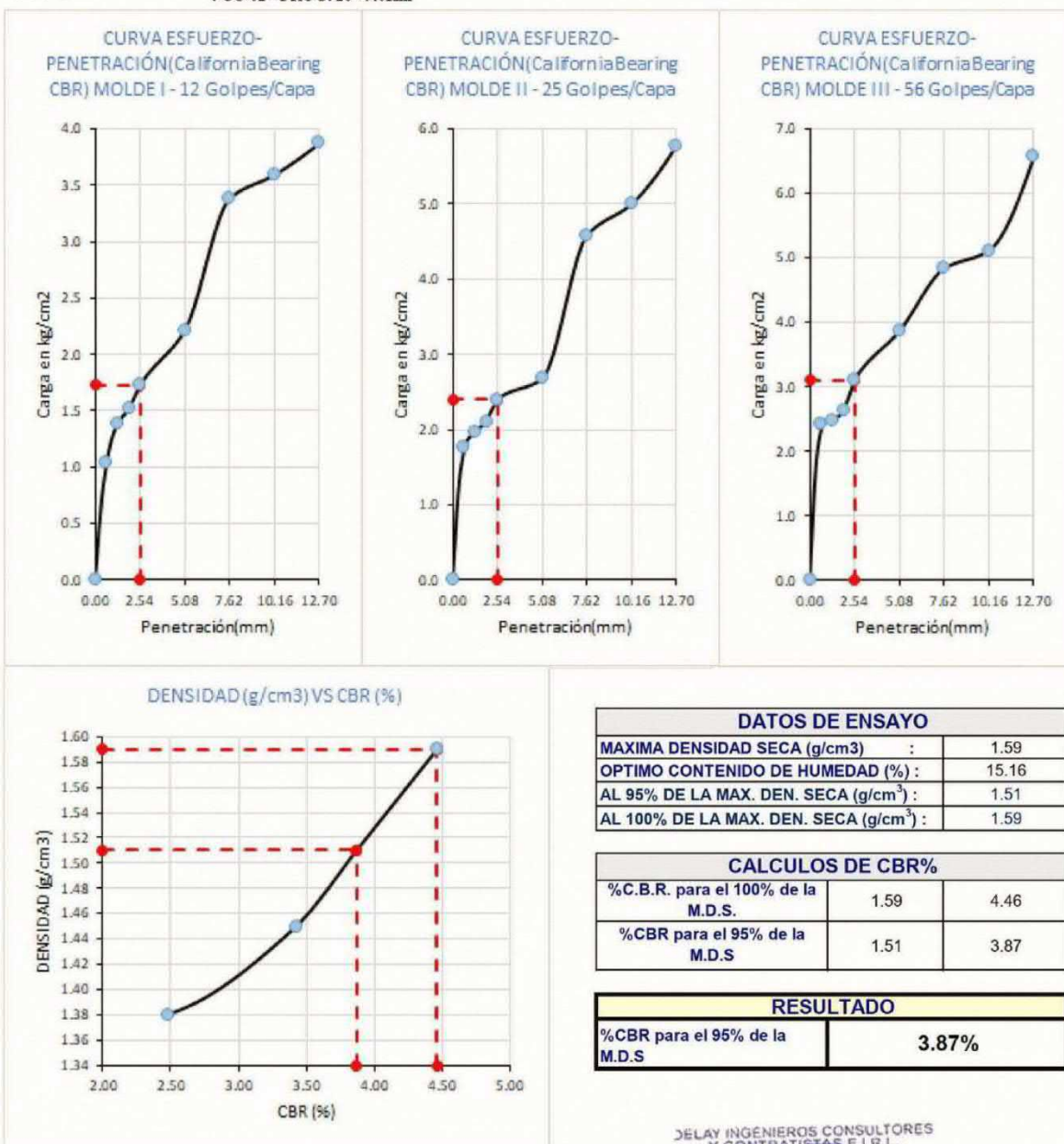
Calicata : CC-02 - PROG. 26+440Km

Dep. : APURIMAC

Provincia : CHINCHEROS

Distrito : OCOBAMBA

Ubicación : SECTOR SARAHUARCAY



DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.
Arturo Delgado Baldeón
ING. ARTURO DELGADO BALDEÓN
JEFE DE LABORATORIO
APURIMAC - 2025



VALOR SOPORTE RELATIVO (C.B.R.) ASTM - D 1883 MTC E 132

Proyecto : "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON

Dep. : APURIMAC

Descripción : CALICATA

Provincia : CHINCHEROS

Fecha : DICIEMBRE DEL 2025

Distrito : OCOBAMBA

Muestra : M-02-PATRON

Ubicación : SECTOR SARAHUARCAY

Calicata : CC-02 - PROG. 26+440Km

COMPACTACIÓN CBR

NUMERO DE MOLDE	I		II		III	
GOLPES POR CAPA	12		25		56	
COND. DE MUESTRA	SIN MOJAR	MOJA.	SIN MOJAR	MOJA.	SIN MOJAR	MOJA.
PESO MOLDE + SUELO HUMEDO	7525		7701		8040	
PESO DEL MOLDE(g)	4200		4200		4200	
PESO DEL SUELO HUMEDO(g)	3325		3501		3840	
VOLUMEN DEL MOLDE(cm ³)	2105		2105		2105	
DENSIDAD HUMEDA(g/cm ³)	1.580		1.663		1.824	
% DE HUMEDAD	14.76		15.04		15.27	
DENSIDAD SECA	1.376		1.446		1.583	
Nro DE TARRO	4	15	21	11	12	14
TARRO + SUELO HUMEDO	52.02	40.12	50.22	51.23	53.26	51.48
TARRO + SUELO SECO	46.01	36.75	44.95	46.19	48.25	45.65
AGUA	6.01	3.37	5.27	5.04	5.01	5.83
PESO DEL TARRO	10.25	10.25	10.85	11.75	11.45	11.21
PESO DEL SUELO SECO	35.76	26.5	34.1	34.44	36.8	34.44
% DE HUMEDAD	16.81	12.72	15.45	14.63	13.61	16.93
HUMEDAD PROMEDIO	14.76		15.04		15.27	

ENSAYO DE HINCHAMIENTO

N° MOLDE			I			II			III		
FECHA	DIA	HORA	LECT. DEFOR	EXPANSIÓN		LECT. DEFOR	EXPANSIÓN		LECT. DEFOR	EXPANSIÓN	
				m.m	%		m.m	%		m.m	%
DIC -2025	1	0	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DIC -2025	2	24	0.30	0.30	0.24	0.20	0.20	0.17	0.50	0.50	0.42
DIC -2025	3	48	0.30	0.30	0.24	0.50	0.50	0.42	0.80	0.80	0.67
DIC -2025	4	72	0.50	0.50	0.40	0.70	0.70	0.58	1.00	1.00	0.83
DIC -2025	5	96	0.50	0.50	0.40	0.69	0.69	0.58	1.00	1.00	0.83

ENSAYO CARGA - PENETRACION

PENETRACIÓN		MOLDE I		CBR	MOLDE II		CBR	MOLDE III		CBR
m.m	pulg	CARGA	ESFUERZO	%	CARGA	ESFUERZO	%	CARGA	ESFUERZO	%
0.00	0.000	0	0.00		0.0	0.00		0.0	0.00	
0.64	0.025	13.5	0.69		33.7	1.72		45.9	2.34	
1.27	0.050	20.3	1.03		45.2	2.30		50.3	2.56	
1.91	0.075	29.8	1.52		49.5	2.52		56.9	2.90	
2.54	0.100	35.2	1.79	2.57	52.1	2.65	3.80	64.5	3.28	4.71
5.08	0.200	43.3	2.20	2.11	62.8	3.20	3.06	78.9	4.02	3.84
7.62	0.300	63.6	3.24		69.1	3.52		93.5	4.76	
10.16	0.400	75.8	3.86		80.4	4.09		111.1	5.66	
12.70	0.500	85.3	4.34		101.1	5.15		151.0	7.69	

DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.

ING. ARTURO DELGADO BALDEON
JEFE DE LABORATORIO
RUC: 20494399951



VALOR SOPORTE RELATIVO (C.B.R.) ASTM - D 1883 MTC E 132

Proyecto

: "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON

Descripción : CALICATA

Fecha : DICIEMBRE DEL 2025

Muestra : M-02-PATRON

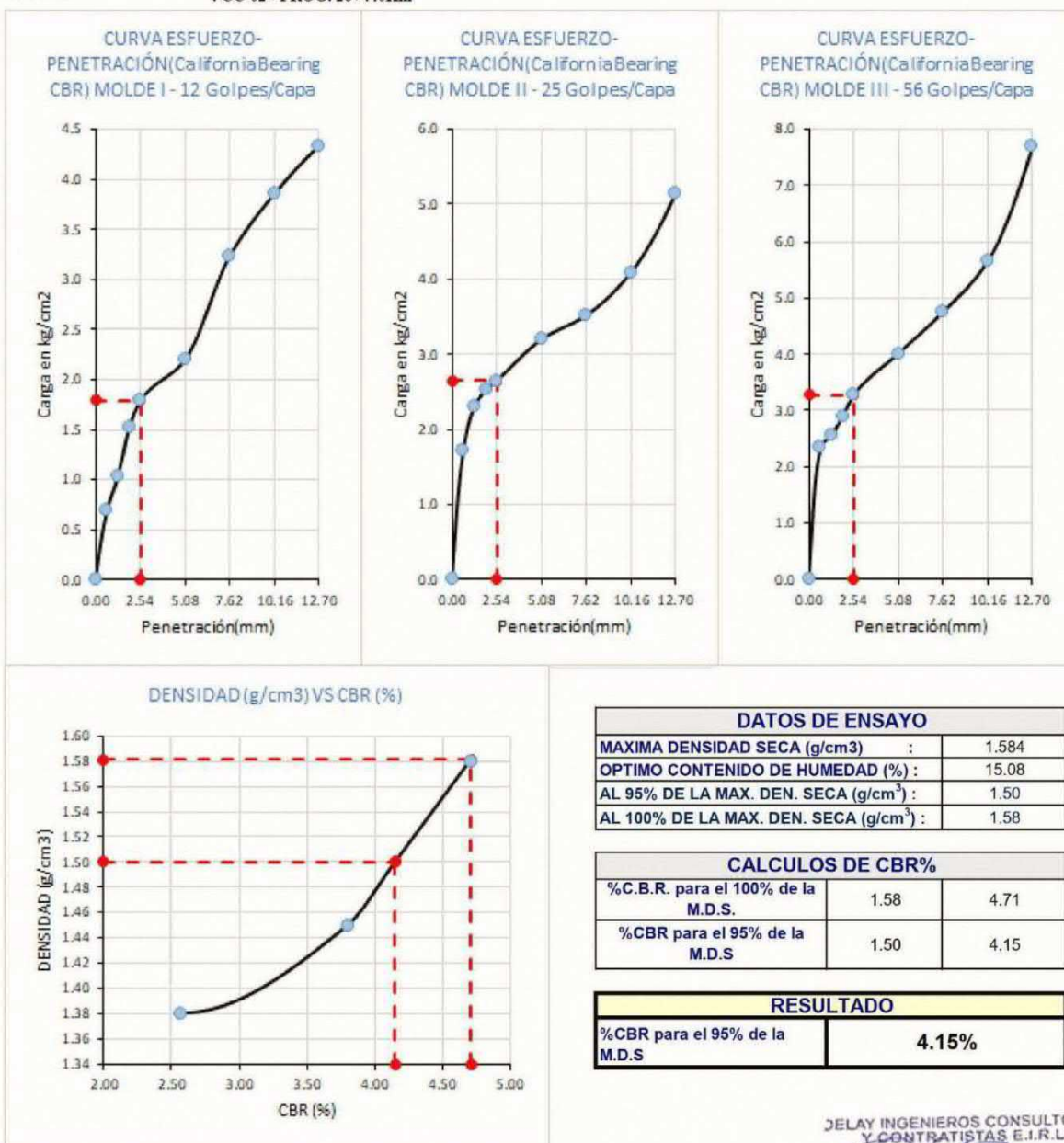
Calicata : CC-02 - PROG. 26+440Km

Dep. : APURIMAC

Provincia : CHINCHEROS

Distrito : OCOBAMBA

Ubicación : SECTOR SARAHUARCAY



DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.
Arturo Delgado Baldeon
ING. ARTURO DELGADO BALDEON
JEFE DE LABORATORIO
RUC: 2041405007



VALOR SOPORTE RELATIVO (C.B.R.) ASTM - D 1883 MTC E 132

Proyecto : "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON

Dep. : APURIMAC

Descripción : CALICATA

Provincia : CHINCHEROS

Fecha : DICIEMBRE DEL 2025

Distrito : OCOBAMBA

Muestra : M-03-PATRON

Ubicación : SECTOR SARAHUARCAY

Calicata : CC-02 - PROG. 26+440Km

COMPACTACIÓN CBR

NUMERO DE MOLDE	I		II		III	
GOLPES POR CAPA	12		25		56	
COND. DE MUESTRA	SIN MOJAR	MOJA.	SIN MOJAR	MOJA.	SIN MOJAR	MOJA.
PESO MOLDE + SUELO HUMEDO	7571		7739		8076	
PESO DEL MOLDE(g)	4200		4200		4200	
PESO DEL SUELO HUMEDO(g)	3371		3539		3876	
VOLUMEN DEL MOLDE(cm ³)	2105		2105		2105	
DENSIDAD HUMEDA(g/cm ³)	1.601		1.681		1.841	
% DE HUMEDAD	14.91		15.06		15.33	
DENSIDAD SECA	1.394		1.461		1.597	
Nro DE TARRO	14	21	10	15	5	7
TARRO + SUELO HUMEDO	53.26	46.32	50.11	52.2	52.84	51.46
TARRO + SUELO SECO	48.25	41.38	45.55	46.25	48.14	45.32
AGUA	5.01	4.94	4.56	5.95	4.7	6.14
PESO DEL TARRO	11.25	11.02	11.15	10.95	11.12	11.14
PESO DEL SUELO SECO	37	30.36	34.4	35.3	37.02	34.18
% DE HUMEDAD	13.54	16.27	13.26	16.86	12.70	17.96
HUMEDAD PROMEDIO	14.91		15.06		15.33	

ENSAYO DE HINCHAMIENTO

N° MOLDE			I			II			III		
FECHA	DIA	HORA	LECT. DEFOR	EXPANSIÓN		LECT. DEFOR	EXPANSIÓN		LECT. DEFOR	EXPANSIÓN	
				m.m	%		m.m	%		m.m	%
DIC -2025	1	0	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DIC -2025	2	24	0.25	0.25	0.20	0.20	0.20	0.17	0.50	0.50	0.42
DIC -2025	3	48	0.30	0.30	0.24	0.50	0.50	0.42	0.80	0.80	0.67
DIC -2025	4	72	0.50	0.50	0.40	0.70	0.70	0.58	1.09	1.09	0.91
DIC -2025	5	96	0.48	0.48	0.39	0.65	0.65	0.54	1.90	1.90	1.58

ENSAYO CARGA - PENETRACION

PENETRACIÓN		MOLDE I		CBR	MOLDE II		CBR	MOLDE III		CBR
m.m	pulg	CARGA	ESFUERZO	%	CARGA	ESFUERZO	%	CARGA	ESFUERZO	%
0.00	0.000	0	0.00		0.0	0.00		0.0	0.00	
0.64	0.025	16.0	0.81		26.1	1.33		37.1	1.89	
1.27	0.050	21.3	1.08		34.0	1.73		40.6	2.07	
1.91	0.075	29.3	1.49		36.3	1.85		44.1	2.25	
2.54	0.100	38.6	1.96	2.82	39.7	2.02	2.90	49.9	2.54	3.64
5.08	0.200	50.6	2.58	2.46	47.6	2.42	2.32	56.8	2.89	2.76
7.62	0.300	59.9	3.05		63.5	3.23		75.4	3.84	
10.16	0.400	78.5	4.00		78.3	3.98		90.5	4.61	
12.70	0.500	87.9	4.47		89.6	4.56		98.6	5.02	

DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.

ING. ARTURO DELGADO BALDEON
JEFE DE LABORATORIO
RUC: 20104532001



VALOR SOPORTE RELATIVO (C.B.R.) ASTM - D 1883 MTC E 132

Proyecto

: "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON

Descripción : CALICATA

Fecha : DICIEMBRE DEL 2025

Muestra : M-03-PATRON

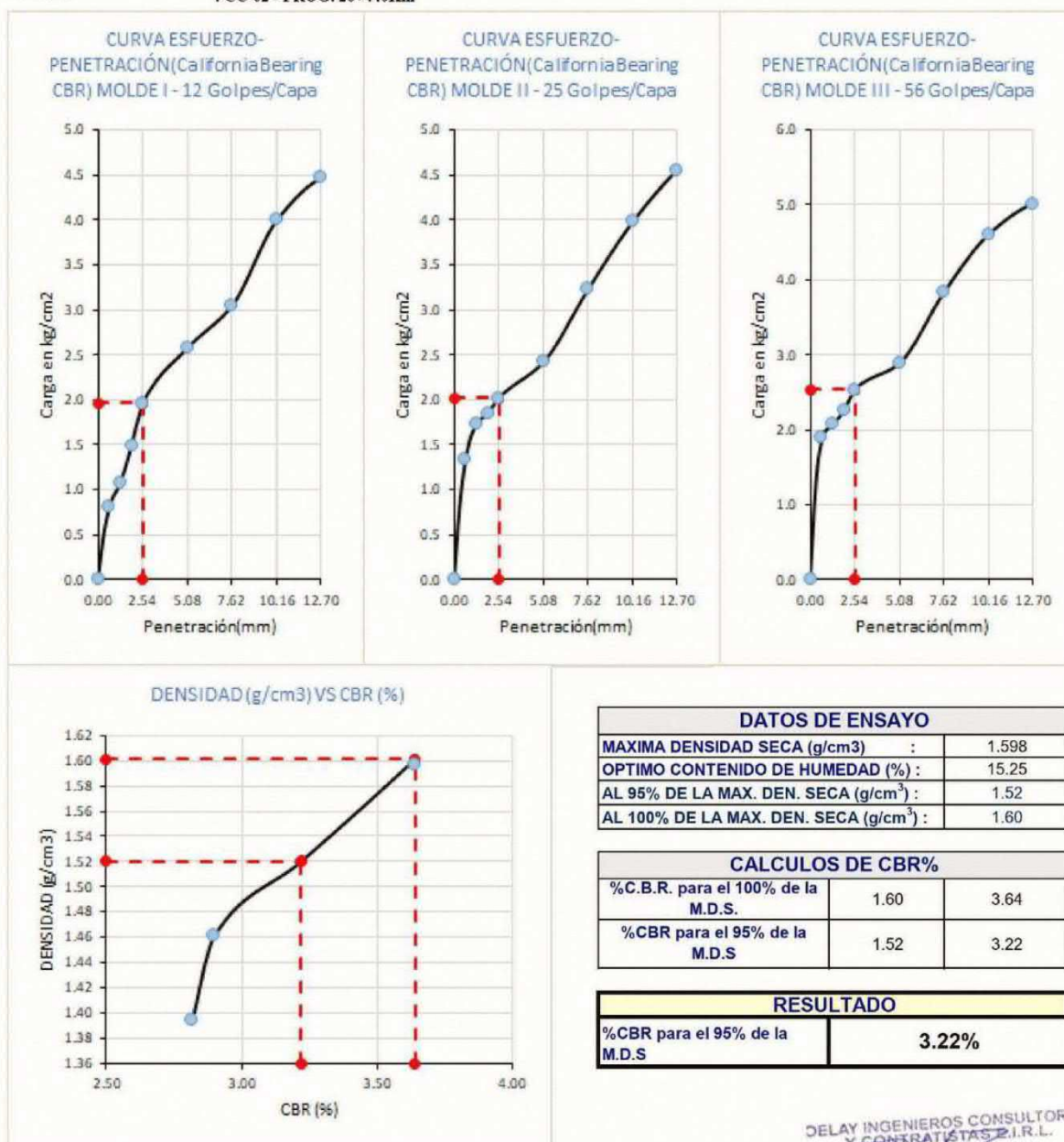
Calicata : CC-02 - PROG. 26+440Km

Dep. : APURIMAC

Provincia : CHINCHEROS

Distrito : OCOBAMBA

Ubicación : SECTOR SARAHUARCAY



DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.
(Signature)
ING. ARTURO DELGADO BALDEON
JEFE DE LABORATORIO
RUC: 20494309891



VALOR SOPORTE RELATIVO (C.B.R.) ASTM - D 1883 MTC E 132

Proyecto : "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON
Descripción : CALICATA
Fecha : DICIEMBRE DEL 2025
Muestra : M-01 + DIATOMITA CALCINADA AL 3%
Calicata : CC-02 - PROG. 26+440Km

Dep. : APURIMAC
Provincia : CHINCHEROS
Distrito : OCOBAMBA
Ubicación : SECTOR SARAHUARCAY

COMPACTACIÓN CBR

NUMERO DE MOLDE	I		II		III	
GOLPES POR CAPA	12		25		56	
COND. DE MUESTRA	SIN MOJAR	MOJA.	SIN MOJAR	MOJA.	SIN MOJAR	MOJA.
PESO MOLDE + SUELO HUMEDO	7535		7685		8021	
PESO DEL MOLDE(g)	4200		4200		4200	
PESO DEL SUELO HUMEDO(g)	3335		3485		3821	
VOLUMEN DEL MOLDE(cm ³)	2105		2105		2105	
DENSIDAD HUMEDA(g/cm ³)	1.584		1.656		1.815	
% DE HUMEDAD	14.84		15.32		15.71	
DENSIDAD SECA	1.380		1.436		1.569	
Nro DE TARRO	11	16	4	18	21	10
TARRO + SUELO HUMEDO	48.95	50.48	52.62	51.44	53.85	53.47
TARRO + SUELO SECO	44.21	45.26	45.75	47.55	49.15	46.72
AGUA	4.74	5.22	6.87	3.89	4.7	6.75
PESO DEL TARRO	11.25	11.15	11.1	11.6	11.3	11.2
PESO DEL SUELO SECO	32.96	34.11	34.65	35.95	37.85	35.52
% DE HUMEDAD	14.38	15.30	19.83	10.82	12.42	19.00
HUMEDAD PROMEDIO	14.84		15.32		15.71	

ENSAYO DE HINCHAMIENTO

N° MOLDE			I			II			III		
FECHA	DIA	HORA	LECT. DEFOR	EXPANSIÓN		LECT. DEFOR	EXPANSIÓN		LECT. DEFOR	EXPANSIÓN	
				m.m	%		m.m	%		m.m	%
DIC -2025	1	0	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DIC -2025	2	24	0.22	0.22	0.25	0.20	0.20	0.17	0.45	0.45	0.38
DIC -2025	3	48	0.35	0.35	0.35	0.48	0.48	0.40	0.78	0.78	0.65
DIC -2025	4	72	0.48	0.48	0.47	0.65	0.65	0.54	1.07	1.07	0.89
DIC -2025	5	96	0.48	0.48	0.47	0.68	0.68	0.57	1.08	1.08	0.90

ENSAYO CARGA - PENETRACION

PENETRACIÓN		MOLDE I		CBR	MOLDE II		CBR	MOLDE III		CBR
m.m	pulg	CARGA	ESFUERZO	%	CARGA	ESFUERZO	%	CARGA	ESFUERZO	%
0.00	0.000	0	0.00		0.0	0.00		0.0	0.00	
0.64	0.025	33.9	1.73		56.1	2.86		61.1	3.11	
1.27	0.050	47.4	2.41		64.1	3.27		76.0	3.87	
1.91	0.075	61.0	3.10		69.4	3.54		95.0	4.84	
2.54	0.100	75.9	3.86	5.54	82.8	4.22	6.04	112.6	5.73	8.22
5.08	0.200	86.7	4.41	4.22	109.5	5.58	5.33	130.3	6.63	6.34
7.62	0.300	97.6	4.97		118.8	6.05		138.4	7.05	
10.16	0.400	109.8	5.59		126.8	6.46		152.0	7.74	
12.70	0.500	120.6	6.14		140.2	7.14		160.1	8.15	

DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.

ING. ARTURO DELGADO BALDEÓN
JEFE DE LABORATORIO
1992 2025



VALOR SOPORTE RELATIVO (C.B.R.) ASTM - D 1883 MTC E 132

Proyecto

: "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON

Dep. : APURIMAC

Descripción : CALICATA

Provincia : CHINCHEROS

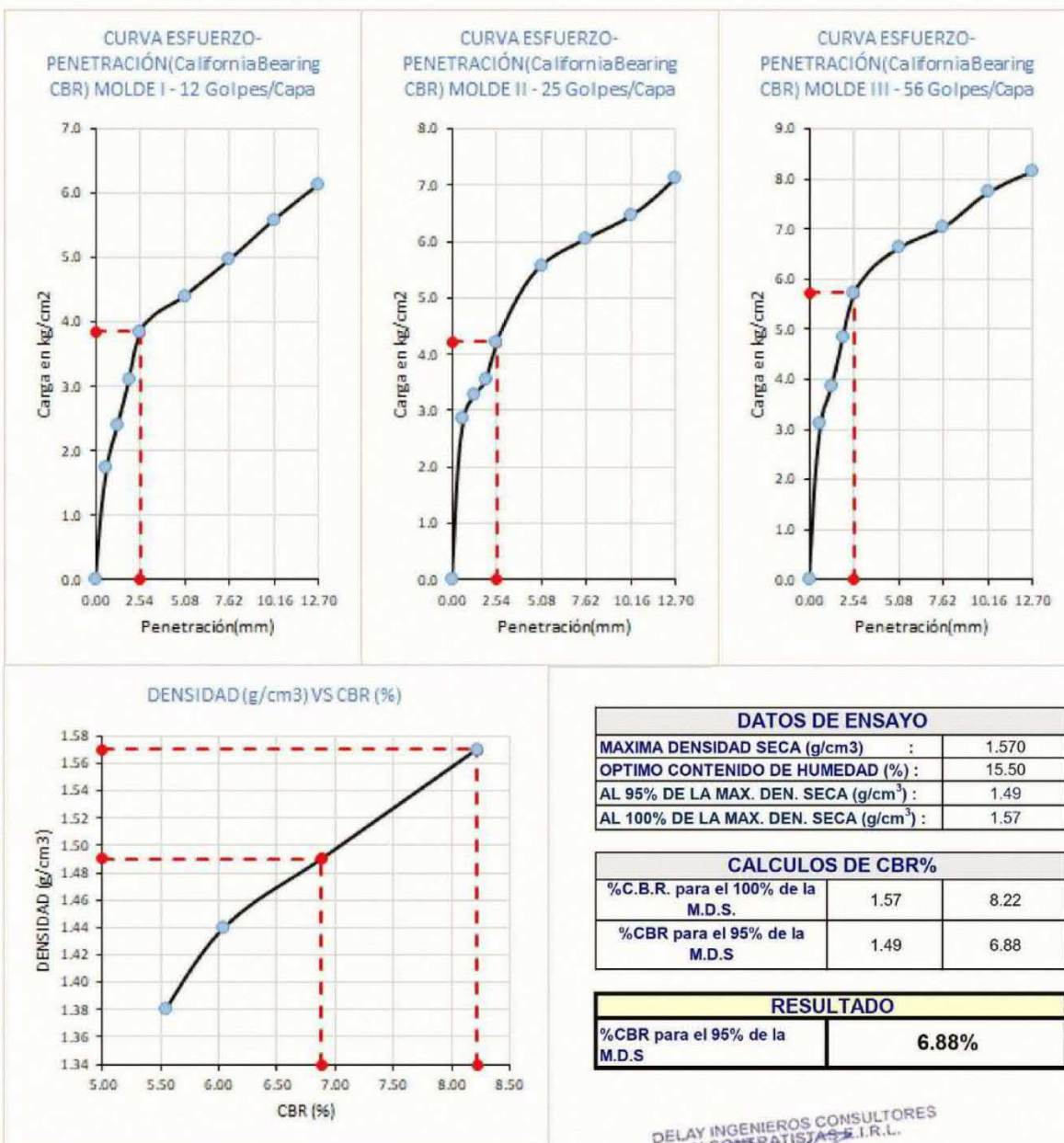
Fecha : DICIEMBRE DEL 2025

Distrito : OCOBAMBA

Muestra : M-01 + DIATOMITA CALCINADA AL 3%

Ubicación : SECTOR SARAHUARCAY

Calicata : CC-02 - PROG. 26+440Km



DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.
ING. ARTURO DELGADO BALDEON
JEFE DE LABORATORIO
RUC: 2060453001



VALOR SOPORTE RELATIVO (C.B.R.) ASTM - D 1883 MTC E 132

Proyecto : "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCA, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON
Descripción : CALICATA
Fecha : DICIEMBRE DEL 2025
Muestra : M-02 + DIATOMITA CALCINADA AL 3%
Calicata : CC-02 - PROG. 26+440Km

Dep. : APURIMAC
Provincia : CHINCHEROS
Distrito : OCOBAMBA
Ubicación : SECTOR SARAHUARCA

COMPACTACIÓN CBR

NUMERO DE MOLDE	I		II		III	
GOLPES POR CAPA	12		25		56	
COND. DE MUESTRA	SIN MOJAR	MOJA.	SIN MOJAR	MOJA.	SIN MOJAR	MOJA.
PESO MOLDE + SUELO HUMEDO	7495		7655		8018	
PESO DEL MOLDE(g)	4200		4200		4200	
PESO DEL SUELO HUMEDO(g)	3295		3455		3818	
VOLUMEN DEL MOLDE(cm ³)	2105		2105		2105	
DENSIDAD HUMEDA(g/cm ³)	1.565		1.641		1.814	
% DE HUMEDAD	14.80		15.55		16.37	
DENSIDAD SECA	1.364		1.420		1.559	
Nro DE TARRO	9	12	4	14	16	20
TARRO + SUELO HUMEDO	53.62	45.84	50.65	51.74	55.26	54.15
TARRO + SUELO SECO	47.95	41.6	45.35	46.3	49.29	47.95
AGUA	5.67	4.24	5.3	5.44	5.97	6.2
PESO DEL TARRO	11.25	11.62	11.1	11.5	11.6	11.28
PESO DEL SUELO SECO	36.7	29.98	34.25	34.8	37.69	36.67
% DE HUMEDAD	15.45	14.14	15.47	15.63	15.84	16.91
HUMEDAD PROMEDIO	14.80		15.55		16.37	

ENSAYO DE HINCHAMIENTO

N° MOLDE			I			II			III		
FECHA	DIA	HORA	LECT. DEFOR	EXPANSIÓN		LECT. DEFOR	EXPANSIÓN		LECT. DEFOR	EXPANSIÓN	
				m.m	%		m.m	%		m.m	%
DIC -2025	1	0	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DIC -2025	2	24	0.25	0.25	0.20	0.18	0.18	0.15	0.48	0.55	0.46
DIC -2025	3	48	0.27	0.27	0.22	0.45	0.45	0.38	0.76	0.85	0.71
DIC -2025	4	72	0.47	0.47	0.38	0.67	0.67	0.56	1.05	1.05	0.88
DIC -2025	5	96	0.47	0.47	0.38	0.67	0.67	0.56	1.05	106.00	88.33

ENSAYO CARGA - PENETRACION

PENETRACIÓN		MOLDE I		CBR	MOLDE II		CBR	MOLDE III		CBR
m.m	pulg	CARGA	ESFUERZO	%	CARGA	ESFUERZO	%	CARGA	ESFUERZO	%
0.00	0.000	0	0.00		0.0	0.00		0.0	0.00	
0.64	0.025	32.9	1.68		40.2	2.05		49.2	2.51	
1.27	0.050	36.4	1.85		52.4	2.67		66.7	3.40	
1.91	0.075	46.9	2.39		61.3	3.12		79.6	4.06	
2.54	0.100	64.5	3.29	4.71	69.2	3.53	5.05	94.8	4.83	6.92
5.08	0.200	76.3	3.89	3.71	93.7	4.77	4.56	110.0	5.61	5.35
7.62	0.300	83.3	4.24		106.0	5.40		120.6	6.15	
10.16	0.400	92.7	4.72		118.2	6.02		139.3	7.10	
12.70	0.500	104.4	5.32		130.5	6.65		146.3	7.45	

DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.

ING. ARTURO DELGADO BALDEON
JEFE DE LABORATORIO
TEL: 966916606



VALOR SOPORTE RELATIVO (C.B.R.) ASTM - D 1883 MTC E 132

Proyecto

: "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON

Descripción : CALICATA

Fecha : DICIEMBRE DEL 2025

Muestra : M-02 + DIATOMITA CALCINADA AL 3%

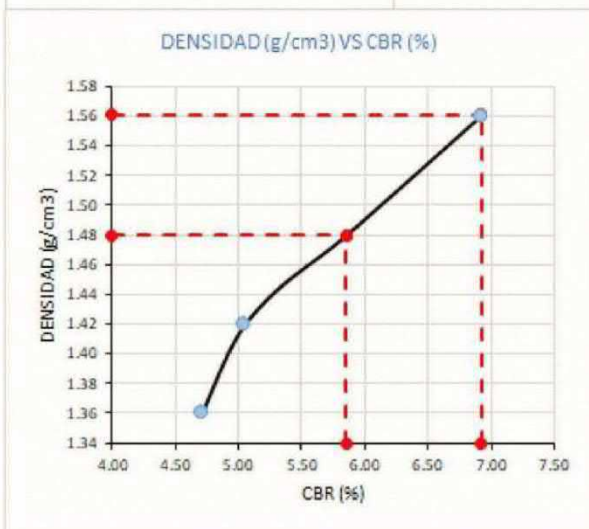
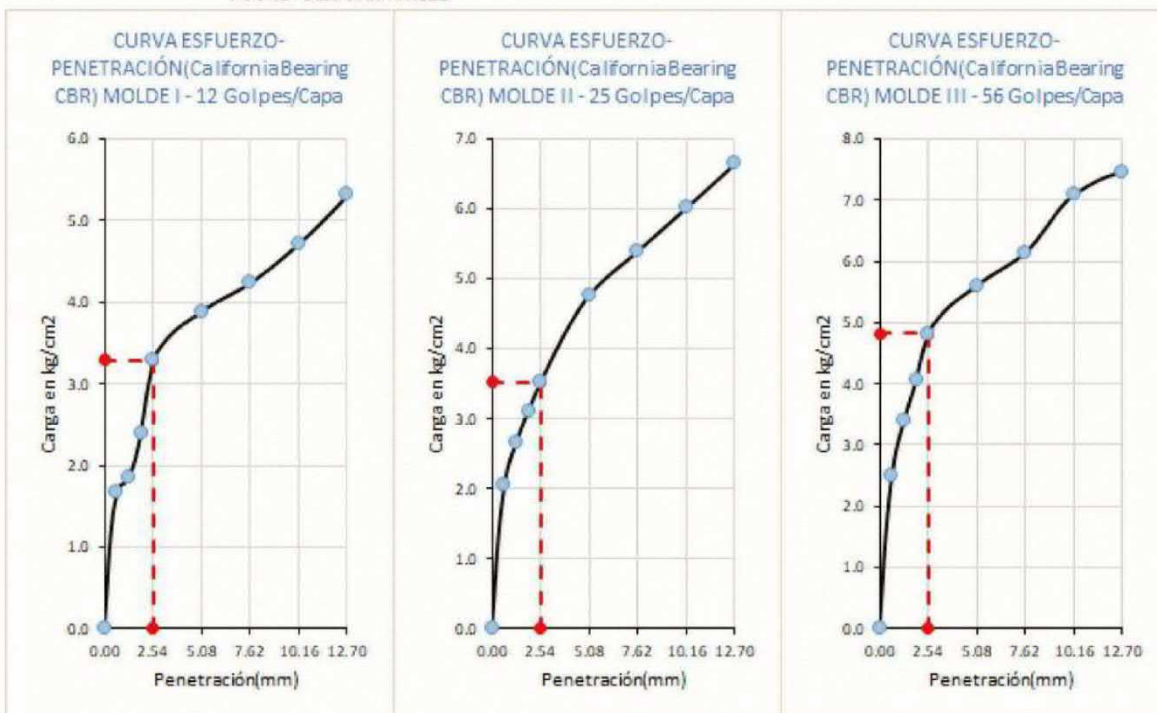
Calicata : CC-02 - PROG. 26+440Km

Dep. : APURIMAC

Provincia : CHINCHEROS

Distrito : OCOBAMBA

Ubicación : SECTOR SARAHUARCAY



DATOS DE ENSAYO	
MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³)	1.560
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	15.70
AL 95% DE LA MAX. DEN. SECA (g/cm³)	1.48
AL 100% DE LA MAX. DEN. SECA (g/cm³)	1.56

CALCULOS DE CBR%		
%C.B.R. para el 100% de la M.D.S.	1.56	6.92
%CBR para el 95% de la M.D.S	1.48	5.85

RESULTADO	
%CBR para el 95% de la M.D.S	5.85%

DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.
[Firma]
ING. ARTURO DELGADO BALDEON
JEFE DE LABORATORIO



VALOR SOPORTE RELATIVO (C.B.R.) ASTM - D 1883 MTC E 132

Proyecto : "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCA, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON
Descripción : CALICATA
Fecha : DICIEMBRE DEL 2025
Muestra : M-03 + DIATOMITA CALCINADA AL 3%
Calicata : CC-02 - PROG. 26+440Km

Dep. : APURIMAC
Provincia : CHINCHEROS
Distrito : OCOBAMBA
Ubicación : SECTOR SARAHUARCA

COMPACTACIÓN CBR

NUMERO DE MOLDE	I		II		III	
GOLPES POR CAPA	12		25		56	
COND. DE MUESTRA	SIN MOJAR	MOJA.	SIN MOJAR	MOJA.	SIN MOJAR	MOJA.
PESO MOLDE + SUELO HUMEDO	7562		7738		8064	
PESO DEL MOLDE(g)	4200		4200		4200	
PESO DEL SUELO HUMEDO(g)	3362		3538		3864	
VOLUMEN DEL MOLDE(cm3)	2105		2105		2105	
DENSIDAD HUMEDA(g/cm3)	1.597		1.681		1.836	
% DE HUMEDAD	15.18		16.10		16.58	
DENSIDAD SECA	1.387		1.448		1.575	
Nro DE TARRO	14	2	10	20	2	7
TARRO + SUELO HUMEDO	52.62	47.54	52.56	52.22	52.65	53.85
TARRO + SUELO SECO	47.15	42.65	46.11	47.25	46.55	47.87
AGUA	5.47	4.89	6.45	4.97	6.1	5.98
PESO DEL TARRO	11.06	10.5	10.85	11.51	10.25	11.3
PESO DEL SUELO SECO	36.09	32.15	35.26	35.74	36.3	36.57
% DE HUMEDAD	15.16	15.21	18.29	13.91	16.80	16.35
HUMEDAD PROMEDIO	15.18		16.10		16.58	

ENSAYO DE HINCHAMIENTO

N° MOLDE			I			II			III		
FECHA	DIA	HORA	LECT. DEFOR	EXPANSIÓN		LECT. DEFOR	EXPANSIÓN		LECT. DEFOR	EXPANSIÓN	
				m.m	%		m.m	%		m.m	%
DIC -2025	1	0	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DIC -2025	2	24	0.19	0.19	0.15	0.17	0.17	0.14	0.46	0.46	0.38
DIC -2025	3	48	0.25	0.25	0.20	0.46	0.46	0.38	0.76	0.76	0.63
DIC -2025	4	72	0.46	0.46	0.37	0.65	0.65	0.54	1.06	1.06	0.88
DIC -2025	5	96	0.46	0.46	0.37	0.68	0.68	0.57	1.06	1.06	0.88

ENSAYO CARGA - PENETRACION

PENETRACIÓN		MOLDE I		CBR	MOLDE II		CBR	MOLDE III		CBR
m.m	pulg	CARGA	ESFUERZO	%	CARGA	ESFUERZO	%	CARGA	ESFUERZO	%
0.00	0.000	0	0.00		0.0	0.00		0.0	0.00	
0.64	0.025	54.2	2.76		62.4	3.18		93.0	4.74	
1.27	0.050	61.0	3.11		69.3	3.53		101.6	5.17	
1.91	0.075	67.8	3.45		80.4	4.09		114.4	5.83	
2.54	0.100	77.3	3.94	5.64	88.7	4.52	6.47	123.0	6.26	8.98
5.08	0.200	89.5	4.56	4.36	120.6	6.14	5.87	138.8	7.07	6.75
7.62	0.300	94.9	4.84		127.6	6.50		151.6	7.72	
10.16	0.400	111.2	5.67		135.9	6.92		170.2	8.67	
12.70	0.500	131.5	6.70		159.5	8.12		178.8	9.11	

DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.

ING. ARTURO DELGADO BALDEON
JEFE DE LABORATORIO



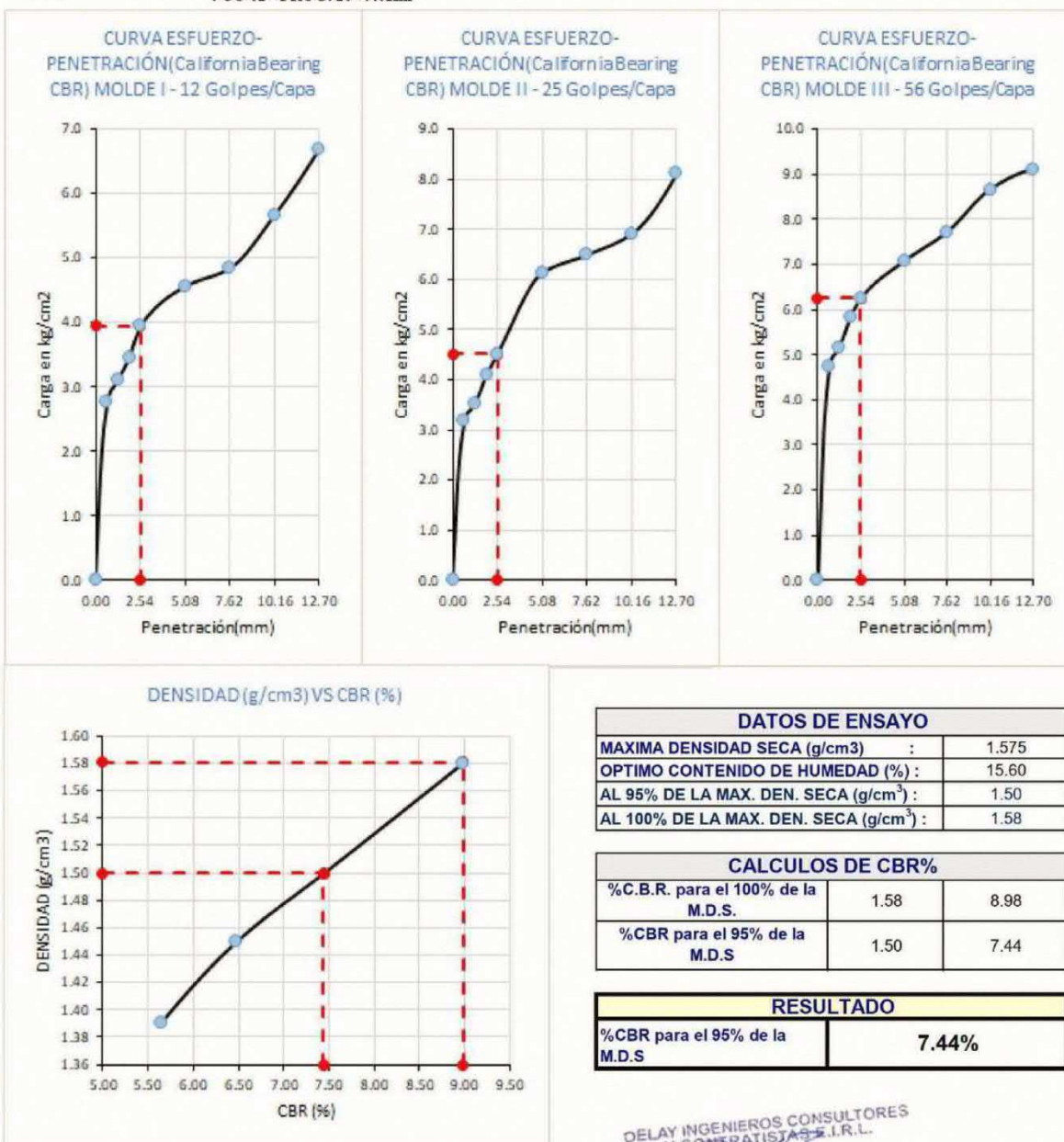
VALOR SOPORTE RELATIVO (C.B.R.) ASTM - D 1883 MTC E 132

Proyecto

: "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON
Descripción : CALICATA
Fecha : DICIEMBRE DEL 2025
Muestra : M-03 + DIATOMITA CALCINADA AL 3%
Calicata : CC-02 - PROG. 26+440Km

Dep. : APURIMAC
Provincia : CHINCHEROS
Distrito : OCOBAMBA
Ubicación : SECTOR SARAHUARCAY



DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.
ING. ARTURO DELGADO BALDEON
JEFE DE LABORATORIO
RUC: 20504354001



VALOR SOPORTE RELATIVO (C.B.R.) ASTM - D 1883 MTC E 132

Proyecto : "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON
Descripción : CALICATA
Fecha : DICIEMBRE DEL 2025
Muestra : M-01 + DIATOMITA CALCINADA AL 6%
Calicata : CC-02 - PROG. 26+440Km

Dep. : APURIMAC
Provincia : CHINCHEROS
Distrito : OCOBAMBA
Ubicación : SECTOR SARAHUARCAY

COMPACTACIÓN CBR

NUMERO DE MOLDE	I		II		III	
GOLPES POR CAPA	12		25		56	
COND. DE MUESTRA	SIN MOJAR	MOJA.	SIN MOJAR	MOJA.	SIN MOJAR	MOJA.
PESO MOLDE + SUELO HUMEDO	7510		7675		8014	
PESO DEL MOLDE(g)	4200		4200		4200	
PESO DEL SUELO HUMEDO(g)	3310		3475		3814	
VOLUMEN DEL MOLDE(cm ³)	2105		2105		2105	
DENSIDAD HUMEDA(g/cm ³)	1.572		1.651		1.812	
% DE HUMEDAD	15.14		15.50		16.79	
DENSIDAD SECA	1.366		1.429		1.551	
Nro DE TARRO	5	17	4	14	16	20
TARRO + SUELO HUMEDO	52.32	49.95	53.26	53.15	55.11	53.62
TARRO + SUELO SECO	46.52	45.15	46.98	48.22	49.15	46.98
AGUA	5.8	4.8	6.28	4.93	5.96	6.64
PESO DEL TARRO	11.2	10.52	11.25	11.5	10.58	10.35
PESO DEL SUELO SECO	35.32	34.63	35.73	36.72	38.57	36.63
% DE HUMEDAD	16.42	13.86	17.58	13.43	15.45	18.13
HUMEDAD PROMEDIO	15.14		15.50		16.79	

ENSAYO DE HINCHAMIENTO

N° MOLDE			I			II			III		
FECHA	DIA	HORA	LECT. DEFOR	EXPANSIÓN		LECT. DEFOR	EXPANSIÓN		LECT. DEFOR	EXPANSIÓN	
				m.m	%		m.m	%		m.m	%
DIC -2025	1	0	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DIC -2025	2	24	0.15	0.15	0.12	0.15	0.15	0.13	0.45	0.45	0.38
DIC -2025	3	48	0.25	0.25	0.20	0.45	0.45	0.38	0.75	0.75	0.63
DIC -2025	4	72	0.45	0.45	0.36	0.65	0.65	0.54	1.02	1.02	0.85
DIC -2025	5	96	0.45	0.45	0.36	0.65	0.65	0.54	1.02	1.02	0.85

ENSAYO CARGA - PENETRACION

PENETRACIÓN		MOLDE I		CBR	MOLDE II		CBR	MOLDE III		CBR
m.m	pulg	CARGA	ESFUERZO	%	CARGA	ESFUERZO	%	CARGA	ESFUERZO	%
0.00	0.000	0	0.00		0.0	0.00		0.0	0.00	
0.64	0.025	61.1	3.11		62.3	3.17		105.8	5.39	
1.27	0.050	74.7	3.80		76.2	3.88		113.9	5.80	
1.91	0.075	81.4	4.14		90.0	4.58		123.4	6.28	
2.54	0.100	88.2	4.49	6.44	108.0	5.50	7.88	132.9	6.77	9.70
5.08	0.200	105.9	5.39	5.15	135.7	6.91	6.60	149.2	7.60	7.26
7.62	0.300	115.4	5.88		159.3	8.11		155.9	7.94	
10.16	0.400	133.0	6.77		167.6	8.53		164.1	8.35	
12.70	0.500	153.4	7.81		177.3	9.03		173.6	8.84	

DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.

ING. ARTURO DELGADO BALDEON
JEFE DE LABORATORIO
TEL: 966916606



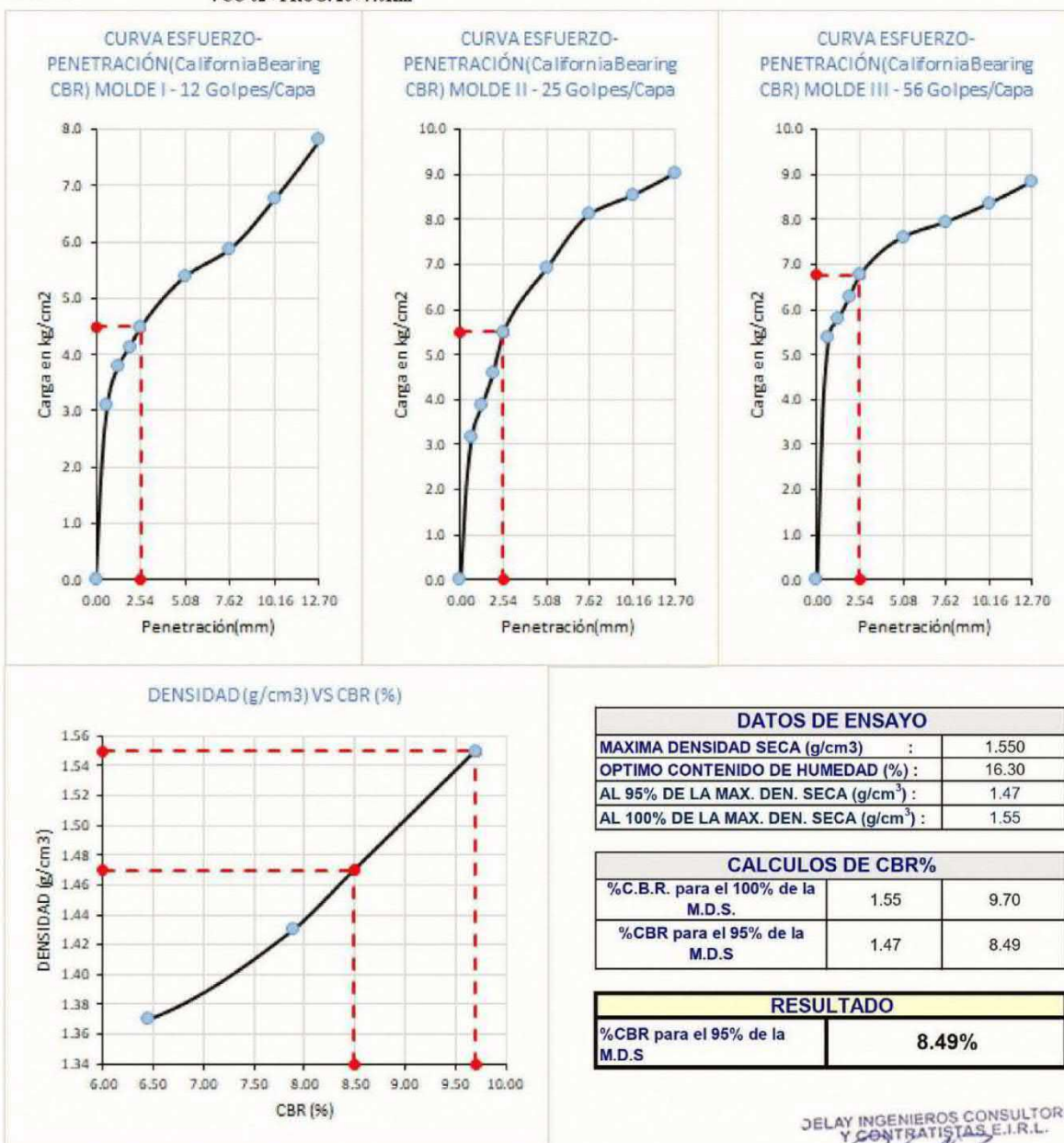
VALOR SOPORTE RELATIVO (C.B.R.) ASTM - D 1883 MTC E 132

Proyecto

: "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON
Descripción : CALICATA
Fecha : DICIEMBRE DEL 2025
Muestra : M-01 + DIATOMITA CALCINADA AL 6%
Calicata : CC-02 - PROG. 26+440Km

Dep. : APURIMAC
Provincia : CHINCHEROS
Distrito : OCOBAMBA
Ubicación : SECTOR SARAHUARCAY



DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.
Ing. Arturo Delgado Baldeón
ING. ARTURO DELGADO BALDEÓN
JEFE DE LABORATORIO
RUC: 2049439591



VALOR SOPORTE RELATIVO (C.B.R.) ASTM - D 1883 MTC E 132

Proyecto : "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCA, APURIMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON Dep. : APURIMAC
Descripción : CALICATA Provincia : CHINCHEROS
Fecha : DICIEMBRE DEL 2025 Distrito : OCOBAMBA
Muestra : M-02 + DIATOMITA CALCINADA AL 6% Ubicación : SECTOR SARAHUARCA
Calicata : CC-02 - PROG. 26+440Km

COMPACTACIÓN CBR

NUMERO DE MOLDE	I		II		III	
GOLPES POR CAPA	12		25		56	
COND. DE MUESTRA	SIN MOJAR	MOJA.	SIN MOJAR	MOJA.	SIN MOJAR	MOJA.
PESO MOLDE + SUELO HUMEDO	7485		7665		7992	
PESO DEL MOLDE(g)	4200		4200		4200	
PESO DEL SUELO HUMEDO(g)	3285		3465		3792	
VOLUMEN DEL MOLDE(cm3)	2105		2105		2105	
DENSIDAD HUMEDA(g/cm3)	1.561		1.646		1.801	
% DE HUMEDAD	15.21		15.59		16.60	
DENSIDAD SECA	1.355		1.424		1.545	
Nro DE TARRO	12	14	21	20	31	18
TARRO + SUELO HUMEDO	50.12	48.65	53.62	54.15	51.2	51.62
TARRO + SUELO SECO	45.1	43.65	47.25	48.85	45.52	46.01
AGUA	5.02	5	6.37	5.3	5.68	5.61
PESO DEL TARRO	11.2	11.62	10.58	10.48	11.66	11.84
PESO DEL SUELO SECO	33.9	32.03	36.67	38.37	33.86	34.17
% DE HUMEDAD	14.81	15.61	17.37	13.81	16.77	16.42
HUMEDAD PROMEDIO	15.21		15.59		16.60	

ENSAYO DE HINCHAMIENTO

N° MOLDE			I			II			III		
FECHA	DIA	HORA	LECT. DEFOR	EXPANSIÓN		LECT. DEFOR	EXPANSIÓN		LECT. DEFOR	EXPANSIÓN	
				m.m	%		m.m	%		m.m	%
DIC -2025	1	0	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DIC -2025	2	24	0.14	0.14	0.11	0.13	0.13	0.11	0.46	0.46	0.38
DIC -2025	3	48	0.25	0.25	0.20	0.44	0.44	0.37	0.75	0.75	0.63
DIC -2025	4	72	0.46	0.46	0.37	0.65	0.65	0.54	1.03	1.03	0.86
DIC -2025	5	96	0.45	0.45	0.36	0.65	0.65	0.54	1.02	1.02	0.85

ENSAYO CARGA - PENETRACION

PENETRACIÓN		MOLDE I		CBR	MOLDE II		CBR	MOLDE III		CBR
m.m	pulg	CARGA	ESFUERZO	%	CARGA	ESFUERZO	%	CARGA	ESFUERZO	%
0.00	0.000	0	0.00		0.0	0.00		0.0	0.00	
0.64	0.025	65.1	3.31		71.9	3.66		104.7	5.33	
1.27	0.050	75.9	3.86		85.7	4.36		118.7	6.04	
1.91	0.075	84.1	4.28		96.7	4.93		138.2	7.04	
2.54	0.100	90.8	4.62	6.63	109.2	5.56	7.97	145.2	7.39	10.60
5.08	0.200	108.5	5.52	5.28	139.6	7.11	6.79	156.4	7.96	7.61
7.62	0.300	124.7	6.35		164.4	8.37		160.6	8.18	
10.16	0.400	138.3	7.04		176.9	9.01		169.0	8.61	
12.70	0.500	157.3	8.01		182.4	9.29		184.3	9.38	

DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.

ING. ARTURO DELGADO BALDEON
JEFE DE LABORATORIO
RUC: 20454399391



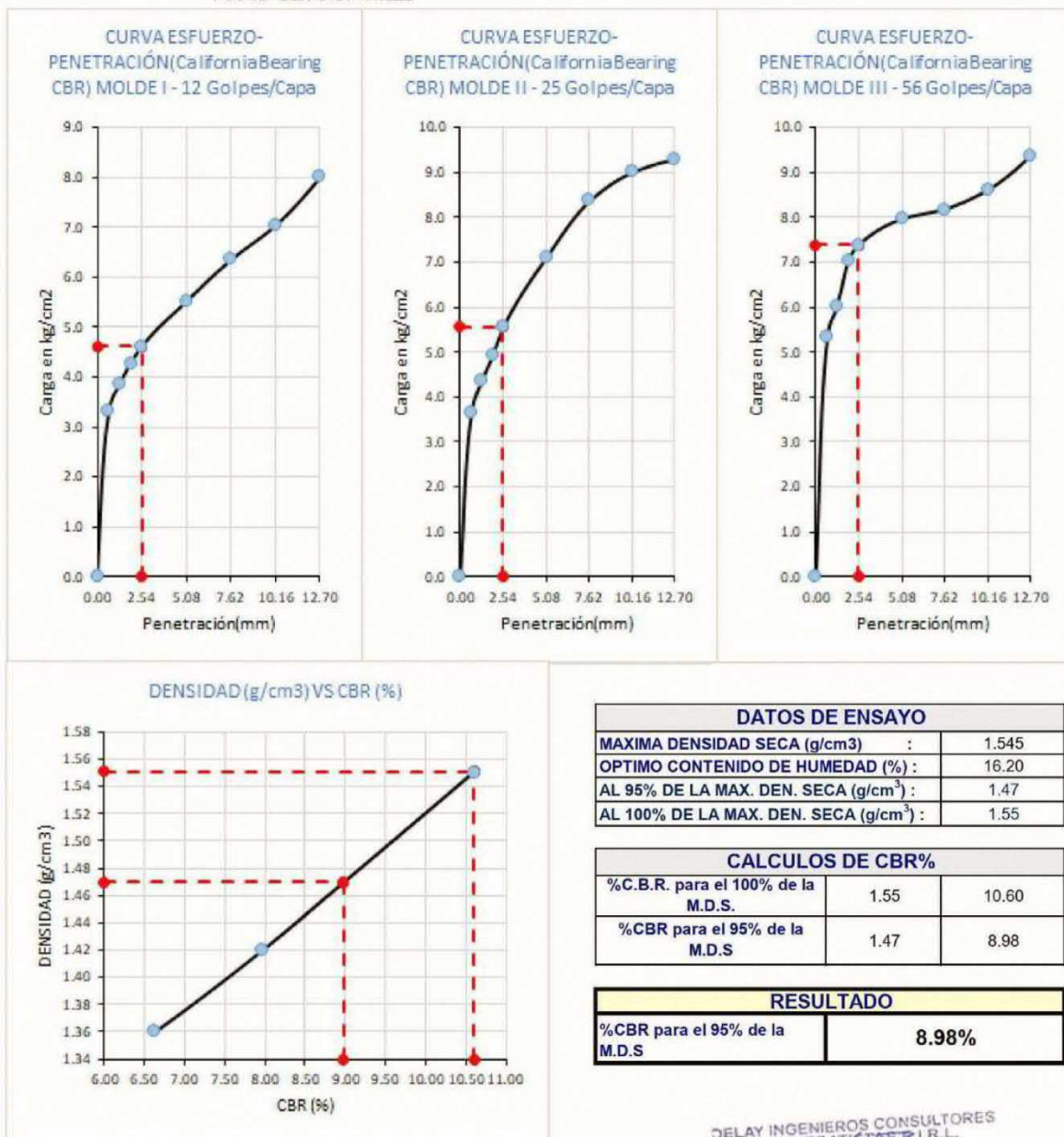
VALOR SOPORTE RELATIVO (C.B.R.) ASTM - D 1883 MTC E 132

Proyecto

: "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON
Descripción : CALICATA
Fecha : DICIEMBRE DEL 2025
Muestra : M-02 + DIATOMITA CALCINADA AL 6%
Calicata : CC-02 - PROG. 26+440Km

Dep. : APURIMAC
Provincia : CHINCHEROS
Distrito : OCOBAMBA
Ubicación : SECTOR SARAHUARCAY



DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.
Arturo Delgado Baldeon
ING. ARTURO DELGADO BALDEON
JEFE DE LABORATORIO
RUC: 20494308891



VALOR SOPORTE RELATIVO (C.B.R.) ASTM - D 1883 MTC E 132

Proyecto : "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCA, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON Dep. : APURIMAC
Descripción : CALICATA Provincia : CHINCHEROS
Fecha : DICIEMBRE DEL 2025 Distrito : OCOBAMBA
Muestra : M-03 + DIATOMITA CALCINADA AL 6% Ubicación : SECTOR SARAHUARCA
Calicata : CC-02 - PROG. 26+440Km

COMPACTACIÓN CBR

NUMERO DE MOLDE	I		II		III	
GOLPES POR CAPA	12		25		56	
COND. DE MUESTRA	SIN MOJAR	MOJA.	SIN MOJAR	MOJA.	SIN MOJAR	MOJA.
PESO MOLDE + SUELO HUMEDO	7460		7659		7985	
PESO DEL MOLDE(g)	4200		4200		4200	
PESO DEL SUELO HUMEDO(g)	3260		3459		3785	
VOLUMEN DEL MOLDE(cm ³)	2105		2105		2105	
DENSIDAD HUMEDA(g/cm ³)	1.549		1.643		1.798	
% DE HUMEDAD	15.18		15.76		16.82	
DENSIDAD SECA	1.345		1.420		1.539	
Nro DE TARRO	20	15	10	5	8	14
TARRO + SUELO HUMEDO	53.26	50.52	49.85	51.24	51.32	51.48
TARRO + SUELO SECO	47.52	45.62	44.62	45.85	45.21	46.05
AGUA	5.74	4.9	5.23	5.39	6.11	5.43
PESO DEL TARRO	11.65	11.51	11.36	11.71	11.25	11.36
PESO DEL SUELO SECO	35.87	34.11	33.26	34.14	33.96	34.69
% DE HUMEDAD	16.00	14.37	15.72	15.79	17.99	15.65
HUMEDAD PROMEDIO	15.18		15.76		16.82	

ENSAYO DE HINCHAMIENTO

N° MOLDE			I			II			III		
FECHA	DIA	HORA	LECT. DEFOR	EXPANSIÓN		LECT. DEFOR	EXPANSIÓN		LECT. DEFOR	EXPANSIÓN	
				m.m	%		m.m	%		m.m	%
DIC -2025	1	0	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DIC -2025	2	24	0.14	0.14	0.11	0.12	0.12	0.10	0.44	0.44	0.37
DIC -2025	3	48	0.26	0.26	0.21	0.45	0.45	0.38	0.75	0.75	0.63
DIC -2025	4	72	0.45	0.45	0.36	0.64	0.64	0.53	1.02	1.02	0.85
DIC -2025	5	96	0.45	0.45	0.36	0.65	0.65	0.54	1.02	1.02	0.85

ENSAYO CARGA - PENETRACION

PENETRACIÓN		MOLDE I		CBR	MOLDE II		CBR	MOLDE III		CBR
m.m	pulg	CARGA	ESFUERZO	%	CARGA	ESFUERZO	%	CARGA	ESFUERZO	%
0.00	0.000	0	0.00		0.0	0.00		0.0	0.00	
0.64	0.025	56.9	2.90		94.2	4.80		127.3	6.48	
1.27	0.050	67.8	3.45		103.3	5.26		136.3	6.94	
1.91	0.075	81.4	4.15		113.9	5.80		146.8	7.48	
2.54	0.100	92.2	4.70	6.73	123.0	6.27	8.98	158.8	8.09	11.59
5.08	0.200	108.5	5.53	5.28	159.5	8.13	7.76	172.3	8.77	8.38
7.62	0.300	124.7	6.35		174.7	8.90		181.3	9.23	
10.16	0.400	142.4	7.26		186.8	9.52		193.2	9.84	
12.70	0.500	157.3	8.01		197.4	10.06		199.2	10.14	

DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.

ING. ARTURO DELGADO BALDEON
JEFE DE LABORATORIO
RUC : 264493392121



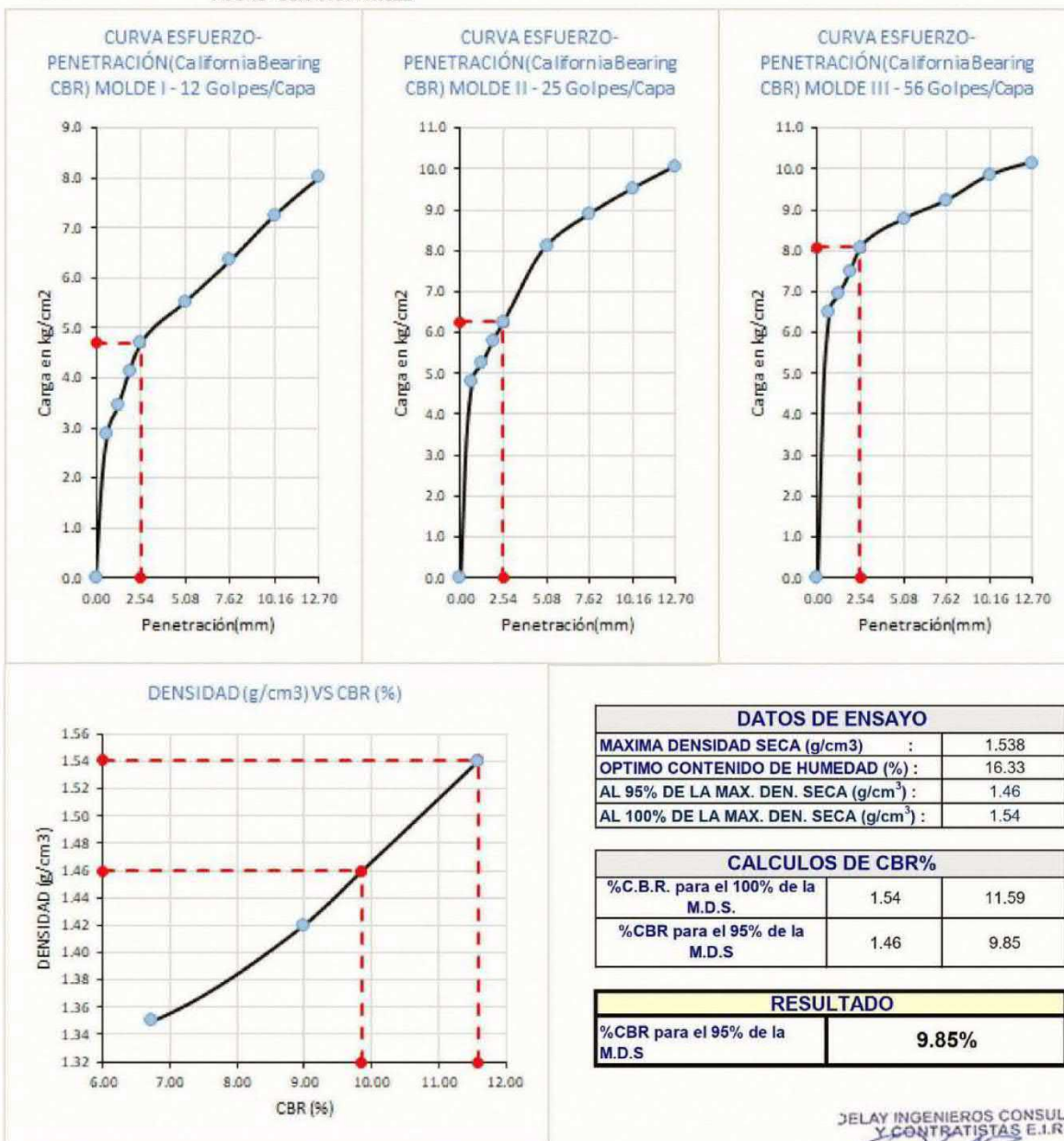
VALOR SOPORTE RELATIVO (C.B.R.) ASTM - D 1883 MTC E 132

Proyecto

: "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON
Descripción : CALICATA
Fecha : DICIEMBRE DEL 2025
Muestra : M-03 + DIATOMITA CALCINADA AL 6%
Calicata : CC-02 - PROG. 26+440Km

Dep. : APURIMAC
Provincia : CHINCHEROS
Distrito : OCOBAMBA
Ubicación : SECTOR SARAHUARCAY



DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.
(Firma)
ING. ARTURO DELGADO BALDEÓN
JEFE DE LABORATORIO
RUC: 204435001



VALOR SOPORTE RELATIVO (C.B.R.) ASTM - D 1883 MTC E 132

Proyecto : "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON
Descripción : CALICATA
Fecha : DICIEMBRE DEL 2025
Muestra : M-01 + DIATOMITA CALCINADA AL 9%
Calicata : CC-02 - PROG. 26+440Km

Dep. : APURIMAC
Provincia : CHINCHEROS
Distrito : OCOBAMBA
Ubicación : SECTOR SARAHUARCAY

COMPACTACIÓN CBR

NUMERO DE MOLDE	I		II		III	
GOLPES POR CAPA	12		25		56	
COND. DE MUESTRA	SIN MOJAR	MOJA.	SIN MOJAR	MOJA.	SIN MOJAR	MOJA.
PESO MOLDE + SUELO HUMEDO	7430		7662		7998	
PESO DEL MOLDE(g)	4200		4200		4200	
PESO DEL SUELO HUMEDO(g)	3230		3462		3798	
VOLUMEN DEL MOLDE(cm ³)	2105		2105		2105	
DENSIDAD HUMEDA(g/cm ³)	1.534		1.645		1.804	
% DE HUMEDAD	15.78		16.33		17.96	
DENSIDAD SECA	1.325		1.414		1.530	
Nro DE TARRO	11	21	20	5	10	14
TARRO + SUELO HUMEDO	53.62	47.95	53.62	54.21	52.15	51.48
TARRO + SUELO SECO	47.92	42.95	47.95	47.95	46.2	45.12
AGUA	5.7	5	5.67	6.26	5.95	6.36
PESO DEL TARRO	11.62	11.42	11.32	11.5	11.41	11.32
PESO DEL SUELO SECO	36.3	31.53	36.63	36.45	34.79	33.8
% DE HUMEDAD	15.70	15.86	15.48	17.17	17.10	18.82
HUMEDAD PROMEDIO	15.78		16.33		17.96	

ENSAYO DE HINCHAMIENTO

N° MOLDE			I			II			III		
FECHA	DIA	HORA	LECT. DEFOR	EXPANSIÓN		LECT. DEFOR	EXPANSIÓN		LECT. DEFOR	EXPANSIÓN	
				m.m	%		m.m	%		m.m	%
DIC -2025	1	0	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DIC -2025	2	24	0.12	0.12	0.10	0.12	0.12	0.10	0.42	0.42	0.35
DIC -2025	3	48	0.24	0.24	0.19	0.42	0.42	0.35	0.73	0.73	0.61
DIC -2025	4	72	0.42	0.42	0.34	0.62	0.62	0.52	1.00	1.00	0.83
DIC -2025	5	96	0.42	0.42	0.34	0.62	0.62	0.52	1.02	1.02	0.85

ENSAYO CARGA - PENETRACION

PENETRACIÓN		MOLDE I		CBR	MOLDE II		CBR	MOLDE III		CBR
m.m	pulg	CARGA	ESFUERZO	%	CARGA	ESFUERZO	%	CARGA	ESFUERZO	%
0.00	0.000	0	0.00		0.0	0.00		0.0	0.00	
0.64	0.025	54.3	2.77		55.9	2.85		82.8	4.22	
1.27	0.050	65.1	3.32		67.1	3.42		95.5	4.86	
1.91	0.075	76.0	3.87		80.8	4.12		107.0	5.45	
2.54	0.100	82.7	4.21	6.04	92.0	4.69	6.72	121.0	6.16	8.83
5.08	0.200	96.3	4.91	4.69	105.7	5.38	5.14	129.9	6.61	6.32
7.62	0.300	101.7	5.18		118.1	6.02		140.1	7.13	
10.16	0.400	115.3	5.87		128.0	6.52		154.1	7.85	
12.70	0.500	132.9	6.77		139.2	7.09		168.1	8.56	

DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.

ING. ARTURO DELGADO BALDEON
JEFE DE LABORATORIO
19/12/2025 10:20 AM



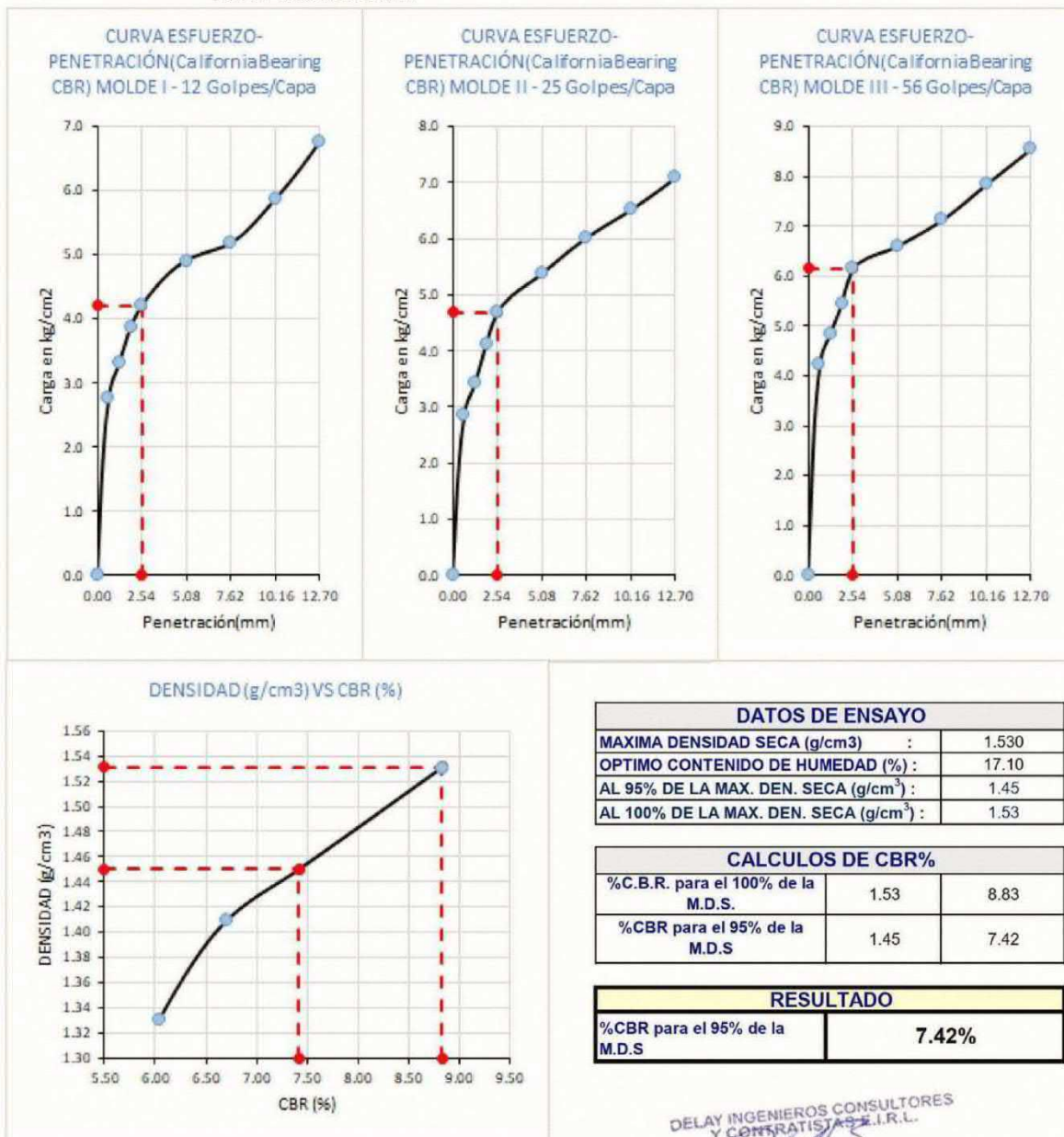
VALOR SOPORTE RELATIVO (C.B.R.) ASTM - D 1883 MTC E 132

Proyecto

: "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON
Descripción : CALICATA
Fecha : DICIEMBRE DEL 2025
Muestra : M-01 + DIATOMITA CALCINADA AL 9%
Calicata : CC-02 - PROG. 26+440Km

Dep. : APURIMAC
Provincia : CHINCHEROS
Distrito : OCOBAMBA
Ubicación : SECTOR SARAHUARCAY



DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.
[Firma]
ING. ARTURO DELGADO BALDEON
JEFE DE LABORATORIO
RUC: 26104359401



VALOR SOPORTE RELATIVO (C.B.R.) ASTM - D 1883 MTC E 132

Proyecto : "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCA, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON
Descripción : CALICATA
Fecha : DICIEMBRE DEL 2025
Muestra : M-02 + DIATOMITA CALCINADA AL 9%
Calicata : CC-02 - PROG. 26+440Km
Dep. : APURIMAC
Provincia : CHINCHEROS
Distrito : OCOBAMBA
Ubicación : SECTOR SARAHUARCA

COMPACTACIÓN CBR

NUMERO DE MOLDE	I		II		III	
GOLPES POR CAPA	12		25		56	
COND. DE MUESTRA	SIN MOJAR	MOJA.	SIN MOJAR	MOJA.	SIN MOJAR	MOJA.
PESO MOLDE + SUELO HUMEDO	7425		7659		7990	
PESO DEL MOLDE(g)	4200		4200		4200	
PESO DEL SUELO HUMEDO(g)	3225		3459		3790	
VOLUMEN DEL MOLDE(cm3)	2105		2105		2105	
DENSIDAD HUMEDA(g/cm3)	1.532		1.643		1.800	
% DE HUMEDAD	15.80		17.16		18.03	
DENSIDAD SECA	1.323		1.403		1.525	
Nro DE TARRO	5	10	2	7	4	13
TARRO + SUELO HUMEDO	50.32	50.21	52.12	51.78	50.26	51.96
TARRO + SUELO SECO	45.26	44.65	46.11	45.95	43.95	46.01
AGUA	5.06	5.56	6.01	5.83	6.31	5.95
PESO DEL TARRO	11.48	11.2	11.62	11.45	10.59	11.32
PESO DEL SUELO SECO	33.78	33.45	34.49	34.5	33.36	34.69
% DE HUMEDAD	14.98	16.62	17.43	16.90	18.91	17.15
HUMEDAD PROMEDIO	15.80		17.16		18.03	

ENSAYO DE HINCHAMIENTO

N° MOLDE			I			II			III		
FECHA	DIA	HORA	LECT. DEFOR	EXPANSIÓN		LECT. DEFOR	EXPANSIÓN		LECT. DEFOR	EXPANSIÓN	
				m.m	%		m.m	%		m.m	%
DIC -2025	1	0	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DIC -2025	2	24	0.13	0.13	0.10	0.13	0.13	0.11	0.41	0.41	0.34
DIC -2025	3	48	0.23	0.23	0.19	0.43	0.43	0.36	0.74	0.74	0.62
DIC -2025	4	72	0.42	0.42	0.34	0.63	0.63	0.53	1.00	1.00	0.83
DIC -2025	5	96	0.42	0.42	0.34	0.63	0.63	0.53	1.01	1.01	0.84

ENSAYO CARGA - PENETRACION

PENETRACIÓN		MOLDE I		CBR	MOLDE II		CBR	MOLDE III		CBR
m.m	pulg	CARGA	ESFUERZO	%	CARGA	ESFUERZO	%	CARGA	ESFUERZO	%
0.00	0.000	0	0.00		0.0	0.00		0.0	0.00	
0.64	0.025	47.5	2.42		83.2	4.24		89.7	4.54	
1.27	0.050	57.0	2.90		93.7	4.77		112.2	5.72	
1.91	0.075	74.7	3.80		102.8	5.24		127.1	6.47	
2.54	0.100	88.2	4.49	6.44	114.9	5.85	8.39	142.1	7.24	10.37
5.08	0.200	101.8	5.18	4.95	145.1	7.39	7.06	146.6	7.47	7.13
7.62	0.300	115.4	5.88		154.2	7.85		158.5	8.07	
10.16	0.400	133.0	6.77		178.4	9.09		181.0	9.22	
12.70	0.500	156.1	7.95		187.5	9.55		197.4	10.06	

DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.

ING. ARTURO DELGADO BALDEON
JEFE DE LABORATORIO
RUC: 20494309001



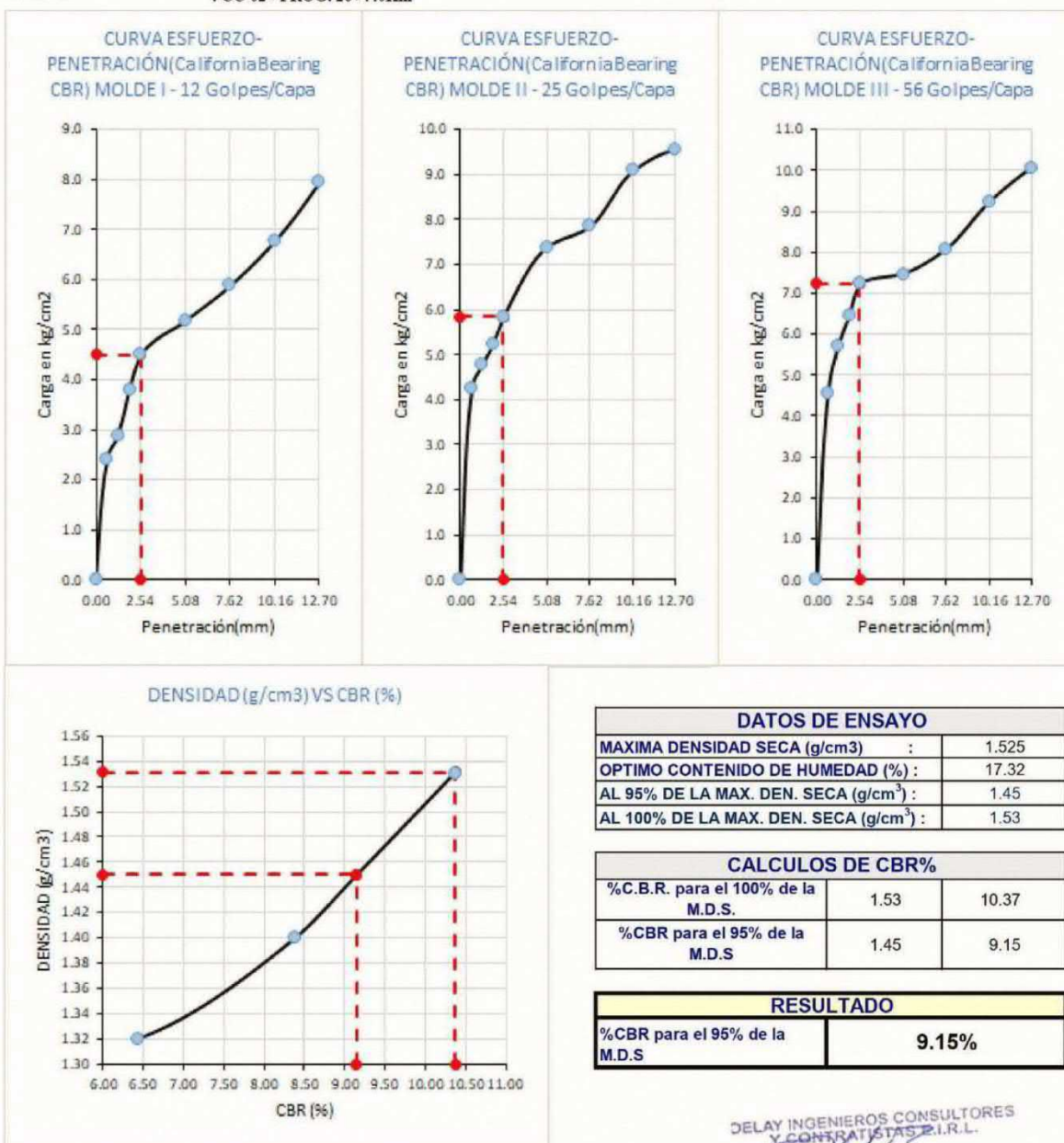
VALOR SOPORTE RELATIVO (C.B.R.) ASTM - D 1883 MTC E 132

Proyecto

: "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON
Descripción : CALICATA
Fecha : DICIEMBRE DEL 2025
Muestra : M-02 + DIATOMITA CALCINADA AL 9%
Calicata : CC-02 - PROG. 26+440Km

Dep. : APURIMAC
Provincia : CHINCHEROS
Distrito : OCOBAMBA
Ubicación : SECTOR SARAHUARCAY



DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.
Ing. Arturo Delgado Baldeon
ING. ARTURO DELGADO BALDEON
JEFE DE LABORATORIO
RUC: 20454399891



VALOR SOPORTE RELATIVO (C.B.R.) ASTM - D 1883 MTC E 132

Proyecto : "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCA, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON Dep. : APURIMAC
Descripción : CALICATA Provincia : CHINCHEROS
Fecha : DICIEMBRE DEL 2025 Distrito : OCOBAMBA
Muestra : M-03 + DIATOMITA CALCINADA AL 9% Ubicación : SECTOR SARAHUARCA
Calicata : CC-02 - PROG. 26+440Km

COMPACTACIÓN CBR

NUMERO DE MOLDE	I		II		III	
GOLPES POR CAPA	12		25		56	
COND. DE MUESTRA	SIN MOJAR	MOJA.	SIN MOJAR	MOJA.	SIN MOJAR	MOJA.
PESO MOLDE + SUELO HUMEDO	7432		7645		7981	
PESO DEL MOLDE(g)	4200		4200		4200	
PESO DEL SUELO HUMEDO(g)	3232		3445		3781	
VOLUMEN DEL MOLDE(cm3)	2105		2105		2105	
DENSIDAD HUMEDA(g/cm3)	1.535		1.637		1.796	
% DE HUMEDAD	15.93		17.13		18.16	
DENSIDAD SECA	1.324		1.397		1.520	
Nro DE TARRO	8	30	21	14	15	20
TARRO + SUELO HUMEDO	53.22	54.54	50.14	52.11	52.65	51.91
TARRO + SUELO SECO	47.45	48.65	44.62	45.95	46.56	45.4
AGUA	5.77	5.89	5.52	6.16	6.09	6.51
PESO DEL TARRO	11.5	11.41	11.02	11.4	11.32	11.19
PESO DEL SUELO SECO	35.95	37.24	33.6	34.55	35.24	34.21
% DE HUMEDAD	16.05	15.82	16.43	17.83	17.28	19.03
HUMEDAD PROMEDIO	15.93		17.13		18.16	

ENSAYO DE HINCHAMIENTO

N° MOLDE			I			II			III		
FECHA	DIA	HORA	LECT. DEFOR	EXPANSIÓN		LECT. DEFOR	EXPANSIÓN		LECT. DEFOR	EXPANSIÓN	
				m.m	%		m.m	%		m.m	%
DIC -2025	1	0	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DIC -2025	2	24	0.12	0.12	0.10	0.11	0.11	0.09	0.42	0.42	0.35
DIC -2025	3	48	0.21	0.21	0.17	0.41	0.41	0.34	0.74	0.74	0.62
DIC -2025	4	72	0.43	0.43	0.35	0.61	0.61	0.51	1.02	1.02	0.85
DIC -2025	5	96	0.42	0.42	0.34	0.62	0.62	0.52	1.01	1.01	0.84

ENSAYO CARGA - PENETRACION

PENETRACIÓN		MOLDE I		CBR	MOLDE II		CBR	MOLDE III		CBR
m.m	pulg	CARGA	ESFUERZO	%	CARGA	ESFUERZO	%	CARGA	ESFUERZO	%
0.00	0.000	0	0.00		0.0	0.00		0.0	0.00	
0.64	0.025	52.9	2.69		63.4	3.23		95.0	4.84	
1.27	0.050	61.1	3.11		75.8	3.86		101.8	5.19	
1.91	0.075	70.6	3.60		85.4	4.35		115.3	5.88	
2.54	0.100	88.2	4.49	6.44	103.4	5.27	7.55	126.2	6.43	9.21
5.08	0.200	109.9	5.60	5.35	128.2	6.53	6.24	134.3	6.84	6.54
7.62	0.300	123.5	6.29		144.7	7.37		156.0	7.95	
10.16	0.400	130.3	6.64		172.3	8.78		169.6	8.64	
12.70	0.500	158.8	8.09		186.1	9.48		184.5	9.40	

DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.

ING. ARTURO DELGADO BALDEON
JEFE DE LABORATORIO
RUC: 2000000000



VALOR SOPORTE RELATIVO (C.B.R.) ASTM - D 1883 MTC E 132

Proyecto

: "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON

Descripción : CALICATA

Fecha : DICIEMBRE DEL 2025

Muestra : M-03 + DIATOMITA CALCINADA AL 9%

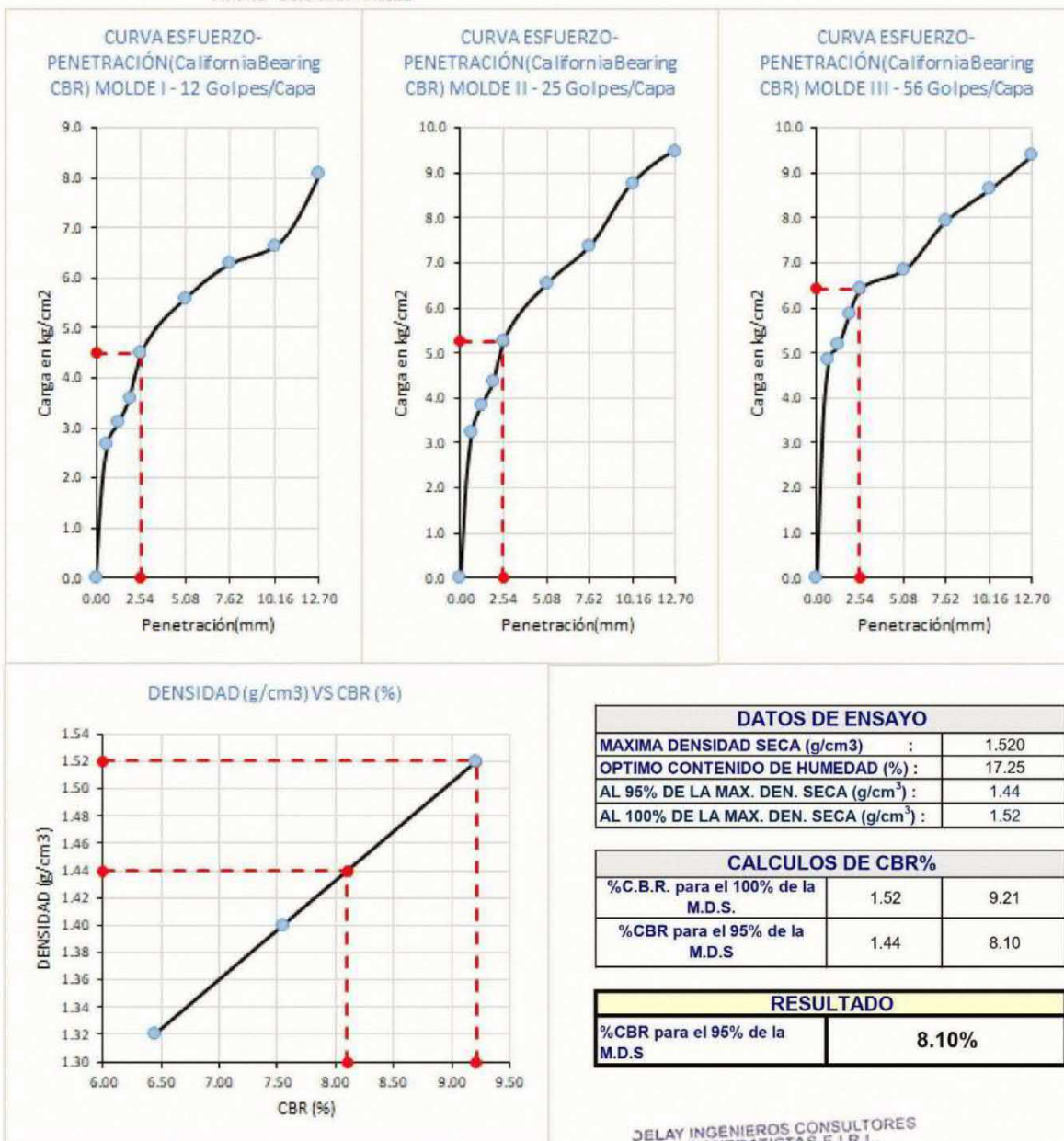
Calicata : CC-02 - PROG. 26+440Km

Dep. : APURIMAC

Provincia : CHINCHEROS

Distrito : OCOBAMBA

Ubicación : SECTOR SARAHUARCAY



DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.
Ing. Arturo Delgado Baldeon
ING. ARTURO DELGADO BALDEON
JEFE DE LABORATORIO
RUC: 20494399001



VALOR SOPORTE RELATIVO (C.B.R.) ASTM - D 1883 MTC E 132

Proyecto : "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCA, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON
Descripción : CALICATA
Fecha : DICIEMBRE DEL 2025
Muestra : M-01 + DIATOMITA CALCINADA AL 12%
Calicata : CC-02 - PROG. 26+440Km

Dep. : APURIMAC
Provincia : CHINCHEROS
Distrito : OCOBAMBA
Ubicación : SECTOR SARAHUARCA

COMPACTACIÓN CBR

NUMERO DE MOLDE	I		II		III	
GOLPES POR CAPA	12		25		56	
COND. DE MUESTRA	SIN MOJAR	MOJA.	SIN MOJAR	MOJA.	SIN MOJAR	MOJA.
PESO MOLDE + SUELO HUMEDO	7415		7652		7970	
PESO DEL MOLDE(g)	4200		4200		4200	
PESO DEL SUELO HUMEDO(g)	3215		3452		3770	
VOLUMEN DEL MOLDE(cm ³)	2105		2105		2105	
DENSIDAD HUMEDA(g/cm ³)	1.527		1.640		1.791	
% DE HUMEDAD	16.59		18.05		18.59	
DENSIDAD SECA	1.310		1.389		1.510	
Nro DE TARRO	21	15	5	14	10	16
TARRO + SUELO HUMEDO	53.26	52.49	52.2	52.62	51.32	51.21
TARRO + SUELO SECO	47.21	46.66	45.95	46.32	45.01	45.01
AGUA	6.05	5.83	6.25	6.3	6.31	6.2
PESO DEL TARRO	11.22	11.06	11.32	11.42	11.52	11.2
PESO DEL SUELO SECO	35.99	35.6	34.63	34.9	33.49	33.81
% DE HUMEDAD	16.81	16.38	18.05	18.05	18.84	18.34
HUMEDAD PROMEDIO	16.59		18.05		18.59	

ENSAYO DE HINCHAMIENTO

N° MOLDE			I			II			III		
FECHA	DIA	HORA	LECT. DEFOR	EXPANSIÓN		LECT. DEFOR	EXPANSIÓN		LECT. DEFOR	EXPANSIÓN	
				m.m	%		m.m	%		m.m	%
DIC -2025	1	0	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DIC -2025	2	24	0.10	0.10	0.08	0.10	0.10	0.08	0.40	0.40	0.33
DIC -2025	3	48	0.18	0.18	0.15	0.38	0.38	0.32	0.72	0.72	0.60
DIC -2025	4	72	0.40	0.40	0.32	0.58	0.58	0.48	1.00	1.00	0.83
DIC -2025	5	96	0.40	0.40	0.32	0.60	0.60	0.50	1.00	1.00	0.83

ENSAYO CARGA - PENETRACION

PENETRACIÓN		MOLDE I		CBR	MOLDE II		CBR	MOLDE III		CBR
m.m	pulg	CARGA	ESFUERZO	%	CARGA	ESFUERZO	%	CARGA	ESFUERZO	%
0.00	0.000	0	0.00		0.0	0.00		0.0	0.00	
0.64	0.025	47.5	2.42		55.0	2.80		73.8	3.76	
1.27	0.050	61.0	3.11		68.1	3.47		83.2	4.24	
1.91	0.075	70.5	3.59		75.9	3.87		100.6	5.13	
2.54	0.100	81.4	4.15	5.94	86.4	4.40	6.31	110.0	5.60	8.03
5.08	0.200	92.2	4.70	4.49	107.3	5.47	5.22	127.5	6.50	6.20
7.62	0.300	101.7	5.18		124.3	6.33		138.2	7.04	
10.16	0.400	116.6	5.94		137.4	7.00		147.6	7.52	
12.70	0.500	132.9	6.77		154.4	7.87		154.3	7.86	

DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.

ING. ARTURO DELGADO BALDEON
JEFE DE LABORATORIO
RUC: 2060439291



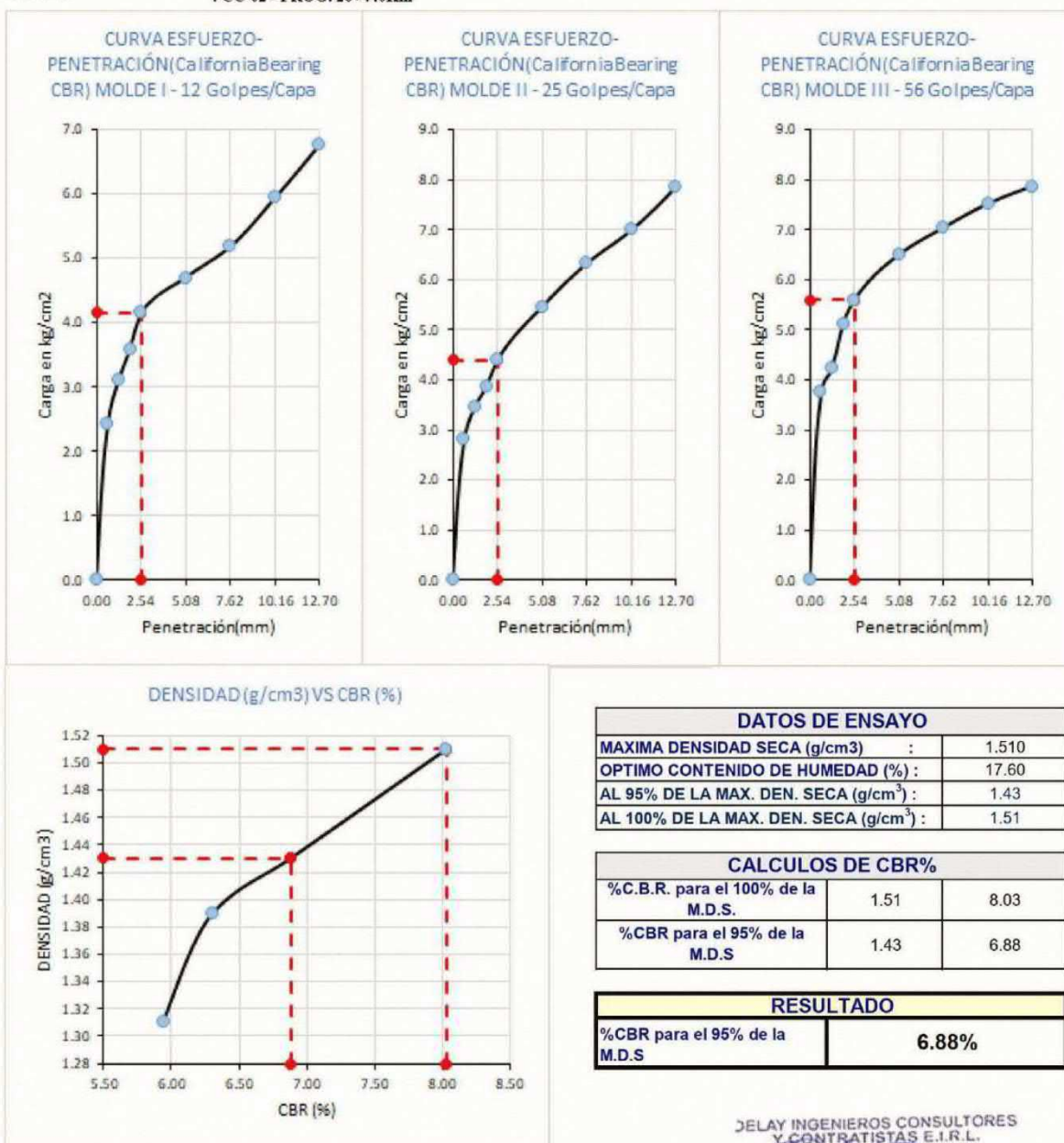
VALOR SOPORTE RELATIVO (C.B.R.) ASTM - D 1883 MTC E 132

Proyecto

: "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON
Descripción : CALICATA
Fecha : DICIEMBRE DEL 2025
Muestra : M-01 + DIATOMITA CALCINADA AL 12%
Calicata : CC-02 - PROG. 26+440Km

Dep. : APURIMAC
Provincia : CHINCHEROS
Distrito : OCOBAMBA
Ubicación : SECTOR SARAHUARCAY



DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.
Arturo Delgado Baldeón
ING. ARTURO DELGADO BALDEÓN
JEFE DE LABORATORIO
RUC: 2040439907

Proyecto : "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCA Y APURÍMAC"

Dep. : APURIMAC
Provincia : CHINCHEROS
Distrito : OCOBAMBA
Ubicación : SECTOR SARAHUARCA

NUMERO DE MOLDE	I		II		III	
GOLPES POR COLPA	12		25		56	
COND. DE MUESTRA	SIN MOJAR	MOJA.	SIN MOJAR	MOJA.	SIN MOJAR	MOJA.
PESO MOLDE + SUELO HUMEDO	7432		7652		7985	
PESO DEL MOLDE(g)	4200		4200		4200	
PESO DEL SUELO HUMEDO(g)	3232		3452		3785	
VOLUMEN DEL MOLDE(cm3)	2105		2105		2105	
DENSIDAD HUMEDA(g/cm3)	1.535		1.640		1.798	
% DE HUMEDAD	17.31		18.72		19.49	
DENSIDAD SECA	1.309		1.381		1.505	
Nro DE TARRO	1	15	2	4	12	5
TARRO + SUELO HUMEDO	52.62	52.15	50.23	51.14	52.62	51.49
TARRO + SUELO SECO	46.81	45.92	44.01	44.95	45.95	44.95
AGUA	5.81	6.23	6.22	6.19	6.67	6.54
PESO DEL TARRO	11.62	11.52	11.4	11.25	11.5	11.63
PESO DEL SUELO SECO	35.19	34.4	32.61	33.7	34.45	33.32
% DE HUMEDAD	16.51	18.11	19.07	18.37	19.36	19.63
HUMEDAD PROMEDIO	17.31		18.72		19.49	

N° MOLDE			I			II			III		
FECHA	DIA	HORA	LECT. DEFOR	EXPANSIÓN		LECT. DEFOR	EXPANSIÓN		LECT. DEFOR	EXPANSIÓN	
				m.m	%		m.m	%		m.m	%
DIC -2025	1	0	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DIC -2025	2	24	0.10	0.10	0.08	0.10	0.10	0.08	0.38	0.38	0.32
DIC -2025	3	48	0.16	0.16	0.13	0.36	0.36	0.30	0.70	0.70	0.58
DIC -2025	4	72	0.40	0.40	0.32	0.56	0.56	0.47	1.00	1.00	0.83
DIC -2025	5	96	0.40	0.40	0.32	0.60	0.60	0.50	1.00	1.00	0.83

PENETRACIÓN		MOLDE I		CBR	MOLDE II		CBR	MOLDE III		CBR
m.m	pulg	CARGA	ESFUERZO	%	CARGA	ESFUERZO	%	CARGA	ESFUERZO	%
0.00	0.000	0	0.00		0.0	0.00		0.0	0.00	
0.64	0.025	54.2	2.76		65.2	3.32		79.1	4.03	
1.27	0.050	61.0	3.11		79.7	4.06		93.5	4.76	
1.91	0.075	70.5	3.59		88.4	4.50		107.8	5.49	
2.54	0.100	78.6	4.00	5.74	97.1	4.95	7.09	122.2	6.22	8.92
5.08	0.200	99.0	5.04	4.82	123.1	6.27	5.99	133.7	6.81	6.51
7.62	0.300	115.2	5.87		134.7	6.86		140.9	7.18	
10.16	0.400	131.5	6.70		152.1	7.75		161.0	8.20	
12.70	0.500	155.9	7.94		172.4	8.78		171.1	8.71	

DELAY INGENIEROS CONSULTORES
 Y CONTRATISTAS E.I.R.L.
 ING. ARTURO DELGADO BALDEON
 JEFE DE LABORATORIO
 994-4471, 994-4472, 994-4473

**VALOR SOPORTE RELATIVO (C.B.R.) ASTM - D 1883 MTC E 132**

Proyecto

: "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON

Descripción : CALICATA

Fecha : DICIEMBRE DEL 2025

Muestra : M-02 + DIATOMITA CALCINADA AL 12%

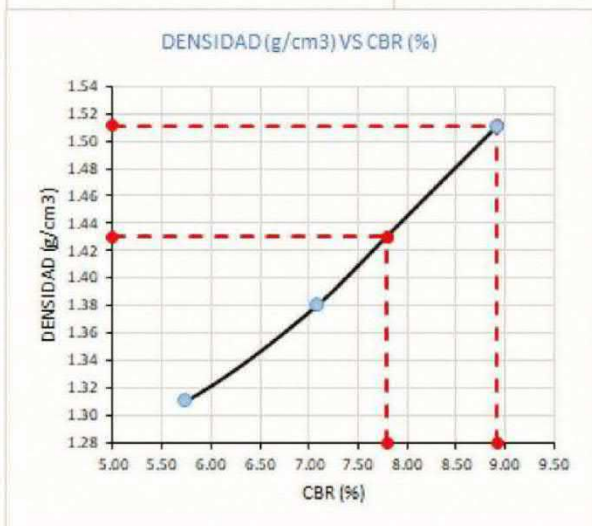
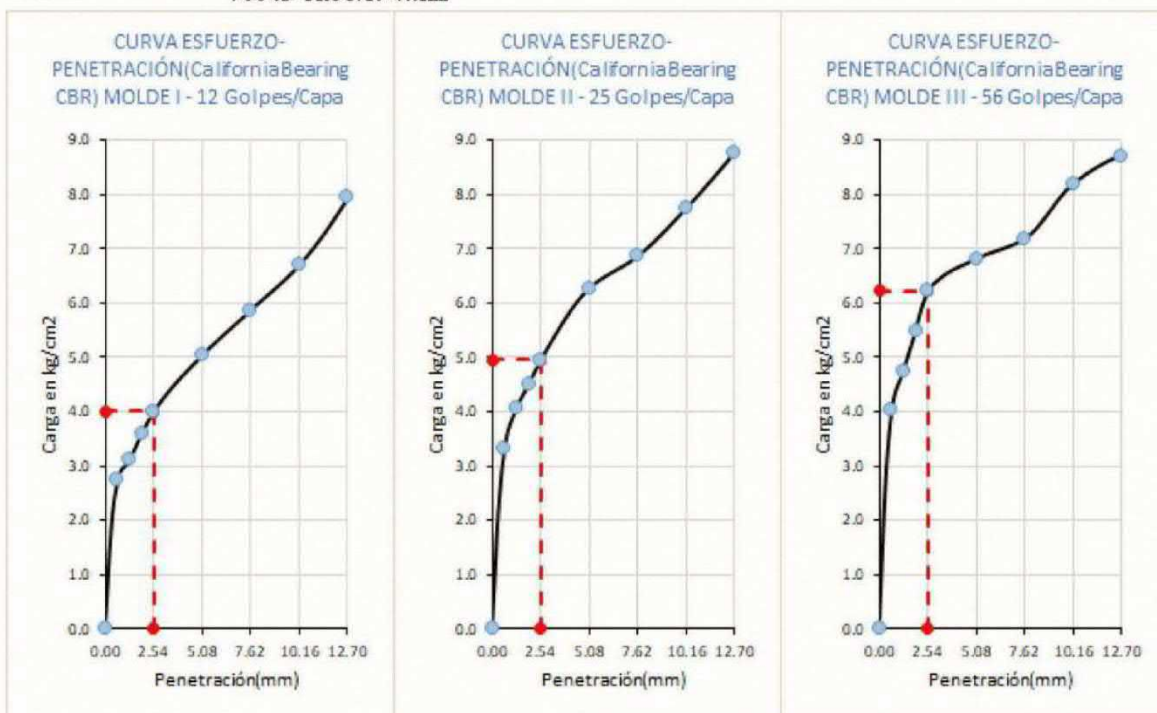
Calicata : CC-02 - PROG. 26+440Km

Dep. : APURIMAC

Provincia : CHINCHEROS

Distrito : OCOBAMBA

Ubicación : SECTOR SARAHUARCAY



DATOS DE ENSAYO	
MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm ³) :	1.505
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) :	18.00
AL 95% DE LA MAX. DEN. SECA (g/cm ³) :	1.43
AL 100% DE LA MAX. DEN. SECA (g/cm ³) :	1.51

CALCULOS DE CBR%		
%C.B.R. para el 100% de la M.D.S.	1.51	8.92
%CBR para el 95% de la M.D.S.	1.43	7.79

RESULTADO	
%CBR para el 95% de la M.D.S	7.79%

DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.
[Signature]
ING. ARTURO DELGADO BALDEON
JEFE DE LABORATORIO



VALOR SOPORTE RELATIVO (C.B.R.) ASTM - D 1883 MTC E 132

Proyecto : "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON
Descripción : CALICATA
Fecha : DICIEMBRE DEL 2025
Muestra : M-03 + DIATOMITA CALCINADA AL 12%
Calicata : CC-02 - PROG. 26+440Km

Dep. : APURIMAC
Provincia : CHINCHEROS
Distrito : OCOBAMBA
Ubicación : SECTOR SARAHUARCAY

COMPACTACIÓN CBR

NUMERO DE MOLDE	I		II		III	
GOLPES POR CAPA	12		25		56	
COND. DE MUESTRA	SIN MOJAR	MOJA.	SIN MOJAR	MOJA.	SIN MOJAR	MOJA.
PESO MOLDE + SUELO HUMEDO	7401		7612		7963	
PESO DEL MOLDE(g)	4200		4200		4200	
PESO DEL SUELO HUMEDO(g)	3201		3412		3763	
VOLUMEN DEL MOLDE(cm3)	2105		2105		2105	
DENSIDAD HUMEDA(g/cm3)	1.521		1.621		1.788	
% DE HUMEDAD	17.36		18.51		19.59	
DENSIDAD SECA	1.296		1.368		1.495	
Nro DE TARRO	2	6	12	14	10	5
TARRO + SUELO HUMEDO	53.33	52.69	50.21	51.41	50.62	51.25
TARRO + SUELO SECO	46.95	46.56	44.21	45.06	44.21	44.65
AGUA	6.38	6.13	6	6.35	6.41	6.6
PESO DEL TARRO	10.59	10.87	11.2	11.35	11.5	10.95
PESO DEL SUELO SECO	36.36	35.69	33.01	33.71	32.71	33.7
% DE HUMEDAD	17.55	17.18	18.18	18.84	19.60	19.58
HUMEDAD PROMEDIO	17.36		18.51		19.59	

ENSAYO DE HINCHAMIENTO

N° MOLDE			I			II			III		
FECHA	DIA	HORA	LECT. DEFOR	EXPANSIÓN		LECT. DEFOR	EXPANSIÓN		LECT. DEFOR	EXPANSIÓN	
				m.m	%		m.m	%		m.m	%
DIC -2025	1	0	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DIC -2025	2	24	0.10	0.10	0.08	0.09	0.09	0.08	0.39	0.39	0.33
DIC -2025	3	48	0.19	0.19	0.15	0.39	0.39	0.33	0.69	0.69	0.58
DIC -2025	4	72	0.39	0.39	0.31	0.58	0.58	0.48	1.00	1.00	0.83
DIC -2025	5	96	0.40	0.40	0.32	0.60	0.60	0.50	1.00	1.00	0.83

ENSAYO CARGA - PENETRACION

PENETRACIÓN		MOLDE I		CBR	MOLDE II		CBR	MOLDE III		CBR
m.m	pulg	CARGA	ESFUERZO	%	CARGA	ESFUERZO	%	CARGA	ESFUERZO	%
0.00	0.000	0	0.00		0.0	0.00		0.0	0.00	
0.64	0.025	54.3	2.77		58.0	2.95		74.6	3.80	
1.27	0.050	61.1	3.11		70.9	3.61		88.2	4.49	
1.91	0.075	70.6	3.60		78.7	4.01		105.9	5.39	
2.54	0.100	84.1	4.29	6.14	86.4	4.40	6.31	115.4	5.88	8.42
5.08	0.200	101.8	5.19	4.95	105.8	5.39	5.15	128.9	6.56	6.27
7.62	0.300	111.3	5.67		122.5	6.24		156.1	7.95	
10.16	0.400	128.9	6.57		136.7	6.96		164.2	8.36	
12.70	0.500	154.7	7.88		150.9	7.69		173.7	8.85	

DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.

ING. ARTURO DELGADO BALDEON
JEFE DE LABORATORIO
RUC: 2044439601



VALOR SOPORTE RELATIVO (C.B.R.) ASTM - D 1883 MTC E 132

Proyecto

: "INFLUENCIA DE LA DIATOMITA CALCINADA EN EL CBR, PLASTICIDAD Y PROCTOR DE LA SUBRASANTE ARCILLOSA EN LA CARRETERA AP-102, SECTOR SARAHUARCAY, APURÍMAC"

Solicitante : EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON

Descripción : CALICATA

Fecha : DICIEMBRE DEL 2025

Muestra : M-03 + DIATOMITA CALCINADA AL 12%

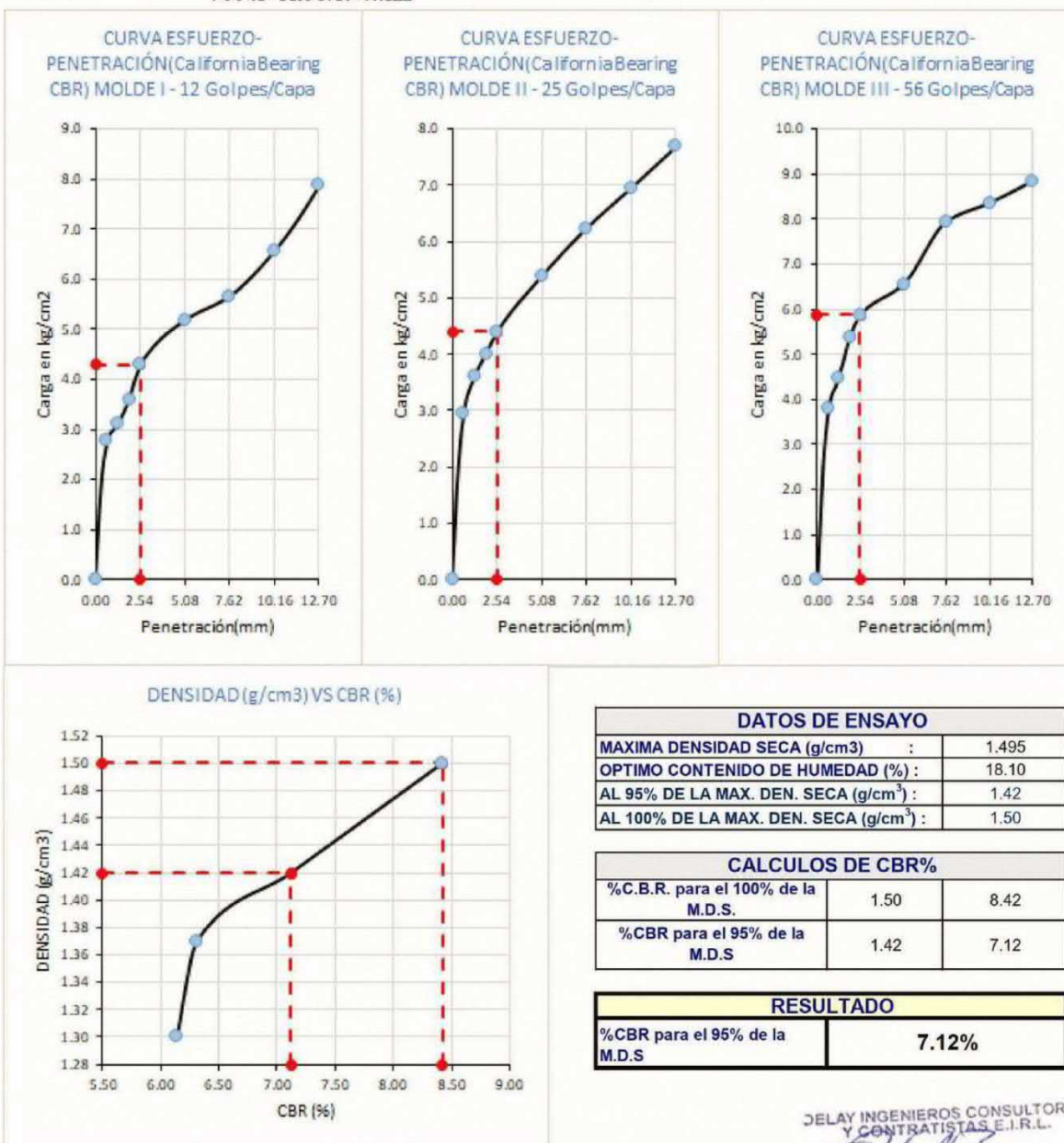
Calicata : CC-02 - PROG. 26+440Km

Dep. : APURIMAC

Provincia : CHINCHEROS

Distrito : OCOBAMBA

Ubicación : SECTOR SARAHUARCAY



DELAY INGENIEROS CONSULTORES
Y CONTRATISTAS E.I.R.L.
Ing. Arturo Delgado Baldeon
ING. ARTURO DELGADO BALDEON
JEFE DE LABORATORIO
RUC: 20494399691

**A.10 CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS UTILIZADOS EN LOS
ENSAYOS DE LA DIATOMITA CALCINADA**



INGEOTECON E.I.R.L.
MARIA DE LOS ANGELES PORTAL CORDOVA
INGENIERA CIVIL
CIP N° 334134

CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN



989 900 609 - 961 372 637



A.H. Cavadonga Mz P2 lote 8



www.ingetecon.com

Certificado de Calibración - Laboratorio de Masa y Balanzas

M-00743-007 R0

Calibration Certificate - Mass and Weighing Instruments Laboratory

Page / Pág 1 de 4

Equipo <i>Instrument</i>	INSTRUMENTO DE PESAJE NO AUTOMÁTICO
Fabricante <i>Manufacturer</i>	OHAUS
Modelo <i>Model</i>	PAJ4102
Número de Serie <i>Serial Number</i>	B640110613
Identificación Interna <i>Internal Identification</i>	BLZ-004
Carga Máxima <i>Maximum load</i>	4100 g
Solicitante <i>Customer</i>	INGEOTECON CONTRATISTAS Y EJECUTORES E.I.R.L.
Dirección <i>Address</i>	AAHH COVADONGA MZ P2 LOTE 08
Ciudad <i>City</i>	AYACUCHO - HUAMANGA
Fecha de Calibración <i>Date of calibration</i>	2025 - 02 - 05
Fecha de Emisión <i>Date of issue</i>	2025 - 02 - 10

Los resultados emitidos en este certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. Dichos resultados solo corresponden al ítem que se relaciona en esta página. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos y/o de la información suministrada por el solicitante.

Este certificado de calibración documenta y asegura la trazabilidad de los resultados reportados a patrones nacionales e internacionales, que reproducen las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

El usuario es responsable de la calibración de los instrumentos en apropiados intervalos de tiempo.

The results issued in this certificate relates to the time and conditions under which the measurements. These results correspond to the item that relates on page number one. The laboratory, which will not be liable for any damages that may arise from the improper use of the instruments and/or the information provided by the customer.

This calibration certificate documents and ensures the traceability of the reported results to national and international standards, which realize the units of measurement according to the International System of Units (SI).

The user is responsible for recalibrating the measuring instruments at appropriate time intervals.

Número de páginas del certificado, incluyendo anexos

04

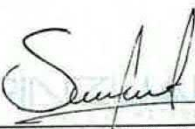
Number of pages of the certificate and documents attached

Sin la aprobación del Laboratorio de Metrología PINZUAR LTDA no se puede reproducir el informe, excepto cuando se reproduce en su totalidad, ya que proporciona la seguridad que las partes del certificado no se sacan de contexto. Los certificados de calibración sin firma no son válidos.

Without the approval of the Pinzuar Metrology Laboratory, the report can not be reproduced, except when it is reproduced in its entirety, since it provides the security that the parts of the certificate are not taken out of context. Unsigned calibration certificates are not valid.

Firmas que Autorizan el Certificado

Signatures Authorizing the Certificate


Ing. Sergio Iván Martínez
Director Laboratorio de Metrología


INGEOTECON E.I.R.L.
MARIA DE LOS ANGELES PORTAL CORDOVA
INGENIERA CIVIL
CIP N° 334134


Felix Jaramillo Castillo
Metrologo Laboratorio de Metrología

LM-PC-24-F-01 R 9.0



LABORATORIO DE METROLOGÍA PINZUAR LTDA.

Fuerza • Longitud • Masa • Temperatura

Calle Ricardo Palma No. 998 Urb. San Joaquín - Bellavista - Callao (+51 1) 562 1263 • www.pinzuar.com.co

Certificado de Calibración - Laboratorio de Temperatura
Calibration Certificate - Temperature Laboratory

T-00743-005 R0

Page / Pág. 1 de 7

Equipo <i>Instrument</i>	HORNO
Fabricante <i>Manufacturer</i>	PINZUAR
Modelo <i>Model</i>	PG-2004
Número de Serie <i>Serial Number</i>	119
Identificación Interna <i>Internal Identification</i>	HRN-002
Intervalo de Indicación <i>Indication Range</i>	10 °C a 200 °C
Intervalo del Controlador <i>Controller Range</i>	30 °C a 200 °C
Solicitante <i>Customer</i>	INGEOTECON CONTRATISTAS Y EJECTORES E.I.R.L.
Dirección <i>Address</i>	AAHH COVADONGA MZ P2 LOTE 08
Ciudad <i>City</i>	AYACUCHO - HUAMANGA
Ubicación del Equipo <i>Place of the instrument</i>	ZONA DE SECADO
Fecha de Calibración <i>Date of calibration</i>	2025-02-06
Fecha de Emisión <i>Date of issue</i>	2025-02-13

Los resultados emitidos en este certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. Dichos resultados solo corresponden al ítem que se relaciona en esta página. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos y/o de la información suministrada por el solicitante. Este certificado de calibración documenta y asegura la trazabilidad a patrones nacionales e internacionales, que reproducen las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

El usuario es responsable de la calibración de los instrumentos en apropiados intervalos de tiempo.

The results issued in this certificate relates to the time and conditions under which the measurements. These results correspond to the item that relates on page number one. The laboratory, which will not be liable for any damages that may arise from the improper use of the instruments and/or the information provided by the customer. This calibration certificate documents and ensures the traceability to national and international standards, which realize the units of measurement according to the International System of Units (SI).

The user is responsible for recalibrating the measuring instruments at appropriate time intervals.

Número de páginas del certificado, incluyendo anexos
Number of pages of the certificate and documents attached

07

Sin la aprobación del Laboratorio de Metrología Pinzuar Ltda. no se puede reproducir el informe, excepto cuando se reproduce en su totalidad, ya que proporciona la seguridad que las partes del certificado no se sacan de contexto. Los certificados de calibración sin firma no son válidos.
Without the approval of the Pinzuar Metrology Laboratory, the report can not be reproduced, except when it is reproduced in its entirety, since it provides the security that the parts of the certificate are not taken out of context. Unsigned calibration certificates are not valid.

Firmas Autorizadas
Authorized signatureS


Ing. Sergio Martinez
Director del Laboratorio-Pinzuar Ltda Sucursal del Perú


Felix Jaramillo Castillo
Metrólogo-Pinzuar Ltda Sucursal del Perú

LMPC-28-F-01 R1.0

INGEOTECON E.I.R.L.

MARIA DE LOS ANGELES PORTAL CORDOVA
INGENIERA CIVIL
CIP N° 334134

LABORATORIO DE METROLOGÍA PINZUAR LTDA.
Fuerza • Longitud • Masa • Temperatura

Calle Ricardo Palma No. 998 Urb. San Joaquín - Bellavista - Callao (+51 1) 562 1263 • www.pinzuar.com.co



LABORATORIO DE METROLOGÍA PINZUAR S.A.S.

Carrera 104 B No. 18 - 26 Bogotá D.C. - Colombia
(+57 60 1) 745 4555 • Cel.: 316 538 5810 - 317 423 3640
www.pinzuar.com.co

**LABORATORIO DE METROLOGÍA**ISO/IEC 17025:2017
11-LAC-034**Certificado de Calibración - Laboratorio de Longitud**

Calibration Certificate - Dimensional Metrology Laboratory

L-28362-022 RO

Page / Pág 1 de 3

Equipo <i>Instrument</i>	TAMIZ 8 in. PARA LAVADO
Fabricante <i>Manufacturer</i>	PINZUAR
Modelo <i>Model</i>	GRANOTEST
Número de Serie <i>Serial Number</i>	95457
Identificación Interna <i>Internal Identification</i>	TON200-04
Malla <i>Mesh</i>	No. 200
Solicitante <i>Customer</i>	INGEOTECON CONTRATISTAS Y EJECUTORES E.I.R.L.
Dirección <i>Address</i>	MZA. P2 LOTE. 8 A.H. COVADONGA AYACUCHO - HUAMANGA - AYACUCHO
Ciudad <i>City</i>	AYACUCHO

Fecha de Calibración
Date of calibration 2023 - 02 - 14

Fecha de Emisión
Date of issue 2023 - 02 - 21

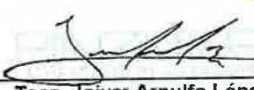
Número de páginas del certificado, incluyendo anexos
Number of pages of the certificate and documents attached

03

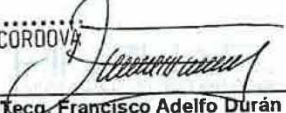
Sin la aprobación del Laboratorio de Metrología Pinzuar no se puede reproducir el informe, excepto cuando se reproduce en su totalidad, ya que proporciona la seguridad que las partes del certificado no se sacan de contexto. Los certificados de calibración sin firma no son válidos.

Without the approval of the Pinzuar Metrology Laboratory, the report can not be reproduced, except when it is reproduced in its entirety, since it provides the security that the parts of the certificate are not taken out of context. Unsigned calibration certificates are not valid.

Firmas que Autorizan Certificado
Signatures Authorizing the Certificate


Tceg. Jaiver Arnulfo López
Metrólogo Laboratorio de Metrología


MARIA DE LOS ANGELES PORTAL CORDOVA
INGENIERA CIVIL
CIP N° 334134


Tceg. Francisco Adelfo Durán
Metrólogo Laboratorio de Metrología

LM-PC-12-F-01 R13.5

ALTA TECNOLOGÍA CON CALIDAD HUMANA AL SERVICIO DEL MUNDO
Fuerza | Longitud | Masa | Par Torsional | Presión | Temperatura

A.11 CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS UTILIZADOS EN LOS ENSAYOS DE SUELO CON DIATOMITA CALCINADA

Delay-Ingenieros
Proyectos-estudios geotécnicos
y control de materiales



CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

LF-101-2025

Pág. 1 de 3

Expediente	: S-0329-2025
OBJETO DE PRUEBA	: MAQUINA PARA ENSAYOS C.B.R.
Capacidad	: 5 000 kgf
Dirección de carga	: ASCENDENTE
FABRICANTE	: NO INDICA
Modelo	: NO INDICA
Serie	: NO INDICA
Indicador Digital (modelo // Serie)	: HIGH WEIGHT//315-X6
Celda de Carga (modelo // Serie)	: NO INDICA
Ubicación	: LAB. DE ENSAYOS SOLICITANTE
Codigo Identificacion	: CM-741
Procedimiento de Calibracion	: El método utilizado fue de comparación directa aplicando Fuerza Indicada Constante.
Inspección general	: La prensa se encuentra en buen estado de funcionamiento
Intervalo calibrado	: De 500 a 5000 kgf 10% al 100%
Solicitante	: DELAY-INGENIEROS CONSULTORES Y CONTRATISTAS E.I.R.L.
Dirección	: JR. BELLIDO NRO. 722 - HUAMANGA - AYACUCHO
PATRON(ES) UTILIZADO(S)	: Tipo / Modelo CELDA DE CARGA Certif. de calibr. INF-LE 201-22 PUCP
Unidades de medida	: Sistema Internacional de Unidades (SI)
FECHA DE CALIBRACION	: 2025/10/06
FECHA DE EMISION	: 2025/10/06
FIRMAS AUTORIZADAS	

Jefe de Metrología
Luigi Asenjo



PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE AG4 INGENIERIA Y METROLOGIA S.R.L.



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

LF-101-2025

Pág. 2 de 3

Método de calibración: FUERZA INDICADA CONSTANTE

Condiciones Ambientales

Temperatura Ambiente Inicial °C	25.9	Temperatura Ambiente Final °C	26.0
Humedad Relativa Inicial %HR	15	Humedad Relativa Final %HR	15

DATOS DE CALIBRACIÓN

ESCALA: 49.03 kN Resolución: 0.001 kN Dirección de la carga: ASCENDENTE

Indicación de la máquina (F _i)			Indicaciones del patrón (series de mediciones)				
%	kN	kgf	0°	120°	No aplica	240°	Accesorios
			kN	kN	kN	kN	kN
10	4.90	500	4.87	4.88	No aplica	4.88	No aplica
20	9.81	1 000	9.76	9.76	No aplica	9.77	No aplica
30	14.71	1 500	14.67	14.67	No aplica	14.80	No aplica
40	19.61	2 000	19.59	19.59	No aplica	19.70	No aplica
50	24.52	2 500	24.51	24.51	No aplica	24.61	No aplica
60	29.42	3 000	29.44	29.42	No aplica	29.52	No aplica
70	34.32	3 500	34.35	34.35	No aplica	34.33	No aplica
80	39.23	4 000	39.27	39.27	No aplica	39.31	No aplica
90	44.13	4 500	44.21	44.18	No aplica	44.21	No aplica
100	49.03	5 000	49.11	49.08	No aplica	49.09	No aplica
Indicación después de carga:			0.00	0.00	0.00	0.00	No aplica

ESCALA: 049.03 kN Incertidumbre expandida % 0.096

Indicación de la máquina (F _i)			Cálculo de errores relativos				Resolución
%	kN	kgf	Exactitud	Repetibilidad	Reversibilidad	Accesorios	
			q (%)	b (%)	v (%)	Acces. (%)	a (%)
10	4.90	500	0.54	0.30	No aplica	No aplica	0.02
20	9.81	1 000	0.45	0.14	No aplica	No aplica	0.01
30	14.71	1 500	-0.04	0.87	No aplica	No aplica	0.01
40	19.61	2 000	-0.08	0.57	No aplica	No aplica	0.01
50	24.52	2 500	-0.10	0.40	No aplica	No aplica	0.00
60	29.42	3 000	-0.13	0.31	No aplica	No aplica	0.00
70	34.32	3 500	-0.05	0.07	No aplica	No aplica	0.00
80	39.23	4 000	-0.14	0.10	No aplica	No aplica	0.00
90	44.13	4 500	-0.16	0.08	No aplica	No aplica	0.00
100	49.03	5 000	-0.12	0.06	No aplica	No aplica	0.00

Error de cero fo (%)	0,000	0,000	0,000	No aplica	Err máx.(0) = 000
----------------------	-------	-------	-------	-----------	-------------------

FIRMAS AUTORIZADAS

Jefe de Metrología
Luigi Asenjo G



PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE AG4 INGENIERÍA Y METROLOGÍA S.R.L.

☎ 01 622 5224

☎ 997 045 343
961 739 849
955 851 191

✉ ventasag4ingenieria@gmail.com
ventas@ag4im.com

🌐 www.ag4ingenieria.com



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

LF-101-2025

Pág. 3 de 3

CLASIFICACIÓN DE

MAQUINA PARA ENSAYOS C.B.R.

ESCALA 5 000 kgf

Error de exactitud **0.54 %**

Error de repetibilidad **0.87 %**

Error de Reversibilidad No aplica

Error de cero 0

Error por accesorios 0 %

Resolución 0.01 En el 20 %

La calibración se efectuó siguiendo los lineamientos establecidos en el documento de referencia ISO 7500-1:2018 Metallic materials - Calibration and verification of static uniaxial testing machines - Part 1: Tension/compression testing machines - Calibration and verification of the force-measuring system, en donde se especifica un intervalo de temperatura comprendido entre 10°C a 35°C, con una variación máxima de 2°C durante cada serie de medición.

El factor de conversión utilizado para los calculos fue: (kN) a (N) = 1 000, tomado del documento NIST SPECIAL PUBLICATION 811: Guide for the use of the International System of Units (SI) - Anexo B8.

TRAZABILIDAD

AG4 INGENIERIA & METROLOGIA S.R.L., asegura el mantenimiento y la trazabilidad de sus patrones de trabajo utilizados en las mediciones, los cuales han sido calibrados por la Pontificia Universidad Catolica de Peru.

OBSERVACIONES .

1. Los cartas de calibración sin las firmas no tienen validez .

2.El usuario es responsable de la recalibración de los instrumentos de medición. "El tiempo entre dos verificaciones depende del tipo de máquina de ensayo, de la norma de mantenimiento y de la frecuencia de uso. A menos que se especifique lo contrario, se recomienda que se realicen verificaciones a intervalos no mayores a 12 meses." (ISO 7500-1).

3. "En cualquier caso, la máquina debe verificarse si se realiza un cambio de ubicación que requiera desmontaje, o si se somete a ajustes o reparaciones importantes." (ISO 7500-1).

4.Este documento expresa fielmente el resultado de las mediciones realizadas No podrá ser reproducido parcialmente, excepto cuando se haya obtenido permiso previamente por escrito del laboratorio que lo emite.

5. Los resultados contenido parcialmente en este informe se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos .

6. La incertidumbre de medición reportada ha sido calculada de acuerdo con las Guías OIML G1-100-en: 2008 (JCGM 100: 2008) y OIML G1-104-en: 2009 (JCGM 104: 2009) "Guía para la expresión de la incertidumbre en las Mediciones", la cual sugiere desarrollar un modelo matemático que tome en cuenta los factores de influencia durante La Incertidumbre indicada no incluye una estimación de las variaciones a largo plazo.

La Incertidumbre de medición reportada se denomina Incertidumbre expandida (U) y se obtiene de la multiplicación de la Incertidumbre Estándar Combinada (u) por el factor de cobertura (k). Generalmente se expresa un actor k=2 para un nivel de confianza de aproximadamente 95%.

FIRMAS AUTORIZADAS

Jefe de Metrologia

Luigi Asenjo G



PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE AG4 INGENIERIA Y METROLOGIA S.R.L.

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**
LL-789-2025

Expediente : S-0 329-2025

Solicitante : DELAY-INGENIEROS CONSULTORES Y CONTRATISTAS
E.I.R.L.

Dirección : JR. BELLIDO NRO. 722 - HUAMANGA - AYACUCHO

Instrumento de Medición : CAZUELA CASAGRANDE

Marca : NO INDICA

Modelo : NO INDICA

Serie : NO INDICA

Identificación : CZ-010

Procedencia : NO INDICA

Lugar de Calibración : LAB. DE ENSAYOS SOLICITANTE

Fecha de Calibración : 2025-10-06

Fecha de Emisión : 2025-10-06

Método de Calibración Empleado

La calibración se realizó por comparación directa usando un tacómetro y un Cronometro Patrón certificados, empleando el método de comparación entre las indicaciones de lectura del equipo Casagrande a calibrar versus las revoluciones por minuto medidas con el tacómetro patrón en un tiempo determinado.

Tomando Como referencia la Norma ASTM D 4318 y el Manual de Ensayos de Materiales (EM2000) Determinación de Límite Líquido de los Suelos MTC E 110 - 2000.

Condiciones Ambientales:

	Inicial	Final
Temperatura	25.4 °C	25.4 °C
Humedad Relativa	16 %	16 %

Observaciones:

- Se colocó una etiqueta con la indicación "CALIBRADO".
- Base endurecida Cumple con su referencia a rebote Seco

Los errores encontrados son menores a los Errores Máximos Permitidos (e.m.p) para su Clase de Exactitud.

Los resultados indicados en el presente documentos son válidos en el momento de la calibración y se refieren exclusivamente al instrumento calibrado, no debe utilizarse como certificado de conformidad de producto.

AG4 INGENIERIA & METROLOGIA. No se hace responsable por los perjuicios que pueda ocasionar el uso incorrecto o inadecuado de este instrumento y tampoco de interpretaciones incorrectas o indebidas del presente documento.

El usuario es responsable de la recalibración de sus instrumentos a intervalos apropiados de acuerdo al uso, conservación y mantenimiento del mismo y de acuerdo con las disposiciones legales vigentes.

El presente documento carece de valor sin firmas y sellos.


Luigi Asento G.
Jefe de Metrología



PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE AG4 INGENIERIA Y METROLOGIA S.R.L.



PATRONES DE REFERENCIA:

Los resultados de la calibración realizada son trazables a la Unidad de Medida de los Patrones Nacionales del Instituto Nacional de Calidad - INACAL en concordancia con el sistema Internacional de Unidades de Medida (SI) y el sistema Legal de Unidades del Perú (SLUMP).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
Patrón de referencia	Pie de rey Patrón	1AD-1143-2025

RESULTADOS

APARATO DE LIMITE LIQUIDO

	Descripción		Dimensiones			
			Métrico (mm)	Tolerancia (mm)	Inglés (in)	Tolerancia (in)
Conjunto de la cazuela	Radio de la copa	A	54.204	54 ±0.5	2.13	0.020
	Espesor de la copa	B	1.876	2 ±0.1	0.07	0.004
	Profundidad de la copa	C	27.552	27 ±0.5	1.08	0.020
Base	Copa desde la guía del elevador hasta la base	N	49.336	47 ±1	1.94	0.039
	Espesor	K	50.468	50 ±2	1.99	0.08
	Largo	L	151.306	150 ±2	5.96	0.08
	Ancho	M	125.456	125 ±2	4.94	0.08

RANURADOR

Espesor	a	10.16	0.1	0.40	0.004
Borde Cortante	b	2.09	0.1	0.08	0.004
Ancho	c	9.996	0.1	0.39	0.004

Incertidumbre

La incertidumbre de medición reportada ha sido calculada de acuerdo con las Guías OIML G1-100-en: 2008 (JCGM 100: 2008) y OIML G1-104-en: 2009 (JCGM 104: 2009) "Guía para la expresión de la incertidumbre en las Mediciones", la cual sugiere desarrollar un modelo matemático que tome en cuenta los factores de influencia durante La Incertidumbre indicada no incluye una estimación de las variaciones a largo plazo.

La Incertidumbre de medición reportada se denomina Incertidumbre expandida (U) y se obtiene de la multiplicación de la Incertidumbre Estándar Combinada (u) por el factor de cobertura (k). Generalmente se expresa un factor $k=2$ para un nivel de confianza de aproximadamente 95%.


Luigi Asenjo
Jefe de Metrología



PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE AG4 INGENIERÍA Y METROLOGÍA S.R.L.



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN LL-790-2025

Expediente : S-0329-2025

Solicitante : DELAY-INGENIEROS CONSULTORES Y CONTRATISTAS E.I.R.L.

Dirección : JR. BELLIDO NRO. 722 - HUAMANGA - AYACUCHO

Instrumento de Medición : MARTILLO PROCTOR MODIFICADO

Marca : NO INDICA

Modelo : NO INDICA

Serie : NO INDICA

Identificación : MAPM 01

Procedencia : NO INDICA

Lugar de Calibración : LABORATORIO DE ENSAYOS SOLICITANTE

Fecha de Calibración : 2025-10-06

Fecha de Emisión : 2025-10-06

METODO DE CALIBRACION EMPLEADO

Mediciones directas tomando como referencia la norma ASTM D 1557. Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft³(2,700 kN-m/m³))* y el manual de ensayo de materiales (EM 2000), MTC E115 - 2000 COMPACTACION DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGIA MODIFICADA.

RESULTADOS DE MEDICION

Los resultados de las mediciones efectuadas se muestran en las siguientes páginas del presente documento.

OBSERVACIONES

- Se colocó una etiqueta con la indicación "CALIBRADO".

El resultado de cada uno de las mediciones en el presente documento es de un promedio de valores de un mismo punto.

Los resultados indicados en el presente documento son validos en el momento de la calibración y se refieren exclusivamente al instrumento calibrado, no debe usarse como certificado de conformidad de producto.

AG4 INGENIERIA & METROLOGIA, no se hace responsable por los perjuicios que pueda ocasionar el uso incorrecto o inadecuado de este instrumento y tampoco de interpretaciones incorrectas o indebidas del presente documentos.

El usuario es responsable de la recalibracion de sus instrumentos a intervalos apropiados de acuerdo al uso, conservación y mantenimiento del mismo y de acuerdo con las disposiciones legales vigentes.

El presente documento carece de valor sin firmas y sellos.


Luigi Asenjo G.
Jefe de Metrología



PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE AG4 INGENIERIA Y METROLOGIA S.R.L.



TRAZABILIDAD

Los resultados de la calibración realizada son trazables a la Unidad de Medida de los Patrones Nacionales del Instituto Nacional de Calidad - INACAL en concordancia con el sistema Internaciones de Unidades de Medida (SI) y el sistema Legal de Unidades del Perú (SLUMP).

PATRONES DE REFERENCIA

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
Patron de referencia	Pie de rey Patrón	1AD-1143-2025
Patron de referencia	Cinta Metrica Patrón	1AD-1145-2025

CONDICIONES AMBIENTALES

	Inicial	Final
Temperatura	25.6 °C	25.6 °C
Humedad Relativa	16 %HR	16 %HR

RESULTADOS DE MEDICION

Peso promedio Medido (g)	Incertidumbre (kg)	Desviación mínima y máximo permitidos (g)
4,520	0.003	4,530 a 4,550
Altura de caída promedio Medido (mm)	Incertidumbre (mm)	Desviación mínima y máximo permitidos (mm)
457.20	0.4	455,6 a 458,8
Diámetro promedio Medido (mm)	Incertidumbre (mm)	Desviación mínima y máximo permitidos (mm)
50.42	0.02	50,67 a 50,93

INCERTIDUMBRE

La incertidumbre de medición reportada ha sido calculada de acuerdo con la guía OIML G1-100-en: 2008 (JCGM 100:2008) y OIML g1-104-en: 2009 (JCGM 104:2009) "Guía para la expresión de la incertidumbre en las mediciones", la cual sugiere desarrollar un modelo matemático que tome en cuenta los factores de influencia durante la calibración.

La Incertidumbre indicada no incluye una estimación de las variaciones a largo plazo.

La incertidumbre de medición reportada se denomina Incertidumbre Expandida (U) y se obtiene de la multiplicación de la incertidumbre Estándar Combinada (u) por el factor de cobertura (k). Generalmente se expresa un factor $k=2$ para un nivel de confianza de aproximadamente 95%.


Luigi Asenja G.
Jefe de Metrología



PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE AG4 INGENIERIA Y METROLOGIA S.R.L.

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**
LL-791-2025

Expediente : S-0329- 2025
Solicitante : DELAY-INGENIEROS CONSULTORES Y CONTRATISTAS E.I.R.L.
Dirección : JR. BELLIDO NRO. 722 - HUAMANGA - AYACUCHO
Instrumento de Medición : MOLDE PROCTOR MODIFICADO
Marca : NO INDICA
Modelo : NO INDICA
Serie : NO INDICA
Identificación : MOPM 01
Procedencia : NO INDICA
Lugar de Calibración : LABORATORIO DE ENSAYOS SOLICITANTE
Fecha de Calibración : 2025-10-06
Fecha de Emisión : 2025-10-08

METODO DE CALIBRACION EMPLEADO:

Mediciones directas tomando como referencia la norma ASTM D 1557. Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft³(2,700 kN-m/m³))¹. y el manual de ensayo de materiales (EM 2000), MTC E115 - 2000 COMPACTACION DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGIA MODIFICADA.

RESULTADOS DE MEDICION:

Los resultados de las mediciones efectuadas se muestran en las siguientes páginas del presente documento.

OBSERVACIONES:

- Se colocó una etiqueta con la indicación "CALIBRADO".

El resultado de cada uno de las mediciones en el presente documento es de un promedio de valores de un mismo punto.

Los resultados indicados en el presente documento son validos en el momento de la calibración y se refieren exclusivamente al instrumento calibrado, no debe usarse como certificado de conformidad de producto.

AG4 INGENIERIA & METROLOGIA, no se hace responsable por los perjuicios que pueda ocasionar el uso incorrecto o inadecuado de este instrumento y tampoco de interpretaciones incorrectas o indebidas del presente documentos.

El usuario es responsable de la recalibracion de sus instrumentos a intervalos apropiados de acuerdo al uso, conservación y mantenimiento del mismo y de acuerdo con las disposiciones legales vigentes.

El presente documento carece de valor sin firmas y sellos.


Luigi Asenjo G.
Jefe de Metrología



PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE AG4 INGENIERIA Y METROLOGIA S.R.L.



TRAZABILIDAD

Los resultados de la calibración realizada son trazables a la Unidad de Medida de los Patrones Nacionales del Instituto Nacional de Calidad - INACAL en concordancia con el sistema Internacional de Unidades de Medida (SI) y el sistema Legal de Unidades del Perú (SLUMP).

PATRONES DE REFERENCIA

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
Patrones de referencia	Pie de rey Patrón	1AD-1143-2025

CONDICIONES AMBIENTALES

	Inicial	Final
Temperatura	25.6 °C	25.6 °C
Humedad Relativa	16 %HR	16 %HR

RESULTADOS DE MEDICION

Diametro promedio Medido (mm)	Incertidumbre (mm)	Desviación mínima y máximo permitido (mm)
152.23	0.03	151.7 a 153.1

Altura promedio Medido (mm)	Incertidumbre (mm)	Desviación mínima y máximo permitido (mm)
116.08	0.03	115.9 a 116.9

INCERTIDUMBRE

La incertidumbre de medición reportada ha sido calculada de acuerdo con la guía OIML G1-100-en: 2008 (JCGM 100:2008) y OIML g1-104-en: 2009 (JCGM 104:2009) "Guía para la expresión de la incertidumbre en las mediciones", la cual sugiere desarrollar un modelo matemático que tome en cuenta los factores de influencia durante la calibración.

La Incertidumbre indicada no incluye una estimación de las variaciones a largo plazo

La incertidumbre de medición reportada se denomina Incertidumbre Expandida (U) y se obtiene de la multiplicación de la incertidumbre Estándar Combinada (u) por el factor de cobertura (k). Generalmente se expresa un factor k=2 para un nivel de confianza de aproximadamente 95%.


Luigi Asenjo G.
Jefe de Metrología



PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE AG4 INGENIERIA Y METROLOGIA S.R.L.



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN LT-140-2025

Página 1 de 5

Expediente : S-0329-2025

Solicitante : DELAY-INGENIEROS CONSULTORES Y CONTRATISTAS E.I.R.L.

Dirección : JR. BELLIDO NRO. 722 - HUAMANGA - AYACUCHO

Equipo de Medición : HORNO ELECTRICO

Marca : NO INDICA

Modelo : NO INDICA

Procedencia : PERU

Código de Ident. : HE0895

Número de Serie : NO INDICA

T° de trabajo : 110 °C ± 10 °C

Ventilación : NATURAL

Lugar de Calibración : LABORATORIO CENTRAL SOLICITANTE

Ubicación : JR. BELLIDO NRO. 722 - HUAMANGA - AYACUCHO

Fecha de Calibración : 2025-10-06

Fecha de Emisión : 2025-10-08

Nombre	Marca	Modelo	Código de Identificación	Alcance de indicación	División mínima	Tipo de Indicación
Termometro controlador	AUTONICS	TC4S	NO INDICA	200°C	1°C	Digital

Método de Calibración Empleado

Calibrado por el método de comparación según el PC-018 "Procedimiento para la Calibración o Caracterización de Medios

Isotermos con Aire como Medio Termostático" 2da edición, 2009.

Observaciones

- (*) Identificación grabada en una etiqueta adherida en el instrumento.
- Se colocó una etiqueta con la indicación "CALIBRADO".
- La periodicidad de la calibración depende del uso, mantenimiento y conservación del instrumento.

(*) Código asignado por AG4 INGENIERIA & METROLOGIA S.R.L.


Luigi Asenjo
Jefe de Metrología



PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE AG4 INGENIERIA Y METROLOGIA S.R.L.



CERTIFICADO DE CALIBRACION LT-140-2025

Página 2 de 5

Condiciones Ambientales:

	Inicial	Final
Temperatura (°C)	25.8	25.4
Humedad (%)	15	14

Resultados de la calibración:

CALIBRACIÓN PARA 110 °C ± 10 °C

TIEMPO (min.)	T ind. (°C) Termómetro del equipo	TEMPERATURA EN LAS POSICIONES DE MEDICION (° C)										T prom. (°C)	Tmax-Tmin. (°C)
		NIVEL SUPERIOR					NIVEL INFERIOR						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
00	110	118.5	117.4	116.8	111.9	113.4	111.2	110.1	109.5	112.2	110.1	113.1	9.0
02	110	118.6	117.4	116.6	111.9	113.1	111.0	109.8	109.5	112.2	109.8	113.0	9.1
04	110	118.6	117.3	116.8	112.0	113.4	110.8	109.9	109.5	112.3	109.9	113.1	9.1
06	110	118.6	117.4	116.9	112.0	113.4	111.2	110.1	109.4	112.3	110.1	113.1	9.2
08	110	118.6	117.3	116.8	111.9	113.3	111.1	110.2	109.4	112.2	110.2	113.1	9.2
10	110	118.7	117.4	116.9	112.0	113.5	111.2	110.1	109.4	112.3	110.1	113.2	9.3
12	110	118.7	117.4	116.7	112.1	113.4	110.7	110.1	109.3	112.4	110.1	113.1	9.4
14	110	118.7	117.4	116.8	112.1	113.6	111.0	110.0	109.4	112.4	110.0	113.1	9.3
16	110	118.6	117.5	116.8	112.1	113.5	111.0	110.0	108.9	112.4	110.0	113.1	9.7
18	110	118.6	117.5	116.9	112.2	113.5	111.2	110.1	109.2	112.5	110.1	113.2	9.4
20	110	118.7	117.5	117.1	112.2	113.6	111.4	110.2	109.4	112.5	110.2	113.3	9.3
22	110	118.7	117.5	117.1	112.2	113.6	111.4	110.2	109.4	112.5	110.2	113.3	9.3
24	110	118.6	117.7	117.1	112.1	113.6	111.4	110.2	109.2	112.4	110.2	113.3	9.4
26	110	118.6	117.7	117.1	112.1	113.6	111.4	110.2	109.2	112.4	110.2	113.3	9.4
28	110	118.6	117.6	117.0	112.3	113.7	111.0	110.2	109.4	112.6	110.2	113.3	9.2
30	110	118.8	117.6	117.0	112.2	113.7	111.3	110.1	109.3	112.5	110.1	113.3	9.5
32	110	118.8	117.6	117.2	112.1	113.6	111.2	110.1	109.3	112.4	110.1	113.2	9.5
34	110	118.8	117.6	117.1	112.3	113.5	111.0	110.1	109.2	112.6	110.1	113.2	9.6
36	110	118.7	117.6	117.1	112.2	113.5	111.1	110.3	109.5	112.5	110.3	113.3	9.2
38	110	118.7	117.6	117.1	112.2	113.5	111.1	110.3	109.5	112.5	110.3	113.3	9.2
40	110	118.7	117.6	117.1	112.3	113.7	111.3	110.1	109.3	112.6	110.1	113.3	9.4
42	110	118.8	117.6	117.0	112.5	113.7	111.4	109.9	109.3	112.8	109.9	113.3	9.5
44	110	118.8	117.9	117.3	112.3	113.8	111.2	110.0	109.3	112.6	110.0	113.3	9.5
46	110	118.9	117.9	117.3	112.2	113.8	111.3	110.4	109.5	112.5	110.4	113.4	9.4
48	110	118.9	117.9	117.3	112.5	113.5	111.2	110.3	109.4	112.8	110.3	113.4	9.5
50	110	118.9	117.7	117.2	112.5	113.5	111.2	110.3	109.4	112.8	110.3	113.4	9.5
52	110	118.9	117.7	117.2	112.3	113.7	111.3	110.2	109.5	112.6	110.2	113.4	9.4
54	110	118.9	117.6	117.1	112.2	113.7	111.1	110.2	109.5	112.5	110.2	113.3	9.4
56	110	119.0	117.6	117.1	112.2	113.8	111.1	110.3	109.5	112.5	110.3	113.3	9.5
58	110	119.0	117.7	117.1	112.3	113.7	111.2	110.3	109.4	112.6	110.3	113.4	9.6
60	110	119.0	117.7	117.1	112.3	113.7	111.2	110.3	109.4	112.6	110.3	113.4	9.6
T.PROM	110	118.7	117.6	117.0	112.2	113.6	111.2	110.1	109.4	112.5	110.1	113.2	
T.MAX	110	119.0	117.9	117.3	112.5	113.8	111.4	110.4	109.5	112.8	110.4		
T.MIN	110	118.5	117.3	116.6	111.9	113.1	110.7	109.8	108.9	112.2	109.8		

Luigi Asenja
Jefe de Metrología

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE AG4 INGENIERIA Y METROLOGIA S.R.L.

01 622 5224

997 045 343
961 739 849
955 851 191

ventasag4ingenieria@gmail.com
ventas@ag4im.com

www.ag4ingenieria.com



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN LT-140-2025

Página 3 de 5

PATRONES DE REFERENCIA:

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
Patron de referencia	Termometro de indicación Digital con sensores	LT-005-2025
Patron de referencia	Termometro de indicación digital	LT-211-2025

PARÁMETRO	Valor (°C)	Incertidumbre Expandida (°C)
Máxima Temperatura Medida	119.0	0.3
Mínima Temperatura Medida	108.9	0.3
Desviación de Temperatura en el Tiempo	0.7	0.1
Desviación de Temperatura en el Espacio	9.4	0.3
Estabilidad	± 0.35	0.04
Uniformidad	9.7	0.3

T.PROM.: Promedio de la temperatura en una posición de medición durante el tiempo de calibración.

T.prom. : Promedio de la temperatura en las diez posiciones de medición para un instante dado.

T.MAX : Temperatura máxima

T.MIN. : Temperatura mínima

DTT. : Desviación de Temperatura en el tiempo.

Para cada posición de medición su "desviación de temperatura en el tiempo " DTT esta dada por la diferencia entre la máxima y la mínima temperatura registradas en dicha posición.

Entre dos posiciones de medición su "desviación de temperatura en el espacio" está dada por la diferencia entre los promedios de temperaturas registradas en ambas posiciones.

Incertidumbre expandida de las indicaciones del termometro propio del medio isoterma: **0.5 °C**

La uniformidad es la máxima diferencia medida de temperatura entre las diferentes posiciones espaciales para un mismo instante de tiempo.

La estabilidad es considerada igual a $\pm 1/2$ máx. DTT.

Luigi Asenjo G.
Jefe de Metrología



PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE AG4 INGENIERIA Y METROLOGIA S.R.L.

☎ 01 622 5224

☎ 997 045 343
961 739 849
955 851 191

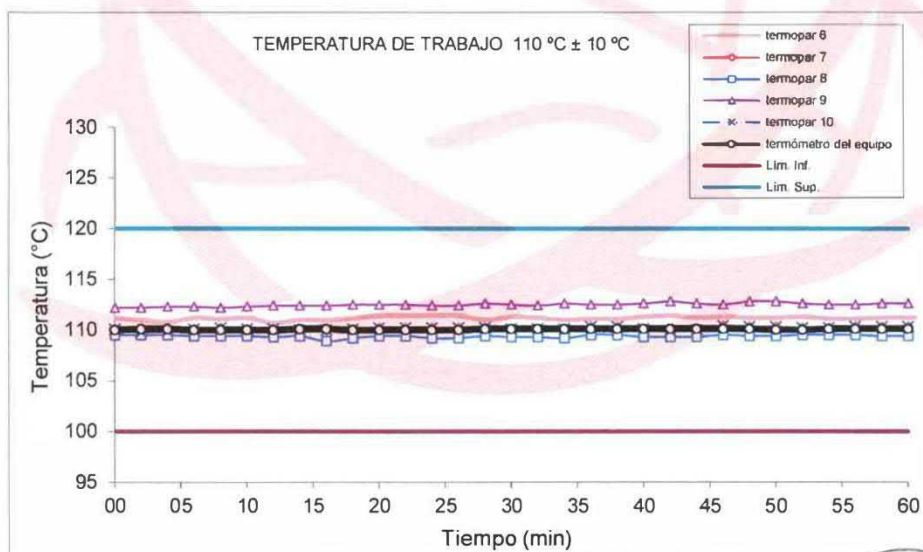
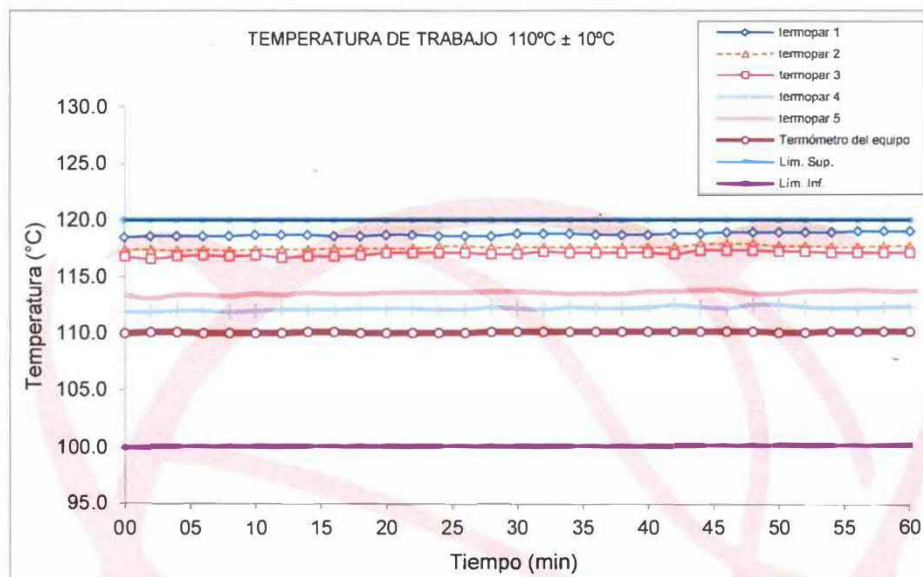
✉ ventasag4ingenieria@gmail.com
ventas@ag4im.com

🌐 www.ag4ingenieria.com



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN LT-140-2025

Página 4 de 5



Luigi Asenjo
Jefe de Metrología

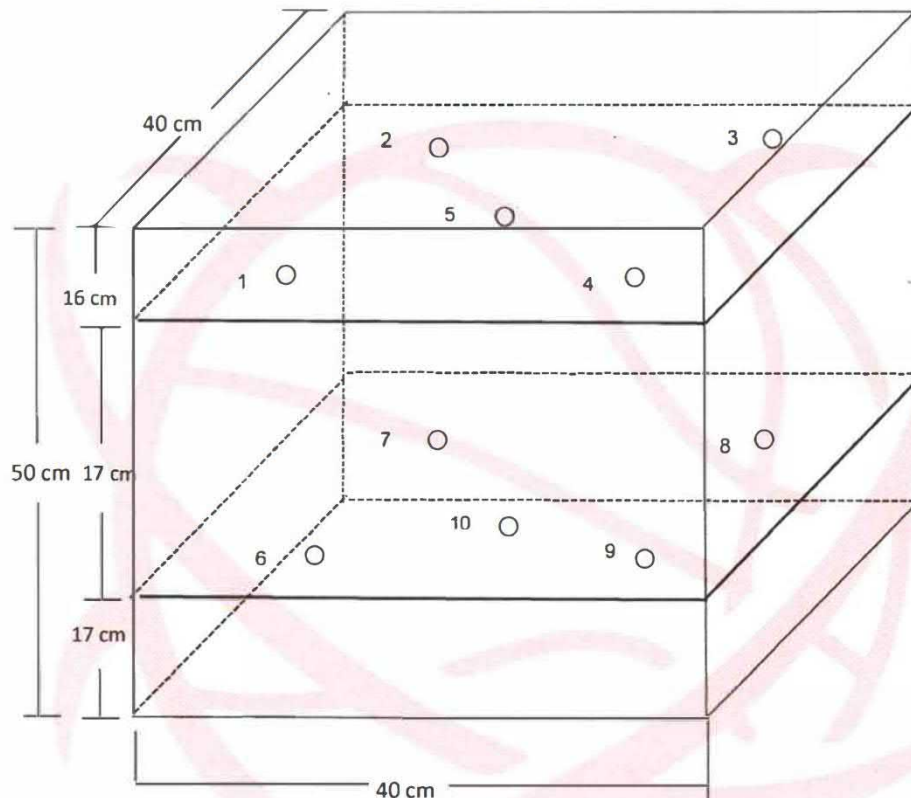
PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE AG4 INGENIERIA Y METROLOGIA S.R.L.



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN LT-140-2025

Página 5 de 5

DISTRIBUCIÓN DE LOS TERMOPARES



Los termopares 5 y 10 están ubicados en el centro de los planos inferior y superior.

Los termopares del 1,2,3,4 y 6,7,8,9 están ubicados a 9 cm de las paredes laterales.

Los termopares del 1 al 4 y del 6 al 10 están ubicados a 10 cm y a 12 cm respectivamente de la


Luigi Asenjo G.
Jefe de Metrología



PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE AG4 INGENIERÍA Y METROLOGÍA S.R.L.

☎ 01 622 5224

☎ 997 045 343
961 739 849
955 851 191

✉ ventasag4ingenieria@gmail.com
ventas@ag4im.com

🌐 www.ag4ingenieria.com



UNSCH

FACULTAD DE
INGENIERÍA
DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 64-2026-FIMGC

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

En la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, en la ciudad de Ayacucho, en cumplimiento a la **Resolución Decanal N° 352-2026-FIMGC-D**, a los **ocho días del mes de setiembre de 2026**, siendo las **10:15 a.m.**, reunidos en el **Auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil**, bajo la presidencia del **MSc. José Ernesto ESTRADA CARDENAS**, y los miembros: **Dr. Ing. Hemerson LIZARBE ALARCÓN**, **MSc. Ing. Víctor BELLIDO AEDO** y **Mg. Ing. Abner CURI VEGA**, actuando como secretario docente el **Ing. Saul Walter RETAMOZO FERNANDEZ**, para proceder a la sustentación de tesis para optar el **Título Profesional de Ingeniero Civil**, del Bachiller en Ciencias de la Ingeniería Civil:

EFRAIN LIZARDO DAMIANO ALARCON

Quien presentó la tesis denominada:

Influencia de la diatomita calcinada en el CBR, plasticidad y Proctor de la subrasante arcillosa en la carretera AP-102, sector Sarahuarcay, Apurímac

Los señores miembros del jurado luego de expuesta la tesis y absueltas las preguntas, deliberaron y declararon:

Aprobado con 16 (dieciséis)

Siendo las **12:26 p.m.** del día **8 de setiembre del 2026**, culmina el acto de sustentación de tesis, y en conformidad de lo actuado los miembros del jurado firmamos al pie del presente.

MSc. José Ernesto ESTRADA CARDENAS
Presidente

MSc. Ing. Víctor BELLIDO AEDO
Miembro

Mg. Ing. Abner CURI VEGA
Miembro

Dr. Ing. Hemerson LIZARBE ALARCÓN
Miembro - Asesor

Ing. Saul Walter RETAMOZO FERNANDEZ
Secretario

FACULTAD DE INGENIERÍA
DE MINAS Y CIVIL
Av. Independencia S/N
Ciudad Universitaria
Central Tel. 066 312510
Anexo 151



UNSCH

FACULTAD DE
INGENIERÍA
DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL



"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

CONSTANCIA N° 32-2026-FIMGC/ASIH

El que suscribe; responsable verificador de originalidad de trabajos de tesis de pregrado con el software Turnitin, de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** de la **Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil**; en cumplimiento a la **Resolución de Consejo Universitario N° 039-2021-UNSCH-CU**, Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga y **Resolución Decanal N° 697-2024-FIMGC-UNSCH-D**, dejo constancia de originalidad de trabajo de investigación, que el/la Sr./Srta.

Apellidos y Nombres : Efrain Lizardo DAMIANO ALARCON
Escuela Profesional : INGENIERÍA CIVIL
Título de la Tesis : Influencia de la diatomita calcinada en el CBR, plasticidad y Proctor de la subrasante arcillosa en la carretera AP-102, sector Sarahuarcay, Apurímac
Evaluación de la Originalidad : 6 % Índice de Similitud
Identificador de la entrega : 3045693173

Por tanto, según los Artículos 12, 13 y 17 del Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación, es **PROCEDENTE** otorgar la **Constancia de Originalidad** para los fines que crea conveniente.

En señal de conformidad y verificación se firma la presente constancia

Ayacucho, 29 de septiembre del 2026



UNIVERSIDAD NACIONAL DE
SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil

Mg. Ing. Atex Sander IJCANAUPA HUAMANI
Verificador de Originalidad de Trabajos de Tesis de Pregrado
Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Civil

Influencia de la diatomita calcinada en el CBR, plasticidad y Proctor de la subrasante arcillosa en la carretera AP-102, sector Sarahuarcay, Apurímac

por Efrain Lizardo DAMIANO ALARCON

Fecha de entrega: 29-sept-2026 09:46p. m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 3045693173

Nombre del archivo: Te_Efrain_Lizardo_Damiano_Alarcon.pdf (2.5M)

Total de palabras: 40703

Total de caracteres: 238198

Influencia de la diatomita calcinada en el CBR, plasticidad y Proctor de la subrasante arcillosa en la carretera AP-102, sector Sarahuarcay, Apurímac

INFORME DE ORIGINALIDAD

6%

INDICE DE SIMILITUD

8%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

2%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
2	repositorio.upla.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	<1%
4	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1%
5	repositorio.uancv.edu.pe Fuente de Internet	<1%
6	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	<1%
9	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	<1%
10	repositorio.utea.edu.pe Fuente de Internet	<1%
11	www.campustudionline.com Fuente de Internet	<1%
12	repositorio.uandina.edu.pe Fuente de Internet	<1%
13	tesis.ipn.mx Fuente de Internet	<1%
14	repositorio.unasam.edu.pe Fuente de Internet	<1%

www.ptolomeo.unam.mx:8080

15	Fuente de Internet	<1 %
16	baixardoc.com Fuente de Internet	<1 %
17	repositorio.unicauca.edu.co Fuente de Internet	<1 %
18	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1 %
19	www.portsmouthva.gov Fuente de Internet	<1 %
20	tesis.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
21	Submitted to Blackboard Trabajo del estudiante	<1 %
22	repositorio.upt.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
23	Submitted to Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco Trabajo del estudiante	<1 %
24	docs.google.com Fuente de Internet	<1 %
25	Submitted to D.A. de Ingeniería Civil Trabajo del estudiante	<1 %
26	Submitted to Universidad Nacional de Ingenieria Trabajo del estudiante	<1 %
27	repositorio.sibdi.ucr.ac.cr Fuente de Internet	<1 %
28	repositorio.upao.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
29	rpsico.mdp.edu.ar Fuente de Internet	<1 %
30	docslide.us Fuente de Internet	<1 %
31	Submitted to Universidad Nacional de Cajamarca Trabajo del estudiante	<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

< 30 words

Excluir bibliografía

Activo