

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

## **ESCUELA DE POSGRADO**



### **UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA**

### **PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS**

### **TESIS:**

**EFFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE MELAZA Y CAL EN LA  
ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS DE LA CIUDAD DE  
CAJAMARCA, PARA SUBRASANTE DE PAVIMENTOS**

Para optar el Grado Académico de

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**MENCIÓN: INGENIERÍA CIVIL**

Presentada por:

**LEIDY YSIS YASODARA SÁNCHEZ HIDALGO**

Asesor:

**Dr. MAURO AUGUSTO CENTURIÓN VARGAS**


**Cajamarca, Perú**

**2025**

### **CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD**

1. Investigador:  
Leidy Ysis Yasodara Sánchez Hidalgo  
DNI: 45061156  
Escuela Profesional/Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería. Programa de Maestría en Ciencias, Mención: Ingeniería Civil
2. Asesor: Dr. Mauro Augusto Centurión Vargas
3. Grado académico o título profesional  
☐ Bachiller      ☐ Título profesional      ☐ Segunda especialidad  
☒ Maestro      ☐ Doctor
4. Tipo de Investigación:  
☒ Tesis      ☐ Trabajo de investigación      ☐ Trabajo de suficiencia profesional  
☐ Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación:  
Efecto de la incorporación de melaza y cal en la estabilización de suelos arcillosos de la ciudad de Cajamarca, para subrasante de pavimentos
6. Fecha de evaluación: **01/01/2026**
7. Software antiplagio:      ☒ TURNITIN      ☐ URKUND (OURIGINAL) (\*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: **17%**
9. Código Documento: **3117:543848655**
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:  
☒ **APROBADO**      ☐ PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: **01/01/2026**

<small>Firma y/o Sello Emisor Constancia</small>
 <b>Dr. Mauro Augusto Centurión Vargas</b> DNI: 26604421

\* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023

COPYRIGHT © 2025 by  
**LEIDY YSIS YASODARA SÁNCHEZ HIDALGO**  
Todos los derechos reservados



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 080-2018-SUNEDU/CD

ESCUELA DE POSGRADO

CAJAMARCA – PERU

PROGRAMA DE MAESTRIA EN CIENCIAS



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las 10:00 AM horas, del día 17 de Octubre de dos mil veinticinco, reunidos en el Aula 1Q-107 de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Jurado Evaluador presidido por el **DRA. ROSA HAYDEE LLIQUE MONDRAGÓN, M. CS. SERGIO MANUEL HUAMÁN SANGAY, M. CS. MARIA SALOMÉ DE LA TORRE RAMÍREZ**, y en calidad de Asesor el **DR. MAURO AUGUSTO CENTURIÓN VARGAS**. Actuando de conformidad con el Reglamento Interno y el Reglamento de Tesis de Maestrías y Doctorados de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, se inició la Sustentación de la TESIS titulada: **"EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE MELAZA Y CAL EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS DE LA CIUDAD DE CAJAMARCA, PARA SUBRASANTE DE PAVIMENTOS"**, presentada por la bachiller en Ingeniería Civil **LEIDY YSIS YASODARA SANCHEZ HIDALGO**.

Realizada la exposición de la TESIS y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación, se acordó APROBADO con la calificación de Diecisiete (17) la mencionada TESIS; en tal virtud, la bachiller en Ingeniería Civil, **LEIDY YSIS YASODARA SANCHEZ HIDALGO**, se encuentra apta para recibir en ceremonia especial el Diploma que la acredita como **MAESTRO EN CIENCIAS**, de la Unidad de Posgrado de la Facultad de **INGENIERÍA**, con mención en **INGENIERÍA CIVIL**.

Siendo las 11:00 AM horas del mismo día, se dio por concluido el acto.

.....  
**Dr. Mauro Augusto Centurión Vargas**  
Asesor

.....  
**Dra. Rosa Haydee Llique Mondragón**  
Jurado Evaluador

.....  
**M. Cs. Sergio Manuel Huamán Sangay**  
Jurado Evaluador

.....  
**M. Cs. Maria Salomé de la Torre Ramírez**  
Jurado Evaluador

## **DEDICATORIA**

A Dios, por su amor infinito y por guiarme en cada instante.

A mis queridos padres y familiares, quienes son mi fortaleza y mi mayor inspiración.

A mi amado Cubi, por ser motivación en más de una ocasión.

A mis amigas, y todas aquellas personas que han contribuido a la realización de mis objetivos.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, que en todo momento está conmigo, ayudándome a aprender de mis errores y permitiéndome sonreír con mis logros. Gracias por tu amor y tu bondad infinita.

Agradecer a la Universidad Nacional de Cajamarca y en especial a la Escuela de Posgrado, por mi formación académica.

A mi asesor el Ing. Mauro Augusto Centurión Vargas por su tiempo y guía para la culminación de esta tesis.

A mis amigos del Laboratorio de Mecánica de Suelos OSMA, por su apoyo al brindarme sus instalaciones para el desarrollo de los ensayos de la presente tesis.

Allí donde las infraestructuras se desarrollan, la civilización florece. La ingeniería civil  
es el camino que pavimenta el progreso de los pueblos.

Anónimo

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
INDICE DE TABLAS .....	xi
INDICE DE FIGURAS .....	xiv
INDICE DE ECUACIONES .....	xvi
LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS USADAS .....	xvii
GLOSARIO .....	xviii
RESUMEN .....	xix
ABSTRACT .....	xx
CAPITULO I INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.1.1. Contextualización.....	1
1.1.2. Descripción del problema. ....	2
1.1.3. Formulación del problema .....	5
1.2. Justificación e importancia.....	5
1.3. Delimitación de la investigación. ....	6
1.4. Limitaciones.....	6
1.5. Objetivos.....	6
1.5.1. Objetivo general .....	6
1.5.2. Objetivos específicos .....	6
CAPITULO II MARCO TEÓRICO .....	7
2.1. Antecedentes de la investigación o marco referencial.....	7
2.1.1. Antecedentes internacionales .....	7
2.1.2. Antecedentes nacionales .....	8
2.1.3. Antecedentes locales.....	8
2.2. Marco conceptual. ....	8
2.2.1. Suelos.....	8



2.2.2.	Caminos y carreteras.....	24
2.2.3.	Pavimentos .....	24
2.2.4.	Estabilización de suelos .....	28
2.3.	Definición de términos básicos .....	33
3.	CAPITULO III PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS Y VARIABLES .....	35
3.1.	Hipótesis .....	35
3.1.1.	Hipótesis general .....	35
3.2.	Variables .....	35
3.2.1.	Variables independientes .....	35
3.2.2.	Variable dependiente .....	35
3.3.	Operacionalización de los componentes de las hipótesis .....	35
	CAPITULO IV MARCO METODOLÓGICO .....	36
4.1.	Ubicación geográfica.....	36
4.2.	Diseño de la investigación .....	39
4.3.	Métodos de investigación .....	40
4.4.	Población, muestra, unidad de análisis y unidades de observación .....	41
4.5.	Técnicas e instrumentos de recopilación de información.....	42
4.6.	Técnicas para el procesamiento y análisis de la información .....	43
4.7.	Equipos, materiales, insumos, etc. ....	43
4.8.	Matriz de consistencia metodológica .....	45
	CAPITULO V RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	46
5.1	Presentación de resultados .....	46
5.1.1	Recolección y muestreo .....	46
5.1.2	Análisis de laboratorio .....	46
5.1.3	Propiedades físicas de suelo natural .....	47
5.1.4	Propiedades mecánicas de suelo natural y suelo tratado .....	50
5.1.4.1	Ensayo de compactación (Proctor Modificado) del suelo natural.....	50
5.1.4.2	Ensayo de compactación (Proctor Modificado) de las muestras tratadas..	53
5.1.4.3	Ensayo de CBR suelo natural.....	59

5.1.4.4	Ensayo de CBR de las muestras tratadas .....	61
5.2	Análisis, interpretación y discusión de resultados.....	66
5.2.1	Análisis de las propiedades mecánicas de los suelos naturales.....	66
5.2.2	Efecto de la melaza y cal en la densidad del suelo.....	67
5.2.3	Efecto de la cal en los valores de CBR .....	67
5.2.4	Efecto de la cal y la melaza en los valores de CBR .....	68
5.3	Contrastación de hipótesis .....	69
CAPITULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		71
6.1	Conclusiones .....	71
6.2	Recomendaciones .....	73
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		74
APÉNDICES .....		80
ANEXOS.....		145

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	<i>Composición aproximada de la melaza de caña de azúcar.....</i>	33
<b>Tabla 2</b>	<i>Operacionalización de variables .....</i>	35
<b>Tabla 3</b>	<i>Coordenadas UTM de la ubicación del proyecto .....</i>	38
<b>Tabla 4</b>	<i>Método de investigación .....</i>	40
<b>Tabla 5</b>	<i>Variables, niveles de variables y tratamientos .....</i>	41
<b>Tabla 6</b>	<i>Matriz experimental de diseño y niveles de las variables en estudio .....</i>	42
<b>Tabla 7</b>	<i>Ubicación y número de calicatas .....</i>	46
<b>Tabla 8</b>	<i>Resumen de los ensayos en laboratorio.....</i>	47
<b>Tabla 9</b>	<i>Clasificación de suelos y propiedades físicas del suelo natural.....</i>	50
<b>Tabla 10</b>	<i>Contenido de humedad vs Densidad seca del suelo natural (Calicata 1).....</i>	51
<b>Tabla 11</b>	<i>Contenido de humedad vs Densidad seca del suelo natural (Calicata 2).....</i>	52
<b>Tabla 12</b>	<i>Contenido de humedad vs Densidad seca del suelo natural (Calicata 3).....</i>	53
<b>Tabla 13</b>	<i>Contenido de humedad vs Densidad seca del suelo tratado (Calicata 1).....</i>	54
<b>Tabla 14</b>	<i>Contenido de humedad vs Densidad seca del suelo tratado (Calicata 2).....</i>	55
<b>Tabla 15</b>	<i>Contenido de humedad vs Densidad seca del suelo tratado (Calicata 3).....</i>	56
<b>Tabla 16</b>	<i>Resumen valores del ensayo de Proctor modificado del suelo sin tratar, y tratado con cal y melaza .....</i>	57
<b>Tabla 17</b>	<i>Valores de CBR del suelo natural .....</i>	60
<b>Tabla 18</b>	<i>Propiedades mecánicas de material en estado natural .....</i>	61
<b>Tabla 19</b>	<i>Valores de CBR del suelo tratado (Calicata 1).....</i>	61
<b>Tabla 20</b>	<i>Valores de CBR del suelo tratado (Calicata 2).....</i>	62
<b>Tabla 21</b>	<i>Valores de CBR del suelo tratado (Calicata 3).....</i>	62
<b>Tabla 22</b>	<i>Resumen de valores de CBR del suelo sin tratar y tratado con cal y melaza</i>	63
<b>Tabla 23</b>	<i>Análisis Granulométrico (Calicata 1) .....</i>	80
<b>Tabla 24</b>	<i>Contenido de humedad natural (Calicata 1) .....</i>	81
<b>Tabla 25</b>	<i>Límites de Atterberg (Calicata 1).....</i>	81
<b>Tabla 26</b>	<i>Gravedad Específica y Absorción del Agregado Grueso (Calicata 1) .....</i>	82
<b>Tabla 27</b>	<i>Relación densidad vs Humedad del suelo natural (Calicata 1).....</i>	83
<b>Tabla 28</b>	<i>Corrección del peso unitario y contenido de humedad para suelos que contienen partículas de sobre tamaño (Calicata 1).....</i>	84
<b>Tabla 29</b>	<i>Ensayo de CBR del suelo natural (Calicata 1) .....</i>	85

<b>Tabla 30</b>	<i>Análisis Granulométrico (Calicata 2)</i> .....	87
<b>Tabla 31</b>	<i>Contenido de humedad natural (Calicata 2)</i> .....	88
<b>Tabla 32</b>	<i>Limites de Atterberg (Calicata 2)</i> .....	89
<b>Tabla 33</b>	<i>Relación densidad vs Humedad del suelo natural (Calicata 2)</i> .....	90
<b>Tabla 34</b>	<i>Ensayo de CBR del suelo natural (Calicata 2)</i> .....	91
<b>Tabla 35</b>	<i>Análisis Granulométrico (Calicata 3)</i> .....	93
<b>Tabla 36</b>	<i>Contenido de humedad natural (Calicata 3)</i> .....	94
<b>Tabla 37</b>	<i>Limites de Atterberg (Calicata 3)</i> .....	94
<b>Tabla 38</b>	<i>Gravedad Específica y Absorción del Agregado Grueso (Calicata 3)</i> .....	95
<b>Tabla 39</b>	<i>Relación densidad vs Humedad del suelo natural (Calicata 3)</i> .....	96
<b>Tabla 40</b>	<i>Corrección del peso unitario y contenido de humedad para suelos que contienen partículas de sobre tamaño (Calicata 3)</i> .....	97
<b>Tabla 41</b>	<i>Ensayo de CBR del suelo natural (Calicata 3)</i> .....	98
<b>Tabla 42</b>	<i>Ensayo Proctor del suelo con 3% de cal (Calicata 1)</i> .....	100
<b>Tabla 43</b>	<i>Ensayo Proctor del suelo con 3% de cal y 5% de melaza (Calicata 1)</i> .....	101
<b>Tabla 44</b>	<i>Ensayo Proctor del suelo con 3% de cal y 8% de melaza (Calicata 1)</i> .....	102
<b>Tabla 45</b>	<i>Ensayo Proctor del suelo con 3% de cal y 11% de melaza (Calicata 1)</i> .....	103
<b>Tabla 46</b>	<i>Ensayo de CBR del suelo con 3% de cal (Calicata 1)</i> .....	104
<b>Tabla 47</b>	<i>Ensayo de CBR del suelo con 3% de cal y 5% de melaza (Calicata 1)</i> .....	106
<b>Tabla 48</b>	<i>Ensayo de CBR del suelo con 3% de cal y 8% de Melaza (Calicata 1)</i> .....	108
<b>Tabla 49</b>	<i>Ensayo de CBR del suelo con 3% de cal y 11% de melaza (Calicata 1)</i> ....	110
<b>Tabla 50</b>	<i>Ensayo Proctor del suelo con 3% de cal (Calicata 2)</i> .....	112
<b>Tabla 51</b>	<i>Ensayo Proctor del suelo con 3% de cal y 5% de melaza (Calicata 2)</i> .....	113
<b>Tabla 52</b>	<i>Ensayo Proctor del suelo con 3% de cal y 8% de melaza (Calicata 2)</i> .....	114
<b>Tabla 53</b>	<i>Ensayo Proctor del suelo con 3% de cal y 11% de melaza (Calicata 2)</i> ....	115
<b>Tabla 54</b>	<i>Ensayo de CBR del suelo con 3% de cal (Calicata 2)</i> .....	116
<b>Tabla 55</b>	<i>Ensayo de CBR del suelo con 3% de cal y 5% de melaza (Calicata 2)</i> .....	118
<b>Tabla 56</b>	<i>Ensayo de CBR del suelo con 3% de cal y 8% de melaza (Calicata 2)</i> .....	120
<b>Tabla 57</b>	<i>Ensayo de CBR del suelo con 3% de cal y 11% de melaza (Calicata 2)</i> ....	122
<b>Tabla 58</b>	<i>Ensayo Proctor del suelo con 3% de cal (Calicata 3)</i> .....	124
<b>Tabla 59</b>	<i>Ensayo Proctor del suelo con 3% de cal y 5% de melaza (Calicata 3)</i> .....	125
<b>Tabla 60</b>	<i>Ensayo Proctor del suelo con 3% de cal y 8% de melaza (Calicata 3)</i> .....	126
<b>Tabla 61</b>	<i>Ensayo Proctor del suelo con 3% de cal y 11% de melaza (Calicata 3)</i> ....	127
<b>Tabla 62</b>	<i>Ensayo de CBR del suelo con 3% de cal (Calicata 3)</i> .....	128

<b>Tabla 63</b>	<i>Ensayo de CBR del suelo con 3% de cal y 5% de melaza (Calicata 3) .....</i>	130
<b>Tabla 64</b>	<i>Ensayo de CBR del suelo con 3% de cal y 8% de melaza (Calicata 3) .....</i>	132
<b>Tabla 65</b>	<i>Ensayo de CBR del suelo con 3% de cal y 11% de melaza (Calicata 3) ....</i>	134

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	<i>Mapa de peligros ante fenómeno de origen geológico</i>	4
<b>Figura 2</b>	<i>Carta de plasticidad de Casagrande para suelos cohesivos</i>	10
<b>Figura 3</b>	<i>Curva granulométrica de un suelo</i>	13
<b>Figura 4</b>	<i>Definición de D10, D30, D60</i>	14
<b>Figura 5</b>	<i>Interpretación de la curva granulométrica</i>	15
<b>Figura 6</b>	<i>Estados de consistencia de un suelo</i>	16
<b>Figura 7</b>	<i>Curva de compactación típica humedad-densidad seca</i>	19
<b>Figura 8</b>	<i>Influencia de la energía de compactación</i>	20
<b>Figura 9</b>	<i>Determinación del índice CBR</i>	23
<b>Figura 10</b>	<i>Estructura de pavimento rígido</i>	25
<b>Figura 11</b>	<i>Estructura de pavimento flexible</i>	25
<b>Figura 12</b>	<i>Mapa del Peru</i>	36
<b>Figura 13</b>	<i>Mapa del departamento de Cajamarca</i>	37
<b>Figura 14</b>	<i>Ubicación del tramo en el mapa de la provincia de Cajamarca</i>	37
<b>Figura 15</b>	<i>Mapa vial por distritos - Ruta CA-1454</i>	38
<b>Figura 16</b>	<i>Perfil estratigráfico (Calicata 1)</i>	48
<b>Figura 17</b>	<i>Perfil estratigráfico (Calicata 2)</i>	49
<b>Figura 18</b>	<i>Perfil estratigráfico (Calicata 3)</i>	50
<b>Figura 19</b>	<i>Curva compactación de suelo natural (Calicata 1)</i>	51
<b>Figura 20</b>	<i>Curva compactación de suelo natural (Calicata 2)</i>	52
<b>Figura 21</b>	<i>Curva compactación de suelo natural (Calicata 3)</i>	53
<b>Figura 22</b>	<i>Curva compactación de suelo tratado (Calicata 1)</i>	54
<b>Figura 23</b>	<i>Curva compactación de suelo tratado (Calicata 2)</i>	55
<b>Figura 24</b>	<i>Curva compactación de suelo tratado (Calicata 3)</i>	56
<b>Figura 25</b>	<i>Curva compactación de suelo (Calicata 1)</i>	57
<b>Figura 26</b>	<i>Curva compactación de suelo (Calicata 2)</i>	58
<b>Figura 27</b>	<i>Curva compactación de suelo (Calicata 3)</i>	59
<b>Figura 28</b>	<i>Resultados de CBR a 0.1" (Calicata 1)</i>	63
<b>Figura 29</b>	<i>Resultados de CBR a 0.2" (Calicata 1)</i>	64
<b>Figura 30</b>	<i>Resultados de CBR a 0.1" (Calicata 2)</i>	64
<b>Figura 31</b>	<i>Resultados de CBR a 0.2" (Calicata 2)</i>	65
<b>Figura 32</b>	<i>Resultados de CBR a 0.1" (Calicata 3)</i>	65

<b>Figura 33</b> <i>Resultados de CBR a 0.2" (Calicata 3)</i> .....	66
<b>Figura 34</b> <i>Constancias de uso de laboratorio</i> .....	136
<b>Figura 35</b> <i>Realización de la excavación (Calicata 1)</i> .....	138
<b>Figura 36</b> <i>Realización de la excavación (Calicata 2)</i> .....	138
<b>Figura 37</b> <i>Realización de la excavación (Calicata 3)</i> .....	139
<b>Figura 38</b> <i>Selección de la muestra por Método de Cuarteo</i> .....	139
<b>Figura 39</b> <i>Realización del ensayo de granulometría</i> .....	140
<b>Figura 40</b> <i>Ensayo de porcentaje que pasa la malla número 200</i> .....	140
<b>Figura 41</b> <i>Pesaje de muestras para la obtención del contenido de humedad</i> .....	140
<b>Figura 42</b> <i>Ensayos de límites de plasticidad</i> .....	141
<b>Figura 43</b> <i>Preparación de las muestras para saturar previo al ensayo de proctor ...</i>	142
<b>Figura 44</b> <i>Ensayo de proctor</i> .....	143
<b>Figura 45</b> <i>Preparación de muestras para ensayo de CBR</i> .....	143
<b>Figura 46</b> <i>Ensayo de CBR</i> .....	144

## INDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1</b>	<i>Índice de Plasticidad</i> .....	10
<b>Ecuación 2</b>	<i>Índice de Grupo</i> .....	11
<b>Ecuación 3</b>	<i>Índice de Grupo</i> .....	11
<b>Ecuación 4</b>	<i>Coeficiente de uniformidad</i> .....	14
<b>Ecuación 5</b>	<i>Coeficiente de gradación o curvatura</i> .....	14
<b>Ecuación 6</b>	<i>Índice de plasticidad</i> .....	18
<b>Ecuación 7</b>	<i>Energía de compactación</i> .....	20
<b>Ecuación 8</b>	<i>Índice CBR</i> .....	23
<b>Ecuación 9</b>	<i>Energía de compactación</i> .....	29



## **LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS USADAS**

AASHTO	: American Association of State Highway and Transportation Officials
ASTM	: American Society for Testing and Materials
CBR	: California Bearing Ratio
MDS	: Máxima Densidad Seca
INDECI	: Instituto Nacional de Defensa Civil
MEF	: Ministerio de Economía y Finanzas.
MTC	: Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú
NTP	: Normas Técnicas Peruanas
SUCS	: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

## GLOSARIO

**Afirmado:** Es un Material granular natural o procesado con gradación específica compactado en una capa, que resiste los esfuerzos y las cargas del tránsito en forma directa. (Resolución Directoral N° 02-2018-MTC/14, 2018).

**Agregado:** Material granular de constitución mineralógica como grava, arena, escoria, o roca triturada (Resolución Directoral N° 02-2018-MTC/14, 2018).

**Calicata:** Excavación realizada en un terreno, con el fin de estudiar la estratigrafía del suelo y obtener muestras (Resolución Directoral N° 02-2018-MTC/14, 2018).

**Capacidad de carga:** Resistencia admisible del suelo de cimentación tomando en consideración factores de seguridad adecuados al análisis que se efectúa (Resolución Directoral N° 02-2018-MTC/14, 2018).

**Cohesión:** La resistencia al corte de un suelo, a una tensión normal (Resolución Directoral N° 02-2018-MTC/14, 2018).

**Compactación:** Proceso manual o mecánico que permite reducir el volumen total de vacíos en morteros, concretos frescos, mezclas bituminosas o suelos (Resolución Directoral N° 02-2018-MTC/14, 2018).

**Cuarteo:** Procedimiento aplicado para reducir el tamaño de una muestra (Resolución Directoral N° 02-2018-MTC/14, 2018).

**Densidad:** Relación entre la masa y el volumen de una sustancia (Resolución Directoral N° 02-2018-MTC/14, 2018).

**Estabilización de suelos:** Mejoramiento de las características físicas del suelo por medio de procedimientos mecánicos e incorporación de productos naturales, químicos o sintéticos (Resolución Directoral N° 02-2018-MTC/14, 2018).

**Granulometría:** Es la distribución de los tamaños que tiene el agregado luego de realizar un tamizado siguiendo las especificaciones técnicas correspondientes (Resolución Directoral N° 02-2018-MTC/14, 2018).

**Máxima densidad seca:** Valor máximo de densidad seca determinado por la curva de compactación para un esfuerzo especificado (estándar o modificado) (Resolución Directoral N° 02-2018-MTC/14, 2018).

**Suelos expansivos:** Suelos arcillosos inestables que al ser humedecidos experimentan cambios de volumen, por contracción o expansión, poniendo en riesgo a las estructuras (Resolución Directoral N° 02-2018-MTC/14, 2018).

**Superficie de rodadura:** Parte de la superestructura de la carretera destinada a la circulación de vehículos, formada por uno o más carriles (Resolución Directoral N° 02-2018-MTC/14, 2018).

## RESUMEN

El origen de las fallas en las carreteras de la ciudad de Cajamarca se atribuye principalmente al comportamiento inadecuado de la subrasante, conformada por suelos de baja capacidad de soporte y elevados contenidos de humedad, condiciones que incrementan significativamente la susceptibilidad al deterioro estructural del pavimento. Esta circunstancia ha promovido que, durante el diseño de pavimentos, se opte por tratar el suelo con aditivos que optimicen sus propiedades, logrando así que pueda soportar los esfuerzos a los que será sometido por acción del tránsito vehicular. La presente investigación se realizó en la vía que comunica Comunpampa y Agopampa, donde se evaluó el efecto de la cal y la melaza en la estabilización de suelos arcillosos para su uso como subrasante de carreteras. Se extrajeron muestras de tres calicatas y se determinaron los valores de CBR (California Bearing Ratio) en estado natural y con las diferentes combinaciones estabilizantes: una muestra patrón con 3% de cal y mezclas con 3% de cal y 5%, 8% y 11% de melaza. Los resultados han demostrado que la incorporación de melaza optimiza los valores de CBR de la muestra patrón. La adición de 5% de melaza incrementó la capacidad de soporte de 3.9% a 40.0% en la calicata 1, de 15.9% a 38.0% en la calicata 2 y de 25.0% a 43.5% en la calicata 3. En tanto, la adición de 8% de melaza mejoró el CBR de la muestra patrón de 3.9% a 27.8% en la calicata 1 y de 15.9% a 25.8% en la calicata 2; sin embargo, redujo la capacidad de soporte de 25.0% a 23.0% en la calicata 3. Por su parte, la adición de 11% de melaza aumentó el CBR de la muestra patrón de 3.9% a 19.9% en la calicata 1 y de 15.9% a 18.3% en la calicata 2, pero redujo este valor de 25.0% a 17.3% en la calicata 3. Estos valores de CBR fueron obtenidos al 100% de la densidad seca y con una penetración de 0.1" (valor menor de las dos penetraciones evaluadas). Se concluye que la dosificación más adecuada es la de 3% de cal y 5% de melaza, al incrementar la capacidad de soporte del suelo en más del 30%, lo que la convierte en una opción excelente para subrasante de carreteras.

Con palabras clave: Melaza, Cal, Subrasante, Suelo y Estabilización

## **ABSTRACT**

The origin of road failures in the city of Cajamarca is mainly attributed to the inadequate behavior of the subgrade, composed of soils with low bearing capacity and high moisture content, conditions that significantly increase the pavement's susceptibility to structural deterioration. This situation has led to the practice, during pavement design, of treating the soil with additives that optimize its properties, thus enabling it to withstand the stresses to which it will be subjected by vehicular traffic. This research was conducted on the road connecting Comunpampa and Agopampa, where the effect of lime and molasses on the stabilization of clay soils for use as a road subgrade was evaluated. Samples were extracted from three test pits, and the California Bearing Ratio (CBR) values were determined in their natural state and with different stabilizing combinations: a control sample with 3% lime and mixtures with 3% lime and 5%, 8%, and 11% molasses. The results have shown that the incorporation of molasses optimizes the CBR values of the control sample. The addition of 5% molasses increased the bearing capacity from 3.9% to 40.0% in test pit 1, from 15.9% to 38.0% in test pit 2, and from 25.0% to 43.5% in test pit 3. Meanwhile, the addition of 8% molasses improved the CBR of the control sample from 3.9% to 27.8% in test pit 1 and from 15.9% to 25.8% in test pit 2. However, it reduced the bearing capacity from 25.0% to 23.0% in test pit 3. Meanwhile, the addition of 11% molasses increased the CBR of the control sample from 3.9% to 19.9% in test pit 1 and from 15.9% to 18.3% in test pit 2, but reduced this value from 25.0% to 17.3% in test pit 3. These CBR values were obtained at 100% of the dry density and with a penetration of 0.1 inches (the lower of the two penetrations evaluated). It is concluded that the most suitable dosage is 3% lime and 5% molasses, as it increases the soil's bearing capacity by more than 30%, making it an excellent option for road subgrades.

With keywords: Molasses, Lime, Subgrade, Soil and Stabilization

# CAPITULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. Planteamiento del problema

#### 1.1.1. Contextualización.

Los suelos desempeñan un papel fundamental en el funcionamiento y durabilidad de cualquier obra de ingeniería, pues sobre ellos se levantan diversas estructuras (edificaciones, vías, puentes, etc.). Además, se emplean como material de construcción en proyectos como carreteras, terraplenes, diques y rellenos. Por ello, es necesario comprender su comportamiento a fin de dar solución a los problemas comunes que se encuentran en proyectos que involucran materiales térreos (Duque y Escobar, 2023).

En un proyecto vial, es esencial contar con materiales de alta calidad; sin embargo, no siempre es posible encontrar suelos que cumplan con las características requeridas y que, al mismo tiempo, se ubiquen cerca de la zona de emplazamiento del proyecto. En muchos casos, extraer y transportar suelos desde otro lugar puede elevar el costo de la construcción. En este contexto, surge la necesidad de emplear suelos con propiedades inferiores, los cuales mediante determinados procesos puedan ser mejorados (Montejo et al., 2018).

Existen suelos inestables, como las arcillas, que pueden provocar serios problemas estructurales y significativas pérdidas económicas si no se tratan de forma adecuada; la naturaleza expansiva de este tipo de suelo se debe en gran medida, a su composición química (conformada por silicatos de aluminio), la cual los hace susceptibles a cambios volumétricos ante variaciones en su contenido de humedad, adquirida por capilaridad y/o infiltración (Camacho et al., 2006).

Construir sobre suelos expansivos, sujetos a fluctuaciones estacionales de la humedad, pueden provocar la aparición de deformaciones en cualquier estructura sometida a cargas ligeras. Estas deformaciones son producto de los movimientos generados por la expansión y contracción del terreno, y se manifiestan con asentamientos diferenciales; aparición de grietas en muros; levantamiento de pisos y pavimentos; rotura

de losas; y distorsión en sistemas de riego, canales y redes subterráneas de agua (López et al., 2010; Barman y Dash, 2022).

Se han desarrollado numerosas técnicas de estabilización, clasificadas principalmente en dos grupos: mecánicas y químicas. La estabilización mecánica o física incluye compactación y prehumectación; mientras que la estabilización química se logra añadiendo aditivos estabilizadores como cemento, cal, cenizas volantes, sales, entre otros (Barman y Dash, 2022).

Asimismo, se ha evaluado el uso de estabilizadores líquidos no convencionales, como las melazas, obteniéndose buenos resultados, tal como lo señalan investigadores como Ravi, Tesema y otros. La melaza promueve que las partículas de arcilla de los suelos arcillosos absorban cationes. Esto no solo reduce la dispersión del suelo, sino también mejora su estabilidad estructural e incrementa significativamente su resistencia (Karimi et al, 2022).

#### 1.1.2. Descripción del problema.

El Reporte de Competitividad Global 2019, del Foro Económico Mundial, señala que nuestro país se encuentra en una situación alarmante en términos de infraestructura vial, pues en indicadores como conectividad vial y calidad de carreteras se ubican en el puesto 102 y 110 respectivamente (World Economic Fórum, 2019). A esto se suma que el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) indica que de los 27 529.0 km de la red vial nacional 22 860.4 km (83.0%) son pavimentadas, faltando 4 668.6 km (17.0%) por pavimentar. Esta realidad evidencia la necesidad urgente de mejorar nuestras vías de comunicación como lo hacen otros países (Boletín Estadístico, 2025).

El tránsito vehicular somete al suelo a cargas dinámicas de diferentes magnitudes. Estas cargas son de naturaleza cíclica y puede ocasionar deformaciones permanentes en la estructura del pavimento, disminuyendo así la calidad del servicio (Garnica, 2002)

En la ciudad Cajamarca la aparición de fallas en las carreteras de deben fundamentalmente al mal comportamiento de la subrasante, que están constituidas por suelos de baja capacidad de soporte (suelos limo-arcillosos) y con contenidos de humedad

considerables, que agudizan aún más el problema. Es por eso que durante el diseño de pavimentos se puede optar por utilizar el suelo tal como es, sustituirlo con material de cantera o tratarlo con aditivos que optimicen sus propiedades, logrando así que pueda soportar los esfuerzos a los que será sometido por acción del tránsito vehicular (Silva, 2016).

se atribuye principalmente al comportamiento inadecuado de la subrasante, conformada por suelos de baja capacidad de soporte y con elevados contenidos de humedad, condiciones que incrementan significativamente la susceptibilidad al deterioro estructural del pavimento

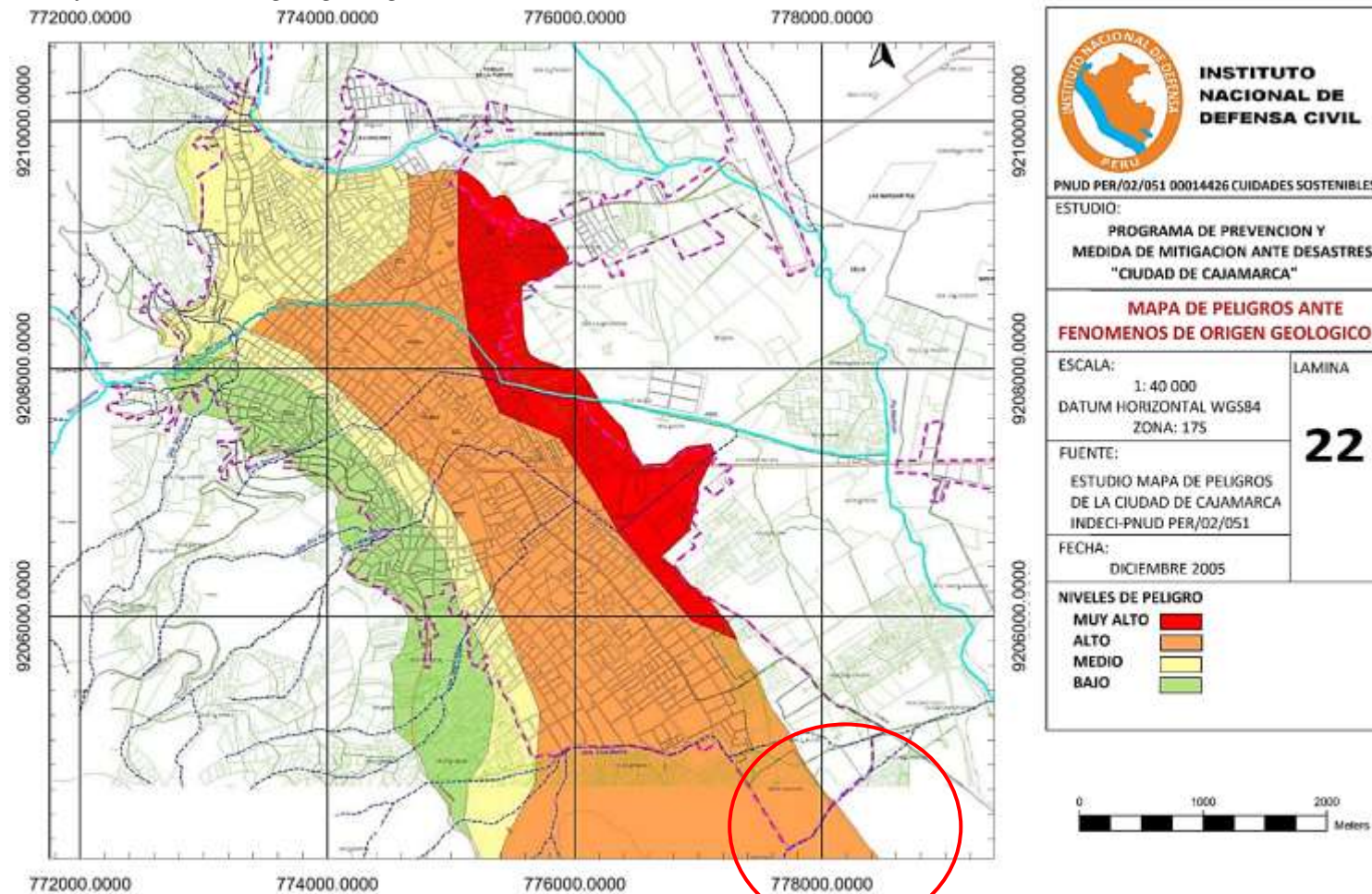
El Instituto Nacional de Defensa Civil (2005) en su Programa de Prevención y Medidas de Mitigación ante Desastres de la ciudad de Cajamarca, elaboró un mapa de peligros ante fenómenos de origen geológico, como se observa en la figura N° 1, el cual señala que existen zonas con niveles de peligro alto y muy alto, debido a la presencia de suelos expansivos, compuestos principalmente por arcilla limosas y arcillas plásticas, con elevados contenidos de humedad debido a la presencia de nivel freático alto.

Existen diversas técnicas de estabilización de suelos que mejoran su calidad, como son el remplazo con material de préstamo, la incorporación de aditivos estabilizantes y procesos de compactación (MTC, 2013). No obstante, la creciente demanda de material de cantera en la industria de la construcción, ha ocasionado la disminución considerable de los recursos naturales. Este problema ha impulsado la realización de estudios que buscan asegurar el desarrollo sostenible de este sector, proponiendo la incorporación de nuevos productos como material agregado para remplazar a los ya conocidos (Quezada, 2017).

La presente investigación se enfocó en evaluar una combinación estabilizante poco explorada de melaza y cal, empleándolos como agentes modificadores de las propiedades del suelo, con la finalidad de estudiar una alternativa renovable, técnicamente eficiente y de bajo costo, que permita mejorar el suelo.

**Figura 1**

*Mapa de peligros ante fenómeno de origen geológico*



**Nota:** La figura señala que existen zonas con niveles de peligro alto y muy alto, debido a la presencia de suelos expansivos, obtenido del Instituto Nacional de Defensa Civil, 2005.



### 1.1.3. Formulación del problema

La existencia de suelos arcillosos es la principal causa la aparición de fallas en las carreteras, esto debe a que son suelos de baja capacidad de soporte, bajo condiciones de humedad, presentan cambios volumétricos, generando un mal comportamiento estructural de la subrasante.

En este contexto surge la interrogante:

¿Cuál es el efecto de la incorporación de melaza y cal en la estabilización de suelos arcillosos de la ciudad de Cajamarca, para subrasante de pavimentos?

## 1.2. Justificación e importancia.

En la provincia de Cajamarca muchas fallas en las vías se deben a la presencia de suelos arcillosos con baja capacidad de soporte, por esta razón la presente investigación tuvo por finalidad conocer el efecto de la incorporación de la melaza y la cal como agentes estabilizadores en suelos arcillosos, de esta forma se busca brindar una opción viable y sustentable, para su aplicación en el campo de la ingeniería. La limitada información disponible sobre las bondades del uso de la melaza y la cal como material estabilizador, hace necesario su investigación, con el propósito de identificar sus propiedades, ventajas y desventajas en comparación a métodos convencionales.

Por tal razón se buscó optimizar las propiedades mecánicas de suelos naturales, para lograr que cumplan con los requerimientos necesarios para ser empleados como subrasante de carreteras. Este método permitiría emplear el material propio del área de trabajo, lo que lo haría sostenible. Asimismo, hizo posible conocer la aplicación óptima en base a los resultados obtenidos, evaluando su eficiencia y desempleo.

También la presente investigación servirá de base a futuras investigaciones, siendo de utilidad para estudiantes, profesionales y otros investigadores.

### **1.3. Delimitación de la investigación.**

La presente investigación se orientó en el análisis de suelos arcillosos obtenidos de la ciudad de Cajamarca, en la zona de expansión urbana, específicamente en el tramo de vía que conecta Comunpampa y Agopampa. La trayectoria de esta vía forma parte de la Ruta N° CA-1454, de la red vial vecinal, señalada en el Clasificador de Rutas del Sistema Nacional de Carreteras (SINAC).

Se efectuó tres calicatas, una por cada kilómetro del tramo. Las muestras extraídas sirvieron para evaluar el comportamiento del suelo al adicionar melaza y cal. Se realizaron ensayos de laboratorio, como son la densidad seca máxima y el valor relativo de soporte (CBR). Estos ensayos se realizaron en mezclas de suelo que contenían 3% de cal y proporciones de melaza de 5%, 8% y 11%.

### **1.4. Limitaciones.**

No se presentan limitaciones en el transcurso de la investigación.

### **1.5. Objetivos.**

#### **1.5.1. Objetivo general**

- Evaluar el efecto de la incorporación de melaza y cal en la estabilización de suelos arcillosos de la ciudad de Cajamarca, para subrasante de pavimentos.

#### **1.5.2. Objetivos específicos**

- Caracterizar el suelo natural, identificando su clasificación, índice de plasticidad, densidad seca máxima y capacidad de soporte (CBR).
- Determinar el contenido de humedad óptimo, la densidad seca máxima y capacidad de soporte (CBR) de los suelos arcillosos con cal.
- Determinar el contenido de humedad óptimo, la densidad seca máxima y capacidad de soporte (CBR) de los suelos arcillosos con incorporación de cal y melaza.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de la investigación o marco referencial**

##### **2.1.1. Antecedentes internacionales**

Ravi et. al. (2015) en el artículo titulado “Estudio sobre el efecto de la melaza sobre la resistencia del suelo”, evaluó la efectividad de la melaza para mejorar el valor del CBR. Su estudio se centró en dos tipos de suelos de la India: una arcilla de compresibilidad intermedia (CI) y una arcilla altamente compresiva (CH). Para ello, utilizó dosificaciones de melaza de 5%, 6%, 7% y 8% del peso seco del suelo de la primera muestra y dosificaciones de 9%, 10%, 11% y 12% de la segunda. Los resultados demostraron un incremento en el valor del CBR en una relación entre 2 y 3.5 en ambos suelos.

En Etiopía, Tesema (2016) con su tesis titulada “Estabilización de Suelo expansivo con Melaza de Caña de Azúcar” logró mejorar las propiedades de los suelos arcillosos utilizando diferentes concentraciones de melaza. Los descubrimientos más resaltantes fueron que la melaza reduce el índice de plasticidad de los suelos y el potencial de hinchamiento; y que valores como la resistencia a la compresión no confinada (UCS) y CBR se incrementan a medida que se adiciona mayor porcentaje de estabilizante, claro que, hasta un cierto punto, más allá del cual se aprecian propiedades inversas. El óptimo resultado de CBR y resistencia a la compresión no confinada se obtuvo utilizar 8% en peso seco del suelo.

Bhardwaj y Sharma (2022) en su estudio titulado “Diseño del espesor de la subrasante para pavimentos flexibles que incorporan arena de fundición, melaza y cal”, analizaron la combinación del suelo arcilloso extraído de una carretera de la India, con melaza y cal. Para ello, mantuvieron constante el contenido de melaza en 10 % y variaron la proporción de cal en 3 %, 6 %, 9 % y 12 %. Los resultados indicaron que la combinación más óptima fue la de 10 % de melaza con 6 % de cal, logrando incrementar el valor del CBR de 2.9 % a 9.7 %.

### 2.1.2. Antecedentes nacionales

Quispe y Salazar (2021) en su tesis “Influencia de la aplicación de cloruro y melaza de caña en vías no pavimentadas, Lurigancho Chosica 2021”, evaluaron al cloruro de calcio y la melaza como aditivos para mejorar las características de un suelo correspondientes al grupo de gravas limosas (GM). Estos dos aditivos fueron añadidos independiente a las muestras de ensayo para comparar sus efectos; para la mezcla de suelo y cloruro de calcio se utilizaron dosificaciones de 1%, 2% y 3% y para la mezcla de suelo con melaza las dosificaciones fueron de 6%, 8% y 10%. Producto de este análisis se determinó: primero que la melaza ofrece mejores resultados en comparación con el cloruro de calcio y segundo que la muestra con adición de 6% de melaza obtiene un valor de CBR de 28.80% en comparación a la muestra patrón de 15.80%.

### 2.1.3. Antecedentes locales

No se encontró antecedentes locales.

## 2.2. Marco conceptual.

### 2.2.1. Suelos

#### 2.2.1.1. Definición

Desde el punto de vista de la ingeniería, el suelo es definido como un agregado no cementado de granos minerales y materia orgánica en descomposición (partículas sólidas), con gas y líquido dentro de los espacios vacíos de las partículas que lo constituyen. El ingeniero, utiliza al suelo como material de construcción en diferentes proyectos de ingeniería civil por lo cual tiene que estudiar las propiedades que la caracterizan como son su origen, distribución y tamaño del grano, capacidad de drenar agua, compresión, resistencia al corte y capacidad de soporte de carga (Das, 2018).

#### 2.2.1.2. Clasificación de suelos

Existen diversos “Sistemas de Clasificación de suelos entre los cuales podemos mencionar: El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), el Sistema Británico (BS), el American Association of State Highway Officials (AASHTO), entre otros. Para clasificar los suelos se toma en consideración los siguientes criterios:

- Granulometría

- Límites de Atterberg
- Contenido de materia orgánica.

#### 2.2.1.2.1. Sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S.)

Fue ideado por el ingeniero austriaco Arthur Casagrande como una adaptación y modificación más general del sistema para aeropuertos que propuesto en el año 1942. Esta clasificación otorga a los suelos símbolos de grupo conformados por un prefijo y un sufijo. El prefijo indica la composición del suelo, empleando las iniciales de los nombres en inglés de los 6 principales tipos de suelos (Grava, arena, limo, arcilla, suelos orgánicos de grano fino y turba) y el sufijo matiza las propiedades (Crespo, 2017).

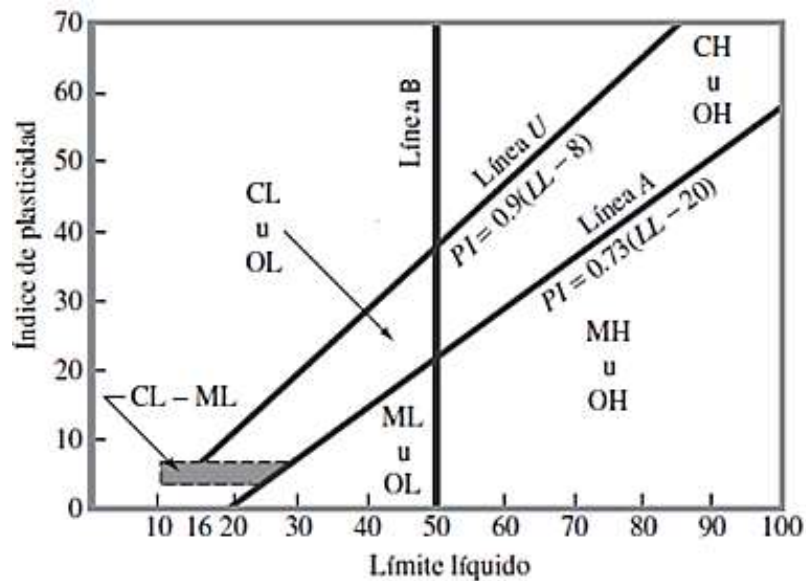
Estos suelos a su vez se pueden agrupar en tres grandes grupos identificados como: suelos de grano grueso, suelos de grano fino y suelos orgánicos, donde los dos primeros se pueden distinguir por medio del cribado del material. Los gruesos como las gravas y las arenas (G y S) son aquellos donde más del 50% del material queda retenido en el tamiz 0.080 UNE (#200 ASTM), los suelos de grano fino como limos y arcillas (M y C) son aquellos donde más del 50% del material pasa en el tamiz 0.080 UNE (#200 ASTM) y los suelos orgánicos (O, Pt) constituidos principalmente por materia orgánica por lo cual son inútiles para cimentación (Crespo, 2017)

En el anexo 1 se puede apreciar la simbología que caracteriza a esta clasificación de suelos. Además, la combinación de dichos símbolos, puede definir uno u otro tipo de suelo como se puede evidenciar en los anexos 2 y 3.

El sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.S.C.) para caracterizar el material también emplea la carta de Casagrande de los suelos cohesivos, el cual fue elaborado luego varios estudios experimentales con muestras de suelo de grano fino, logrando crear en un diagrama que interrelaciona el límite líquido (LL) con el índice de plasticidad (IP).

**Figura 2**

*Carta de plasticidad de Casagrande para suelos cohesivos*



**Nota:** *Grafica para la clasificación de suelos, obtenido de Das, 2018*

Cuando se determina el límite líquido (LL) y el límite plástico (LP), se puede encontrar un punto específico de la muestra de suelo representado en la carta de plasticidad, que básicamente es la relación del límite líquido con el índice de plasticidad.

$$IP = LL - LP$$

**Ecuación 1**

*Índice de Plasticidad*

#### 2.2.1.2.2. Sistema de la AASHTO

Inicialmente fue una clasificación empírica de suelos desarrollada en 1928 por los ilustres geotécnicos Terzaghi y Hogentogler para la Oficina de Vías Públicas de Norteamérica, convirtiéndose rápidamente en una de las más populares en carreteras y utilizada por la American Association of State Highway and Transportation Officials (Asociación Estadounidense de Funcionarios de Transporte y Carreteras Estatales) conocida por las siglas en ingles de AASHTO (Guerra, 2018).

Este sistema está basado en el modelo de Casagrande, consiste en 8 grupos de suelos, enumerados del A-1 hasta A-8. Las categorías A-1, A-2 y A-3 están constituidos por suelos granulares cuya proporción de muestra que pasa el tamiz #200 es menor o igual al 35% del total. Las categorías A-4, A-5, A6 y A-7 son materiales finos o suelos limo

arcillosos cuya proporción de muestra que pasa el tamiz #200 es mayor al 35% del total. Por último, los suelos A-8 están compuestos básicamente por material orgánico. Estos grupos presentan a la vez subdivisiones como en los casos de las categorías A-1 y el A-7 que tienen 2 subgrupos y la categoría A-2 que tiene cuatro (Das, 2018; Villalobos, 2020).

Según AASHTO para encuadrar una muestra de suelos los únicos ensayos requeridos son los de granulometría y de límites de Atterberg. Para establecer la posición relativa dentro de cada grupo, es indispensable introducir en concepto de índice de grupo (IG), que viene a ser un valor entero comprendido entre 0 y 20 en función al porcentaje de suelos que pasa el tamiz 0.080 UNE (#200 ASTM) (Guerra, 2018).

$$IG = 0.2 a + 0.005 a c + 0.01 b d$$

### **Ecuación 2**

*Índice de Grupo*

Donde:

- a: porcentaje en exceso sobre 35% de suelo que pasa por la malla #200, sin pasar el 75%. Se expresa como un número entero entre 0 y 40.
- b: porcentaje en exceso sobre 15% de suelo que pasa por la malla #200, sin pasar el valor de 55%. Se expresa como un número entero entre 0 y 40.
- c: exceso de LL sobre 40 y nunca superior a 60. Se expresa como un número entero entre 0 y 20.
- d: exceso de IP sobre 10 y nunca superior a 30. Se expresa como un número entero (positivo) entre 0 y 20.

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

### **Ecuación 3**

*Índice de Grupo*

Donde:

- F: Porcentaje que pasa por el tamiz N° 200 (B/0,08)
- LL: Límite Líquido (LL)
- IP: Índice de Plasticidad.

Entre mayor sea el valor de IG de un suelo, menor calidad del mismo como subrasante. Es decir, si el IG es mayor o igual de 20, es indicativo de un material muy pobre para ser usado con ese propósito. Como se observa en el anexo 4, el cual recoge las características exigidas por cada grupo y subgrupo para su clasificación, cuanto mayor es

el contenido de partículas finas tenga el suelo, menor será su calidad como subrasante, y mayor su GI.

### 2.2.1.3. Propiedades físicas del suelo

#### 2.2.1.3.1. Análisis granulométrico por tamizado

El análisis granulométrico consiste en determinar la distribución en porcentaje de los diferentes tamaños de partículas de suelo. Dependiendo del tipo de suelo existen varios procedimientos que nos hacen posible conocer su composición granulométrica. Para clasificar partículas gruesas por tamaños el método más generalizado es el del tamizado, en cambio para granos finos el tamizado no es una alternativa adecuada, teniendo que aplicarse el método por sedimentación (Crespo, 2017).

#### **Procediendo por tamizado**

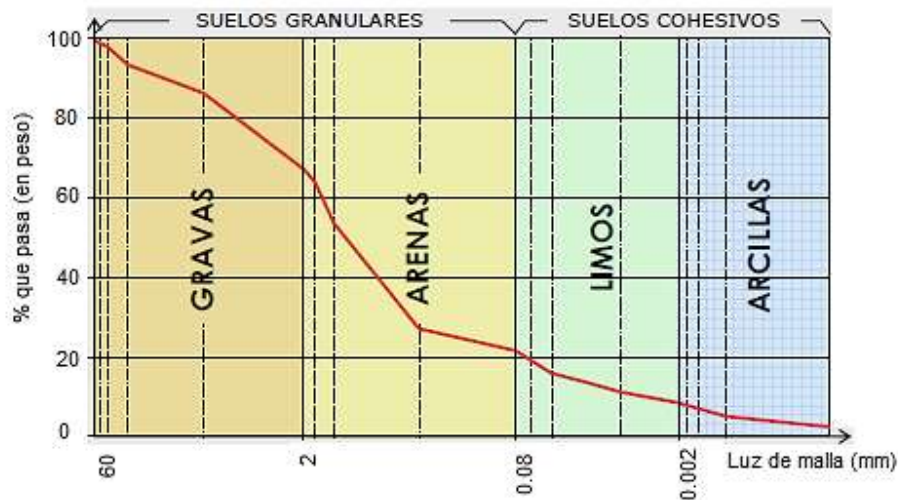
Como primer paso se pesa una muestra de suelo representativa y se seca al sol o al horno por un lapso de 12 horas. Luego por el método de cuarteo se selecciona el material a ser tamizado, pasándolo a través de una serie de mallas normalizadas con aberturas de tamaño decreciente de arriba hacia abajo (se coloca una charola por debajo). La malla de tamaño más pequeño que emplear en este tipo de prueba es la número 200 (Crespo, 2017).

Cuando se evalúan suelos cohesivos, disgregar los terrones en partículas individuales puede ser algo difícil, en ese caso se puede mezclar con agua y luego lavarse a través de las mallas. El material retenido en cada malla se recoge por separado y se lleva al horno antes de medir la cantidad recogida. Conociendo los pesos parciales retenidos en cada malla se determina el porcentaje retenido parcial, el porcentaje retenido acumulado y el porcentaje de suelo que pasa. Estos cálculos se representan en el papel de gráfico semilogarítmico, con el tamaño de abertura del tamiz en la abscisa y el porcentaje que pasa en las ordenadas, conocido como curva de granulométrica (Das, 2018).



**Figura 3**

*Curva granulométrica de un suelo*



**Nota:** *Curva que permite definir la uniformidad y distribución de las partículas de los suelos, obtenido de Guerra, 2018.*

Como aplicación directa de este ensayo y atendiendo a su granulometría puede establecerse una clasificación genérica de suelo, como se puede apreciar en el anexo 5.

Al interpretar una curva granulométrica obtendremos información acerca del comportamiento del suelo. Si analizamos la regularidad de las curvas diferenciaremos dos tipos de granulometrías (Gonzales, 2021):

- Granulometría discontinua: donde la curva presenta tramos planos y picos, que significa que varias mallas sucesivas no retienen material alguno, evidenciando la escasa variación de tamaños. Este tipo de material se denomina como suelos mal graduados. Un ejemplo claro de este tipo de suelos es la arena de playa
- Granulometría continua: es aquella donde la totalidad de las mallas retienen material, por lo cual la curva se dispone suave y continúa. Este tipo de material se denomina como suelos bien graduados. Se engloban dentro de este grupo las zahorras.

A partir de esta curva granulométrica o de distribución de tamaño (figura N° 4) se puede calcular tres parámetros básicos como el diámetro efectivo, coeficiente de uniformidad, y coeficiente de gradación, los cuales nos permitirán clasificar granulométricamente al suelo.

Se define como tamaño efectivo,  $D_{10}$ , al diámetro en la curva granulométrica que constituye la porción 10% más fina del suelo. En tanto el coeficiente de uniformidad y el coeficiente de gradación se expresan de la siguiente forma (Das, 2018).

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

**Ecuación 4**

*Coeficiente de uniformidad*

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \times D_{10}}$$

**Ecuación 5**

*Coeficiente de gradación o curvatura.*

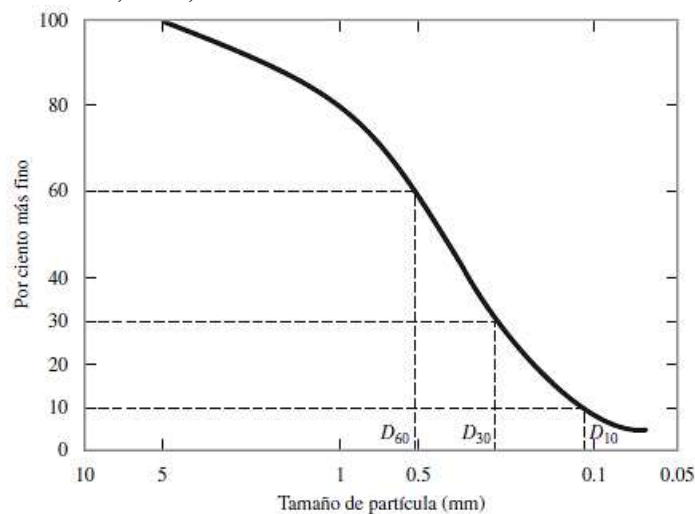
Donde:

$C_u$ : Coeficiente de uniformidad.

$C_c$ : Coeficiente de gradación o curvatura.

$D_x$ : es la abertura de la malla o diámetro efectivo (mm), por donde pasa un X por ciento en peso del total de la muestra analizada de suelo.

**Figura 4**  
*Definición de  $D_{10}$ ,  $D_{30}$ ,  $D_{60}$*

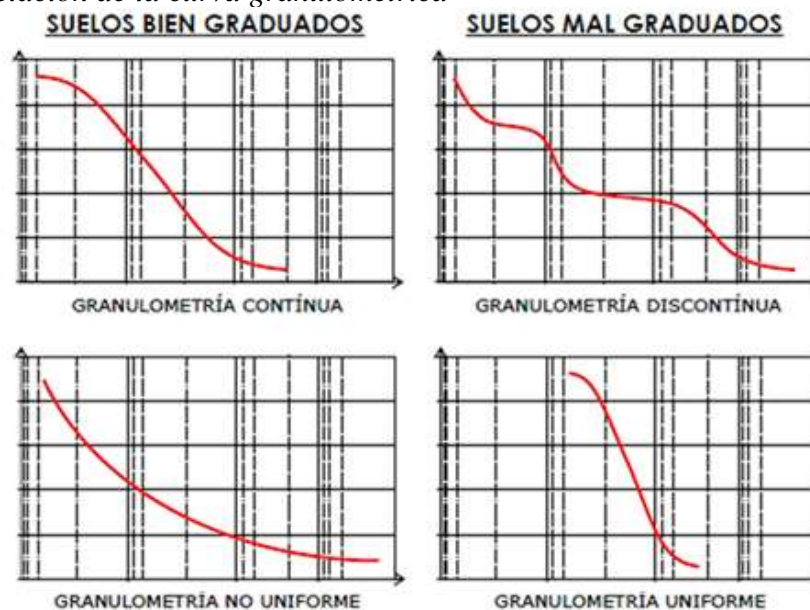


**Nota:** Curva de distribución que permite calcular  $D_{10}$ ,  $D_{30}$  y  $D_{60}$ , obtenido de Das, 2018.

Es importancia en carreteras contar con suelos bien graduados, para que al compactarlo las partículas más finas ingresen en los espacios que dejan los áridos de mayor tamaño, disminuyendo así la cantidad de vacíos y alcanzando con ello una mayor estabilidad y capacidad portante. Los suelos bien graduados presentan valores de coeficiente de uniformidad  $C_u$  mayor a 4 en gravas y mayor a 6 en arenas; y un coeficiente de gradación  $C_c$  que oscila entre 1 y 3 para gravas y arenas (Das, 2018).

**Figura 5**

*Interpretación de la curva granulométrica*



**Nota:** *Curvas típicas que permiten caracterizar la graduación de suelos, obtenido de Guerra, 2018.*

#### 2.2.1.3.2. Estados de consistencia. Límites de plasticidad

Se entiende por plasticidad a la capacidad que tienen los suelos de deformarse hasta cierto límite, sin romperse (Crespo, 2017). La plasticidad no es una propiedad que exhiban todos los suelos; los suelos de grano grueso en ninguna circunstancia la poseen. En tanto que en los suelos finos no es una característica constante, sino más bien circunstancial, pues depende en gran medida de la cantidad de agua presente en su estructura (Rico y Del Castillo, 2018).

Cuando el contenido de humedad en un limo o una arcilla es muy bajo actúa como un sólido quebradizo, con plasticidad nula; mientras que, con un contenido de humedad muy alto, el agua y el suelo pueden fluir como un lodo semilíquido o incluso como una suspensión líquida (Das, 2018). En medio de estos extremos existe un intervalo donde el

contenido de humedad hace que las arcillas se comporten plásticamente (Juárez y Rico, 2018).

Para calcular la plasticidad el científico sueco Albert Mauritz Atterberg ideó un procedimiento que separó a los suelos finos en cuatro estados básicos de consistencia: líquido, plástico, semisólido y sólido (Guerra, 2018).

- Estado Líquido: El alto contenido de humedad elimina las fuerzas de atracción entre las partículas del suelo (la cohesión), convirtiéndolo en un líquido viscoso sin capacidad resistente.
- Estado Plástico: El suelo se moldea con facilidad, presentando grandes deformaciones con la aplicación de pequeños esfuerzos. Por su comportamiento plástico recupera su estado inicial cuando cesa el esfuerzo. No es apto mecánicamente para soportar cargas adicionales.
- Estado Semisólido: El suelo ya no es moldeable, pues se agrieta y rompe antes de cambiar de forma. Sin embargo, no es un sólido, pues disminuye de su volumen si continúa perdiendo agua. Mecánicamente su comportamiento es aceptable.
- Sólido: En este estado el suelo es estable, pues su volumen no perturba con los cambios de humedad. Mecánicamente su comportamiento es óptimo.

La humedad correspondiente a los puntos de transición entre estados define el límite líquido (LL), plástico (LP) y de retracción (LR) y son también conocidos como límites de Atterberg, los cuales se puede apreciar en la siguiente figura.



**Nota:** La figura nos muestra los cuatro estados del suelo y los límites entre ellos, obtenido de Crespo, 2017.

### **Límites de Atterberg**

De los límites mencionados, los de mayor interés son el límite líquido y el límite plástico, pues presentan una alta deformación del suelo y una fuerte reducción de su capacidad portante. Por ello es indispensable conocer el rango de humedad en el cual el suelo se comporta de manera plástica.

- Límite líquido (LL): se define como el contenido de humedad de una pasta de suelo amasada, expresada en porcentaje, por encima del cual cambia del estado plástico al estado líquido (Crespo, 2017). Para determinar este límite se utiliza el método de la copa o cuchara de Casagrande la cual se aprecia en anexo 6 (Norma NLT-105).

Este ensayo se tamiza aproximadamente 100 gramos de una muestra de suelo por la malla N° 40, para después agregar agua hasta conseguir una pasta moldeable, la cual se remueve constantemente con un cuchillo. Después se lo coloca en la cuchara de Casagrande, al tiempo que se va alisando la superficie con el cuchillo. Se pondrá funcionamiento su mecanismo y se contabilizará la cantidad de golpes requeridos para cerrar un surco longitudinal creado previamente por un ranurador normalizado, que corta a la pasta en dos partes iguales de tal forma que queden separadas aproximadamente 2 mm en el fondo de la copa. El contenido de humedad correspondiente al límite líquido será la perteneciente a 25 golpes, y se establecerá interpolando en una gráfica normalizada los dos datos obtenidos experimentalmente (Guerra, 2018).

- Límite plástico (LP): se define como el contenido de humedad de una pasta de suelo amasada, expresada en porcentaje, por debajo del cual los suelos cohesivos pasan del estado plástico al semisólido (Crespo, 2017).

Este ensayo se determina al encontrar el menor contenido de agua de un suelo, que permita formar cilindros de 3 mm de diámetro, rodando la muestra entre una superficie lisa y los dedos o palma de la mano; hasta que los cilindros empiecen a resquebrajarse, tal como se aprecia en el anexo 7. Para su realización se debe contar

con 200 gramos de muestra seca y tamizada por la malla N° 40, como el caso antes mencionado (Guerra, 2018).

- El Límite de retracción o contracción (LC): se define como el contenido de humedad, expresada en porcentaje, con el cual una disminución de agua ya no ocasiona reducción en el volumen del suelo (Crespo, 2017).

La diferencia entre el límite líquido y el límite plástico se denomina índice de plasticidad (IP), el cual permite identificar del grado de plasticidad que tiene el suelo. Poseer un índice de plasticidad alto significa que el suelo es muy plástico (Guerra, 2018)

$$IP = LL - LP$$

#### **Ecuación 6**

*Índice de plasticidad*

Donde:

IP: índice de plasticidad de suelos en %.

LL: límite líquido del suelo en %.

LP: límite plástico del suelo en %.

Cuando no se puede calcular uno de los dos límites (líquido o plástico) o la diferencia resulte negativa, se considerará al índice de plasticidad como No plástico (NP). En el anexo 8 se presenta una tabla con los valores más frecuentes de los parámetros antes señalados, para diferentes tipos de suelos.

Un IP grande indica a un suelo muy arcilloso; por el contrario, un IP pequeño es propio de un suelo poco arcilloso. En ese sentido, el suelo en relación a su índice de plasticidad puede clasificarse lo señalado en el anexo 9.

Se debe tener en consideración que, en un suelo el contenido de arcilla, dependiendo a su magnitud puede ser un elemento riesgoso en un suelo de subrasante y en una estructura de pavimento, debido sobre todo a su gran susceptibilidad al agua.

#### 2.2.1.4. Propiedades mecánicas de los suelos

##### 2.2.1.4.1. Compactación de suelos

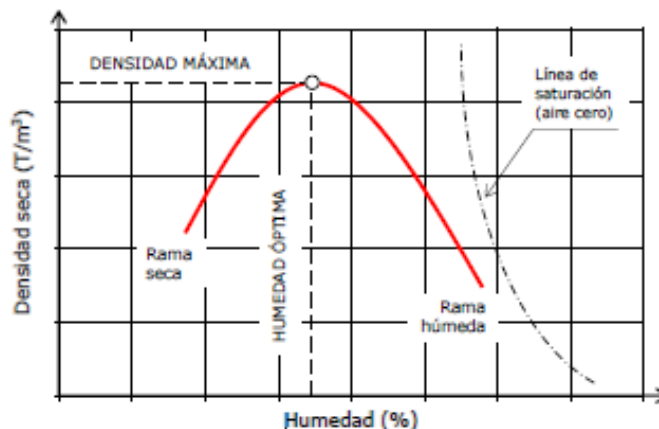
Se conoce como compactación al proceso mecánico que tiene como finalidad mejorar las propiedades de compresibilidad, resistencia y esfuerzo-deformación del suelo. Por lo general implica una reducción de vacíos entre partículas, fundamentalmente relacionado con el espacio que ocupa el aire, dicha disminución de vacíos genera cambios en el volumen del suelo (Rico y Del Castillo, 2018).

Durante la compactación el contenido de humedad juega un papel crucial, un suelo seco necesita mayor energía de compactación para vencer el rozamiento interno entre partículas; mientras que un suelo ligeramente húmedo necesitará menos esfuerzo, pues el agua crea una película alrededor de cada partícula reduciendo la fricción y actuando como lubricante. Si se continúa añadiendo agua, en determinado momento todos los espacios del suelo serán llenados por este, produciendo un aumento de volumen debido a la incompresibilidad de líquido, siendo así más complicado su evacuación y por ende su compacidad disminuirá (Guerra, 2018).

De esta explicación se deduce que para conseguir un grado de compacidad máximo (Densidad seca máxima) existirá un contenido de humedad óptimo, ejerciendo igual energía de compactación.

**Figura 7**

*Curva de compactación típica humedad-densidad seca*

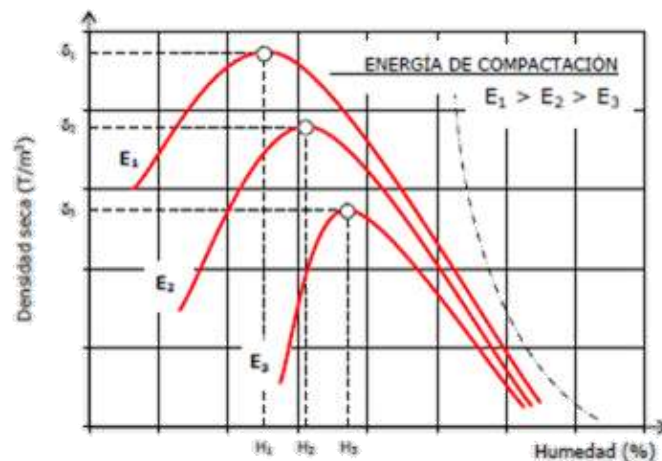


**Nota:** El punto más alto de la curva permite representar la densidad máxima y el contenido de humedad óptimo, obtenido de Guerra, 2018.

De igual forma que el contenido de humedad tiene una mucha influencia en el grado de compactación logrado en un suelo, existen otros dos factores que también afectan la compactación. El primero es el tipo de suelo, pues el peso específico de sólidos está en función de la distribución, tamaño y forma de las partículas del suelo, así mismo la cantidad de minerales de arcilla existentes en la muestra influencia en el peso seco máximo y el contenido de humedad óptimo. El segundo factor se refiere al esfuerzo de compactación, pues si se cambia energía de compactación por unidad de volumen de suelo, la curva de peso unitario húmedo también cambiará (Das, 2018).

**Figura 8**

*Influencia de la energía de compactación*



**Nota:** Se observa la influencia en la densidad seca del suelo y en el contenido de humedad, al variar la energía de compactación, obtenido de Guerra, 2018.

Para determinar la energía de compactación por unidad de volumen, E, en los ensayos Proctor se hará uso de la siguiente formula

$$E = \frac{\left( \begin{array}{c} \text{número} \\ \text{de golpes} \\ \text{por capa} \end{array} \right) \times \left( \begin{array}{c} \text{número} \\ \text{de} \\ \text{capas} \end{array} \right) \times \left( \begin{array}{c} \text{peso} \\ \text{del} \\ \text{martillo} \end{array} \right) \times \left( \begin{array}{c} \text{altura de} \\ \text{caída del} \\ \text{martillo} \end{array} \right)}{\text{volumen del molde}}$$

**Ecuación 7**

*Energía de compactación*



### **Prueba o ensayo Proctor**

Consiste en la determinación del peso por unidad de volumen del suelo compactado con diferentes contenidos de humedad y siguiendo un procedimiento específico. Este ensayo tiene como objetivos determinar el contenido de humedad óptimo que deberá alcanzar un material durante la compactación, para que obtenga un peso volumétrico máximo. Así como calcular el grado de compactación logrado durante o después de la construcción de calles, caminos y aeropuertos, relacionado el peso volumétrico obtenido en obra con el peso volumétrico máximo del proctor calculado en laboratorio (Crespo, 2017).

Existen dos variantes de este ensayo que permiten reproducir en laboratorio las condiciones dadas de compactación en terreno: Proctor Estándar (PE) y Proctor Modificado (PM). La diferencia entre estos dos ensayos radica en la energía de compactación, pues la del proctor modificado es mayor al del estándar (en un orden de 4.5 veces superior), esto se debe a que el ensayo modificado es la evolución natural del estándar. Por esta razón el ensayo modificado es el más adecuado en función a los requerimientos que las estructuras modernas imponen al suelo (Guerra, 2018).

El ensayo consiste en apisonar tandas sucesivas de una muestra de suelo, previamente tamizado y cuarteado en partes iguales, e introducidos en un molde metálico de dimensiones estandarizadas. Para el apisonado se utiliza un mazo normalizado que asegura una energía de compactación constante, según norma y el tipo de ensayo se aplicara 25 o 56 golpes. Luego se realizarán de 4 a 6 determinaciones variando el contenido de humedad de la muestra, a fin de construir la gráfica conocida como Curva de contenido de humedad - Densidad seca. El punto máximo de esta curva determinará en abscisas la humedad óptima y en las ordenadas la densidad seca.

**Proctor Modificado (Norma ASTM D-1557 y Norma AASHTO T-180):** Como ya se indicó la aparición y utilización de rodillos cada vez más pesados en la compactación de suelos, hizo necesario que el ensayo de Proctor estándar sea modificado y a fin de representar de forma más real las condiciones en campo. Para el ensayo de Proctor Modificado se emplea el mismo molde que se usa en el caso del Estándar (volumen de 943.3 cm<sup>3</sup>), pero compactando el suelo en cinco capas, con un martillo que tiene una masa de 4.536 kg y una caída de 457.2 mm, tal como se observa en el anexo 10.

La cantidad de golpes por cada capa que tiene que dar el martillo se mantiene en 25, como en el proceso de la prueba de Proctor estándar (Das, 2018).

Las especificaciones señaladas con anterioridad para las pruebas Proctor, referidos al número de golpes (25 golpes/ capa) y al volumen del molde (943.3 cm<sup>3</sup>); generalmente son adoptadas para suelos que pasan la malla número 4, es decir que tienen grano fino. Sin embargo, en cada prueba existen tres diferentes métodos sugeridos que reflejan el tamaño máximo de las partículas del agregado de prueba, el número de golpes por capa y el tamaño del molde, como se puede observar en los anexos 11.

#### 2.2.1.4.2. Resistencia del suelo

El comportamiento mecánico del suelo es el factor más importante a tomar en cuenta en carreteras, por ello surge la necesidad de caracterizarlo correctamente empleando diferentes procedimientos de ensayo como son la capacidad portante y resistencia al corte.

#### **Capacidad portante (Norma ASTM D-1883 y Norma AASHTO T-193)**

A la carga que es capaz de soportar un suelo sin que se produzcan deformaciones excesivas se conoce como capacidad portante. En carreteras el indicador más usado para determinar este parámetro es el índice CBR (California Bearing Ratio), denominado así porque se usó por primera vez en California, Estados Unidos. Este índice está empíricamente calibrado y se basa en determinaciones realizadas previamente en diferentes tipos de suelos y que han sido analizadas y tabuladas convenientemente (Guerra, 2018).

El valor relativo de soporte normal del suelo CBR, es generalmente empleado para evaluar bases, subbases y subrasantes de caminos. Este ensayo permite calcular la capacidad portante del suelo empleando un procedimiento conjunto de hinchamiento y penetración. Para lo cual se preparan tres muestras de suelo compactado con diferentes números de golpes y una aproximación a las humedades óptimas (Villalobos, 2020).

Para analizar el hinchamiento se sumerge la muestra en agua durante 4 días y se le aplica una carga equivalente a la predecible en condiciones de uso de la vía, luego con ayuda de un trípode calibrado se realizará dos lecturas una al principio del proceso y otra

al final. Por su parte la prueba de penetración que tiene por fin determinar la capacidad portante del suelo, se aplicación de una presión creciente mediante una prensa (a la que va unido un pistón de sección anular) sobre la muestra de suelo compactada (Bañón y Beviá, 2000).

El índice CBR se define como la relación entre carga unitaria requerida para lograr que el pistón penetre una profundidad específica dentro de una muestra de suelo compactada (a un contenido de humedad y densidad controlada) y la carga unitaria requerida para conseguir esa misma penetración en una muestra patrón de grava chancada. Con los valores de la presión-penetración obtenidos en el ensayo se construye una gráfica, de la cual se tomarán los valores pertenecientes a las profundidades de 0.1” (2.54 mm) y 0.2” (5.08 mm), comparándolo con las muestras modelo para dichas penetraciones. El índice CBR será el mayor de los dos obtenidos (Guerra, 2018).

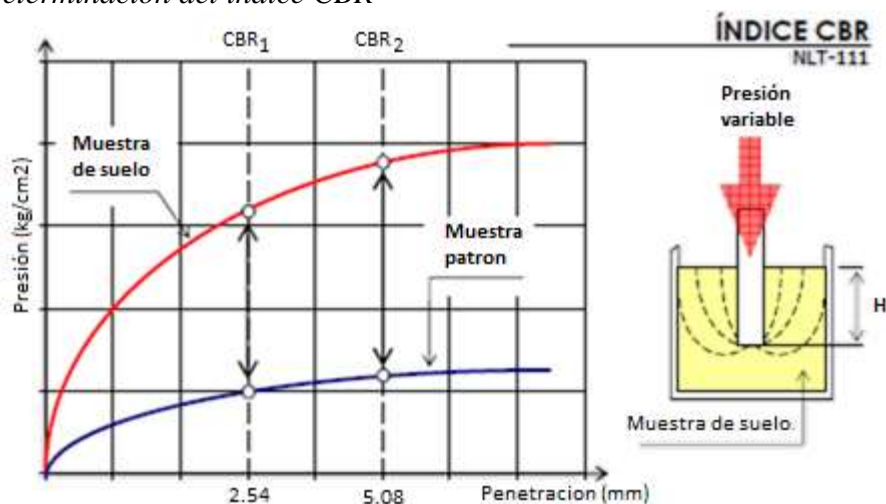
$$\text{CBR} = \frac{\text{Presión en muestra problema}}{\text{Presión en muestra patrón}} \cdot 100$$

### Ecuación 8

#### Índice CBR

**Figura 9**

*Determinación del índice CBR*



**Nota:** Representación del cálculo de índice CBR en función a la muestra de suelo problema y la muestra patrón, obtenido de Guerra, 2018.

### 2.2.2. Caminos y carreteras

#### 2.2.2.1. Definición

Los caminos y carreteras son rutas públicas dispuestas para el tránsito vehicular, cuyas características geométricas tales como: superficie de rodadura, pendiente transversal, pendiente longitudinal, sección transversal y demás elementos deben cumplir con la normatividad vigente del MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018).

Para garantizar su durabilidad en el tiempo, debe poseer una resistencia tal a las cargas que estará sometida. Además, está conformado por otras obras adicionales que permiten minimizar el efecto del clima como pendiente de bombeo, son cunetas, alcantarillas, etc.

### 2.2.3. Pavimentos

#### 2.2.3.1. Definición

El pavimento es una estructura de conformado por varias capas construida sobre la subrasante de una vía, con la finalidad de resistir y distribuir esfuerzos generados por los vehículos, mejorando sus condiciones de seguridad y confort para el tránsito. Normalmente, está constituida por subbase, base y capa de rodadura (Resolución Directoral N° 02-2018-MTC/14, 2018).

#### 2.2.3.2. Tipos de pavimento

Existen básicamente dos tipos de pavimentos: rígido y flexible.

##### 2.2.3.2.1. Pavimento rígido

Es una estructura compuesta por una losa de concreto hidráulico con o sin recubrimiento bituminoso, apoyada sobre una capa de material granular seleccionado (arena y grava) conocido como base, la cual transfiera las cargas hacia la subrasante. Generalmente emplea concreto simple o en ocasiones reforzado, cuya resistencia a los 28 días se encuentra comprendida entre 210 kg/cm<sup>2</sup> y 350 kg/cm<sup>2</sup> (Juárez y Rico, 2017).

**Figura 10**

*Estructura de pavimento rígido*



**Nota:** La estructura del pavimento rígido está conformada por subrasante, base y losa de concreto, obtenido del Ministerio de Economía y Finanzas, 2015.

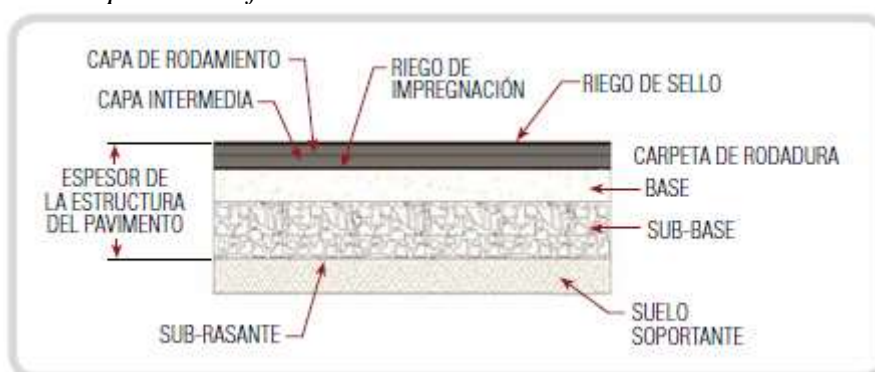
#### 2.2.3.2.2. Pavimento flexible

Es una estructura compuesta por una carpeta de rodadura de material bituminoso (aglomerantes, agregados y de ser el caso aditivo), apoyada normalmente sobre dos capas granulares no rígidas conocidas como base y sub-base. La calidad y capacidad de resistencia a la deformación de estas capas es decreciente con la profundidad, de forma análoga a la disminución de presiones transferidas desde la superficie (Juárez y Rico, 2017).

Principalmente se considera como capa de rodadura asfáltica sobre capas granulares: tratamiento superficial bicapa, micro pavimentos, mortero asfáltico, macadam asfáltico, mezclas asfálticas en caliente y mezclas asfálticas en frío (Ministerio de Economía y Finanzas, 2015).

**Figura 11**

*Estructura de pavimento flexible*



**Nota:** La estructura del pavimento flexible está conformada por subrasante, subbase, base, carpeta de rodadura, obtenido de Ministerio de Economía y Finanzas, 2015.

### 2.2.3.3. Elementos estructurales de un pavimento

#### 2.2.3.3.1. Capa o superficie de rodadura

Constituye la parte superior del pavimento, destinada a la circulación de vehículos y conformada por uno o más carriles, sin incluir a la berma. Cada carril permite circular en filas a los vehículos en un mismo sentido del tránsito (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018). Esta estructura se expone a la intemperie, por lo cual requiere mayores exigencias debiendo ser resistente, duradera, impermeable, antideslizantes.

Su función es sostener directamente el tránsito y puede ser construido de concreto de cemento Portland (rígido) o material bituminoso (flexible) o de adoquines (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

#### 2.2.3.3.2. Base

Es la capa inferior a la capa de rodadura, que tiene como función principal soportar, distribuir y transmitir las cargas producidas por el tránsito. Esta capa será de material granular drenante ( $\text{CBR} \geq 80\%$ ) o tratada con asfalto, cemento o cal (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

Su función es eminentemente resistente, debiendo ser compacta y duradera, para que durante todo el periodo de proyecto sus propiedades mecánicas se mantengan lo más homogéneas posibles.

#### 2.2.3.3.3. Subbase

Es una capa de material seleccionado y con un espesor calculado por diseño, el cual soporta, transmite y distribuye uniformemente las cargas aplicadas en la carpeta de rodadura y la base. Su función principal es como capa de drenaje y como controlador de la capilaridad del agua, protegiendo así la estructura del pavimento. Esta capa puede obviarse dependiendo del tipo, diseño y dimensionamiento del pavimento. Generalmente el material usado en la subbase será granular ( $\text{CBR} \geq 40\%$ ) o tratada con asfalto, cemento o cal (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

En los pavimentos flexibles, la subbase es la capa situada debajo de la base y sobre la subrasante, brindando apoyo uniforme y permanente al pavimento. Cuando se

trata de pavimentos rígidos, esta capa se ubica inmediatamente debajo de las losas de concreto y puede no ser necesaria cuando la subrasante tiene elevada capacidad de soporte.

#### 2.2.3.3.4. Subrasante

Se conoce como subrasante a la superficie culminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras (relleno y corte), encima de la cual descansa la estructura del pavimento y forma parte del prisma de la carretera, que se construye entre la explanada o terreno natural allanado y la estructura del pavimento (Ministerio de Economía y Finanzas, 2015).

La calidad de la subrasante influye significativamente en el espesor de las capas del pavimento, debiendo cumplir requisitos como resistencia, incompresibilidad e inmunidad a la contracción y expansión por efectos de la humedad. Además, debe estar conformada por suelos seleccionados con propiedades adecuadas y compactadas en capas para crear un cuerpo estable, de tal forma que no se vea afectada por las cargas de diseño que proceden del tránsito (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

La capacidad de soporte de la subrasante en condiciones de servicio, en conjunto con el tránsito vial y las propiedades de los materiales de construcción de la superficie de rodadura, constituyen variables fundamentales en el diseño del pavimento que se colocara encima (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

Los suelos localizados por debajo del nivel superior de la subrasante, a una profundidad no menor de 0.60 m, deberán ser suelos apropiados con  $\text{CBR} \geq 6\%$ . En caso este suelo tenga un  $\text{CBR} < 6\%$  (subrasante inadecuada o subrasante pobre) corresponde estabilizar dichos suelos, para lo cual se analizará diferentes alternativas de solución según la naturaleza del suelo, eligiéndose la más conveniente. Entre las alternativas solución tenemos la estabilización mecánica, la estabilización química, la estabilización con geosintéticos, el reemplazo del suelo de cimentación, la elevación de la rasante, el cambio del trazo vial, entre otras (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

Cabe señalar que, durante el proceso de construcción, los últimos 30 cm de suelo localizados debajo del nivel superior de la subrasante, habrán de ser compactados al 95%

de la máxima densidad seca obtenida del ensayo proctor modificado - MTC EM 115 (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

En el manual del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) se clasifican a las subrasantes en cinco categorías en función del valor del CBR, como se aprecia en el anexo 12.

#### 2.2.4. Estabilización de suelos

##### 2.2.4.1. Definición

Al mejoramiento de las características físicas de un suelo ya sea por medio de procedimientos mecánicos o de la incorporación de productos naturales, químicos o sintéticos, se le conoce como estabilización de suelos. Por lo general dichas estabilizaciones se realizan en suelos con características pobres o inadecuadas para subrasantes; para este caso las estabilizaciones más conocidas son las de suelo-cemento, suelo-cal, suelo-asfalto y otras mezclas con productos diversos. También se puede estabilizar bases, subbases o material granular para lograr mejorar la calidad del material, denominándose base, subbase o material granular estabilizado o tratado (Ministerio de Economía y Finanzas, 2015).

La causa que origina este tipo de tratamiento se debe a que los materiales no cumplen con las especificaciones técnicas requeridas para la construcción y frente a esta problemática se tiene tres posibles decisiones (Rico y Del Castillo, 2019):

- Utilizar el material, en su estado natural, pero tomando riesgos en el resultado que podría ocasionar su utilización.
- Eliminar el material insatisfactorio, sustituyéndole por otro de mejor calidad.
- Modificar las propiedades del material existente (estabilizar), para hacerlo capaz de cumplir con las especificaciones y requerimientos necesarios.

##### 2.2.4.2. Tipos de estabilización de suelos

Existen diversas formas para lograr la estabilización y mejora de un suelo, así como también existen varias maneras de clasificar y/o agrupar dichas estabilizaciones, para su entendimiento indicaremos las más comunes.



#### 2.2.4.2.1. Estabilización mecánica.

La estabilización mecánica de suelos es aquella que busca mejorar el material existente, sin cambiar su composición y estructura básica. Para conseguir clase de estabilización se emplea como instrumento a la compactación, lo cual permite disminuir el volumen de vacíos presentes en el suelo (Angulo y Zavaleta, 2020). Entre los procedimientos de estabilización mecánica tenemos:

##### 2.2.4.2.1.1. Compactación

La compactación busca mejorar las propiedades de resistencia, compresibilidad y esfuerzo-deformación de los suelos. Es un proceso artificial que obliga a las partículas de suelo a estar más en contacto las unas con las otras, mediante la reducción de vacíos, empleando medios mecánicos.

Para este método se tendrá en cuenta las pruebas de laboratorio de compactación Proctor estándar y Proctor modificado, dado por la fórmula siguiente:

$$E = \frac{N * n * P * h}{V}$$

**Ecuación 9**

*Energía de compactación*

Dónde:

E: Energía de compactación

N: Número de golpes por capa

n: número de capas de suelo

P: peso del pisón

h: altura de caída libre del pisón

V: volumen del suelo compactado

#### 2.2.4.2.2. Estabilización química.

La estabilización química consiste en modificar las propiedades del suelo mediante la aplicación de un producto químico, el cual se debe mezclar íntima y homogéneamente con el material a tratar, de acuerdo a especificaciones técnicas propias

del producto (Ministerio de Economía y Finanzas, 2015). Dentro de este grupo de estabilización, podemos mencionar las siguientes:

#### 2.2.4.2.2.1. Estabilización con cal

Es un método económico que disminuye la plasticidad e incrementa la resistencia a la compresión del suelo en función del tiempo. La cantidad de cal varía en función de los requerimientos que se tenga y de las características propias del material a ser estabilizado. Comúnmente el porcentaje de cal empleada para este fin varía entre 2 a 8 % en peso. Para que la cal reaccione adecuadamente el suelo debe presentar plasticidad ( $IP > 10$ ) para que se aglomere las partículas de suelo y se logre una acción puzolánica (Angulo y Zavaleta, 2020)

La estabilización de suelo con cal resulta de la mezcla íntima de suelo, cal y agua. Existen 3 tipos de cal: cal viva ( $CaO$  - Óxido de calcio, procedente de la calcinación de rocas calizas), cal hidratada ( $Ca(OH)_2$  – Hidróxido de calcio, obtenida de la reacción química de la cal viva con el agua) o una lechada de cal (suspensión de cal hidratada en agua, obtenida a partir de cal viva o cal hidratada) (Angulo y Zavaleta, 2020).

La cal que se emplea para la estabilización de suelos debe cumplir con los requisitos establecidos en el manual vigente de carreteras: Especificaciones técnicas generales para construcción y las especificaciones AASHTO M-216 o ASTM C-977; y puede ser viva o hidratada (Angulo y Zavaleta, 2020).

Al mezclar el suelo y la cal, se genera dos reacciones: una rápida de floculación e intercambio iónico y otra muy lenta de tipo puzolánica. El efecto más relevante dicha combinación es el de cambiar considerablemente la plasticidad de la muestra; así como incrementar la humedad óptima de compactación, lo cual permite la densificación de suelos de humedad natural elevada, en los que de otro modo no sería posible construir la capa de rodadura (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014, Angulo y Zavaleta, 2020).

La cal puede ser empleada para tratar diversos tipos de suelos ya sea sola o combinada con otros materiales. Las características mineralógicas de los suelos determinarán su grado de reactividad con la cal y la resistencia final que desarrollarán las

capas estabilizadas. En general, los suelos arcillosos de grano fino (con un mínimo del 25% que pasa la malla 200 -75µm y un Índice de Plasticidad mayor de 10) se consideran buenos candidatos para la estabilización. Los suelos que contienen cantidades significativas de material orgánico (mayor que 1%) o sulfatos (mayor que el 0.3%) pueden requerir cal adicional y/o procedimientos especiales de construcción (National Lime Association, 2006)

La dosis de cal aplicada al suelo puede variar en el rango de 2 a 8% en peso seco (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2015). Aunque la experiencia americana señala los siguientes casos en lo cual se lograron excelentes resultados (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014):

- a) Materiales conformados por mezclas de arcilla y grava para su uso como capa granular superficial, con una incorporación de hidróxido de calcio ( $\text{CaOH}_2$ ) en el rango de 2 a 4% en peso.
- b) Suelos con alto contenido de arcilla para su empleo como capa inferior (1 a 3% de cal en peso) o como capa granular superficial (5 a 10% de cal en peso).

En subrasantes o subbases la cal puede estabilizar al suelo fino permanentemente, creando una capa con un valor estructural significativo en el sistema del pavimento. Estos suelos tratados pueden ser de la misma zona (subrasante) o ser materiales de préstamo. La estabilización de la subrasante implica mezclar en el lugar y requiere generalmente la incorporación de 3 a 6 % de cal en peso seco del suelo. En cuanto a las bases la cal puede estabilizar al suelo de forma permanentemente cuando no cumplen los requerimientos mínimos como gravas con arcilla, gravas sucias o bases contaminadas. La estabilización de bases es empleada en la construcción de vías nuevas o en la reconstrucción de vías deterioradas, para lo cual requiere adicionar de 2 a 4% de cal en peso seco de suelo (National Lime Association, 2006).

#### 2.2.4.2.2.2. Estabilización con melaza.

La melaza es un líquido espeso de color marrón oscuro, obtenido como producto secundario en el procesamiento del azúcar de caña, contiene componentes resinosos y algunos inorgánicos que lo hacen inadecuado para el consumo humano. La melaza como

estabilizante mejora su resistencia a la compresión y se reduce la capilaridad del suelo al añadirla al suelo.

- Mecanismo de estabilización en suelos tratados con melaza

Los óxidos y elementos químicos contenido en la melaza, así como otros elementos absorbidos por la caña de azúcar, durante su desarrollo (nutrientes), son probablemente los causantes de la interacción con el suelo expansivo, permitiendo cambiar sus características durante la estabilización.

La incorporación de melaza en suelos arcillosos con características expansivas, causan intercambio de cationes. Este catión genera procesos de floculación y de reducción de la cantidad de agua adsorbida por la arcilla y consecuentemente disminuye el índice de plasticidad. Además, la atracción electroquímica entre los granos del suelo se incrementa debido al mecanismo adhesivo de la melaza, que mantiene unida las partículas de arcilla de suelos, formando partículas más grandes de arcilla. Las propiedades adhesivas de la melaza se derivaron de enlaces de hidrógeno atribuidos al grupo hidroxilo encontrados en sacarosa de melaza (M’Ndegwa, 2011).

- Composición de la Melaza

La composición es heterogénea y varía considerablemente dependiendo de la variedad de caña de azúcar, clima, suelo, periodo de cultivo, eficiencia en su fabricación (bullición del azúcar y el tipo su capacidad de los evaporadores).

**Tabla 1***Composición aproximada de la melaza de caña de azúcar*

Componentes	Constituyentes	Contenido P/P
Componentes mayores	Materia seca	78%
	Proteínas	3%
	Sacarosa	60-63% p/p
	Azúcares reductores	3-5% p/p
	Sustancias disueltas (diferentes azúcares)	4-8% p/p
	Agua	16%
	Grasas	0.40%
	Cenizas	9%
Contenido de minerales	Calcio	0.74%
	Magnesio	0.35%
	Fósforo	0.08%
	Potasio	3.67%
Contenido de aminoácidos	Glicina	0.10%
	Leucina	0.01%
	Lisina	0.01%
	Treosina	0.06%
	Valina	0.02%
Contenido de vitaminas	Colina	600 ppm
	Niacina	48.86 ppm
	Ácido pantoténico	42.9 ppm
	Piridoxina	44 ppm
	Riboflavina	4.4 ppm
	Tiamina	0.88 ppm

**Nota:** La composición de la melaza se expresa en porcentaje o en partes por millón, obtenido de Tuesta, 2020.

### 2.3. Definición de términos básicos

Para los propósitos de esta investigación, se aplican los términos y definiciones siguientes:

- **Arcilla:** Partículas finas con tamaño de grano menor a 2  $\mu\text{m}$  (0,002 mm) provenientes de la alteración física y química de rocas y minerales (Resolución Directoral N° 02-2018-MTC/14, 2018).
- **Cal:** Es un material inorgánico compuesto principalmente de óxido de calcio y/o hidróxido de calcio (National Lime Association, 2006).

- **Estabilización de suelos:** Mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos. Tales estabilizaciones, por lo general se realizan en las superficies de rodadura o capas inferiores de la carretera, y son conocidas como suelo cemento, suelo cal y otros diversos (Resolución Directoral N° 02-2018-MTC/14, 2018).
- **Melaza:** La melaza es un líquido denso y viscoso de color oscuro, dulce y olor agradable que se queda como residuo de la fabricación o refinación de la sacarosa que procede de la caña de azúcar (Tuesta, 2020).
- **Subrasante:** Superficie terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras (corte o relleno), sobre la cual se coloca la estructura del pavimento o afirmado (Resolución Directoral N° 02-2018-MTC/14, 2018).
- **Suelo arcilloso:** Conformado por arcillas o con predominancia de éstas. Por lo general, no es adecuado para el tránsito vehicular.
- **Valor relativo de soporte CBR:** Valor relativo de soporte de un suelo o material, que se mide por la penetración de una fuerza dentro de una masa de suelo (Resolución Directoral N° 02-2018-MTC/14, 2018).

## CAPITULO III

### PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS Y VARIABLES

#### 3.1. Hipótesis

##### 3.1.1. Hipótesis general

La incorporación de melaza y cal en la estabilización de suelos arcillosos de la ciudad de Cajamarca, mejora la Capacidad Portante del Suelo (CBR) en más del 30%.

#### 3.2. Variables

##### 3.2.1. Variables independientes

Porcentaje de Melaza y cal.

##### 3.2.2. Variable dependiente

Capacidad Portante del Suelo (CBR)

#### 3.3. Operacionalización de los componentes de las hipótesis

**Tabla 2**

*Operacionalización de variables*

<b>TITULO:</b> Efecto de la incorporación de melaza y cal en la estabilización de suelos arcillosos de la ciudad de Cajamarca, para subrasante de pavimentos					
<b>Hipótesis</b>	<b>Definición conceptual de las variables</b>	<b>Definición operacional de las variables</b>			
		<b>Variables</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Fuente o instrumento de recolección de datos</b>
La incorporación de melaza y cal en la estabilización de suelos arcillosos de la ciudad de Cajamarca, mejora la Capacidad Portante del Suelo (CBR) en más del 30%.	Líquido denso y viscoso de color oscuro, dulce y olor agradable que se queda como residuo de la fabricación o refinación de la sacarosa que procede de la caña de azúcar (Tuesta, 2020).	Melaza. (V. independiente)		Cantidad de melaza adicionado al suelo arcilloso	Se realizaron Ensayo de Laboratorio y se registraron los datos encontrados mediante formatos de hojas cálculo.
	Es un material inorgánico compuesto principalmente de óxido de calcio y/o hidróxido de calcio (National Lime Association, 2006).	Cal (V. independiente)		Cantidad de cal adicionado al suelo arcilloso	
	Valor relativo de soporte de un suelo o material, que se mide por la penetración de una fuerza dentro de una masa de suelo (Resolución Directoral N° 02-2018-MTC/14, 2018).	Capacidad Portante del Suelo (CBR) (V. dependiente)	-CBR al 0.1"		
			-CBR al 0.2"		
			-Densidad seca -Humedad optima: %		
			-Límites de Atterberg -Clasificación de suelos		

## CAPITULO IV

### MARCO METODOLÓGICO

#### 4.1. Ubicación geográfica

Las muestras de suelo estudiadas en esta investigación se obtuvieron al sureste de la ciudad, en el tramo que conecta a Comunpampa (desvío a Huacariz) y Agopampa, ubicado en el distrito de Cajamarca, su longitud es de 3.30 kilómetros y su trayectoria forma parte de la Ruta N° CA-1454 de la red vial vecinal de la ciudad.

**Figura 12**  
*Mapa del Perú*



**Nota:** Ubicación de la zona de estudio en el mapa del Perú, obtenido y adaptado del Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2014.



**Figura 13**

*Mapa del departamento de Cajamarca.*



**Nota:** Ubicación de la zona de estudio en el mapa del departamento de Cajamarca, obtenido y adaptado del Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2014.

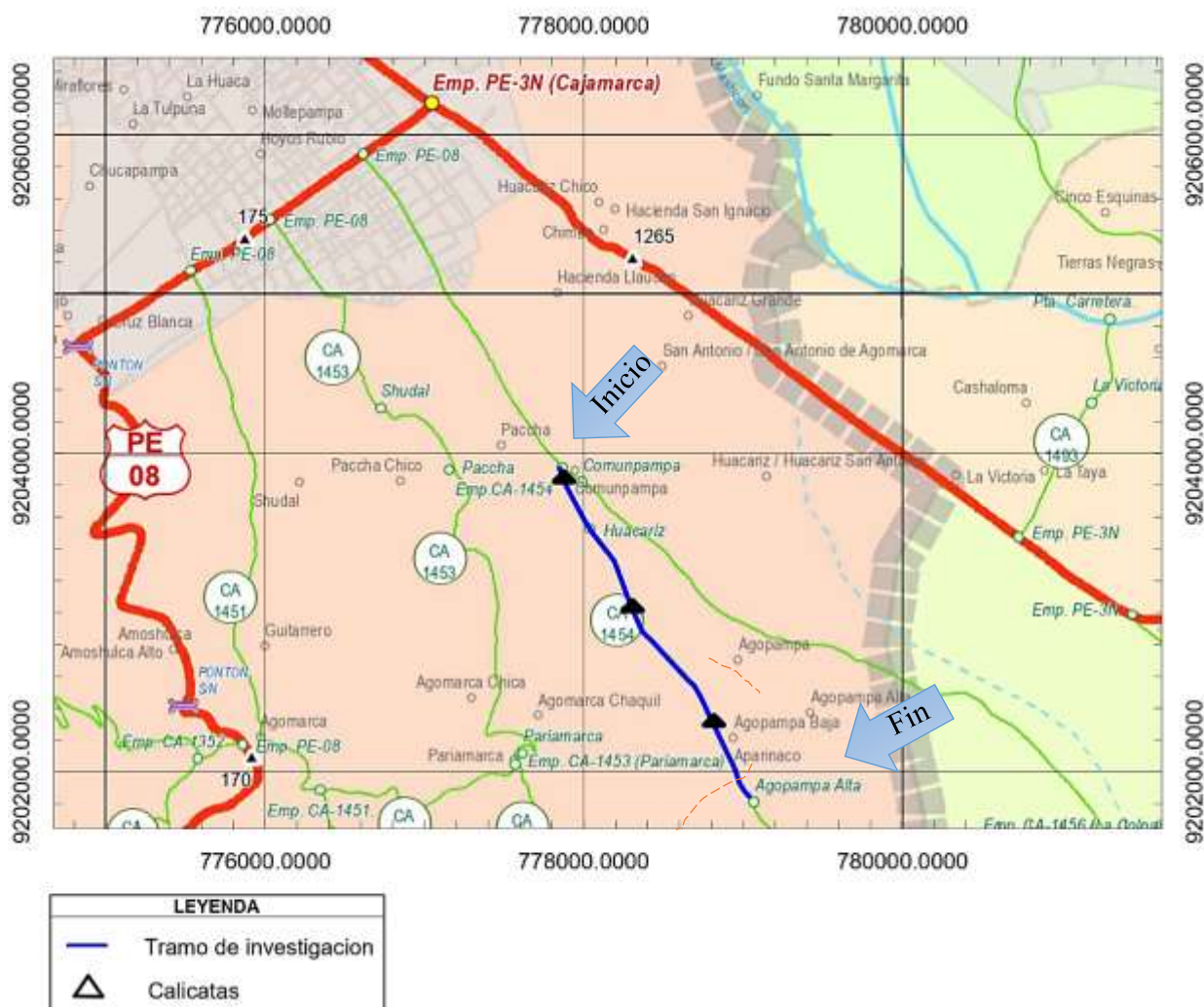
**Figura 14**

*Ubicación del tramo en el mapa de la provincia de Cajamarca*



**Nota:** Ubicación de la zona de estudio a nivel provincial, obtenido y adaptado del Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2014.

**Figura 15**  
**Mapa vial por distritos - Ruta CA-1454**



**Nota:** Inicio y final del tramo de estudio, donde se observa las calicatas realizadas, obtenido del Decreto Supremo N° 011-2016-MTC, 2016.

Para mayor referencia se puede apreciar las coordenadas del tramo de vía en la siguiente tabla.

**Tabla 3**  
**Coordenadas UTM de la ubicación del proyecto**

Lugar	Coordenadas UTM WGS84 17M		
	Norte (m)	Este (m)	Cota (msnm)
Comunpampa (desvío a Huacariz)	9203851.00	777875.00	2680.00
Agopampa	9201042.00	779484.00	2690.00

Los ensayos de las muestras se desarrollaron en laboratorios externos llamados OSMA y GEYSING.

#### **4.2. Diseño de la investigación**

El diseño de investigación que se aplicó a este proyecto de estudio es de carácter experimental, se efectuó siguiendo las Normas NTP, ASTM, AASHTO y la Especificaciones Técnicas del Ministerio de Transportes y Comunicaciones vigentes.

El procedimiento de investigación inició con la selección y recolección de las muestras de suelo arcillosos (procedentes de 03 calicatas), las cuales fueron evaluadas en laboratorio, para conocer sus propiedades físicas y mecánicas. Posteriormente se realizó varias mezclas de suelo, cal y melaza, para ello se mantuvo constante la proporción de cal (3%), mientras que se varió el porcentaje de melaza (5%, 8%, 11%), con la finalidad de evaluar la capacidad de la melaza para mejorar en la estabilización de suelos.

Las actividades que contempló el proyecto de investigación se pueden resumir en las siguientes:

- Ensayo de granulometría para determinar cuantitativamente la distribución de tamaños de partículas del suelo.
- Determinación del Contenido de humedad.
- Ensayo de límite líquido. Es el contenido de humedad expresado en porcentaje del suelo secado en el horno, cuando éste se halla en el límite entre el estado plástico y el estado líquido.
- Ensayo de límite plástico. Es la humedad más baja con que pueden formarse barritas de suelo de 3.2 mm de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa, sin que dichas barritas se desmoronen.
- Clasificación de suelos.
- Ensayo de compactación con energía modificada. Este ensayo abarca los procedimientos de compactación, para determinar la relación entre el contenido de agua y peso unitario seco de los suelos compactados en un molde de 4" de diámetro, con un pistón de 10lbf que cae desde una altura de 18", produciendo una energía de compactación de 56000 lbpie/pie<sup>3</sup>.

- Ensayo de CBR. Ensayo que permite determinar el índice de resistencia de los suelos denominado valor de la relación de soporte, que es muy conocido, como CBR, éste índice se utiliza para evaluar la capacidad de soporte de los suelos.

### 4.3. Métodos de investigación

La investigación empleó la experimentación como método empírico, dado que implicó la manipulación de las variables independientes con el propósito de observar sus efectos sobre las variables dependientes. En este caso, las variables independientes corresponden a la dosificación de melaza y cal, mientras que la variable dependiente es la capacidad portante del suelo (CBR).

Posteriormente, correlacionó los valores de CBR obtenidos en las muestras de suelo tratadas con cal y melaza con los resultados de la muestra patrón, para verificar o contrastar la hipótesis planteada. Asimismo, gracias al control de las condiciones de ensayo, se aseguraron resultados replicables y confiables.

De igual modo, se aplicó el método hipotético deductivo, que permitió vincular la hipótesis planteada con la observación de la realidad. En tal sentido, se partió del supuesto inicial de que la incorporación de cal y melaza mejora la capacidad portante del suelo. Posteriormente, hipótesis que fue sometida a verificación experimental mediante la ejecución de ensayos de laboratorio específicos, orientados a determinar su validez o falsedad.

**Tabla 4**

*Método de investigación*

<b>CRITERIO</b>	<b>TIPO</b>
Finalidad	Aplicada
Estrategia o enfoque metodológico	Cuantitativa
Objetivos	Correlacional
Fuente de datos	Primaria
Diseño de prueba de hipótesis	Experimental
Temporalidad	Transversal (sincrónica)
Contexto donde se desarrolla	Laboratorio
Intervención disciplinaria	Unidisciplinaria

**Nota:** *Obtenido de Vieytes (2004), Méndez y Astudillo (2008), (Maleta 2009),*

*Hernández et al. (2014).*

#### 4.4. Población, muestra, unidad de análisis y unidades de observación

- **Población:** Suelos arcillosos del tramo comprendido entre Comunpampa y Agopampa, en la ciudad de Cajamarca
- **Muestra:** Suelos arcillosos proveniente las calicatas realizadas en la vía entre Comunpampa y Agopampa, con adición cal y melaza a diferentes porcentajes.
- **Unidad de análisis:** Efecto de la incorporación de melaza y cal en la estabilización de suelos arcillosos.
- **Unidad de observación:** Especímenes de suelo arcilloso cal y los diferentes porcentajes de melaza, que se ensayaron en el laboratorio.

**Tabla 5**

*Variables, niveles de variables y tratamientos*

Variable	Nivel	Descripción	Tratamiento	Código
Suelo natural		Sin aditivo	Prop.1	SNP1
			Prop. 2	SNP2
Muestra Patrón	Dosis 0	3% de Cal.	Dosis 0 + Prop.1	D0P1
			Dosis 0 + Prop. 2	D0P2
Dosis de melaza	Dosis 1	3% de Cal y 5% de Melaza	Dosis 1 + Prop. 1	D1P1
			Dosis 1 + Prop. 2	D1P2
	Dosis 2	3% de Cal y 8% de Melaza	Dosis 2 + Prop. 1	D2P1
			Dosis 1+ Prop. 2	D2P2
	Dosis 3	3% de Cal y 11% de Melaza	Dosis 3 + Prop. 1	D3P1
			Dosis 3+ Prop. 2	D3P2
Propiedades Mecánicas del suelo de estudio	Prop.1	Densidad Seca Máxima (gr/cm3)		
	Prop. 2	CBR (%)		

El número de muestras se eligió tomando en cuenta el Manual de carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014), donde recomienda para vías de tercera clase mínimamente un CBR por cada 2 km. Para esta investigación se realizó 3 calicatas dentro del tramo de 3.30 kilómetros de estudio, estas muestras representativas se denominan con códigos C1, C2 y C3.

**Tabla 6***Matriz experimental de diseño y niveles de las variables en estudio*

<b>Propiedades mecánicas</b>	<b>Suelo natural</b>	<b>Tratamiento</b>				<b>Parcial</b>
		<b>3%Cal</b>	<b>3%Cal + 5%Melaza</b>	<b>3%Cal+ 8%Melaza</b>	<b>3%Cal+ 11%Melaza</b>	
Máxima Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	SNP1-C1	D0P1-C1	D1P1-C1	D2P1-C1	D3P1-C1	15
	SNP1-C2	D0P1-C2	D1P1-C2	D2P1-C2	D3P1-C2	
	SNP1-C3	D0P1-C3	D1P1-C3	D2P1-C3	D3P1-C3	
CBR (%)	SNP2-C1	D0P2-C1	D1P2-C1	D2P2-C1	D3P2-C1	15
	SNP2-C2	D0P2-C2	D1P2-C2	D2P2-C2	D3P2-C2	
	SNP2-C3	D0P2-C3	D1P2-C3	D2P2-C3	D3P2-C3	

**4.5. Técnicas e instrumentos de recopilación de información**

La técnica empleada para la recopilación de información fue la experimentación mediante la manipulación de variables, además de la observación directa, por ser la más eficiente y ampliamente utilizada en la recolección de datos de campo y en el desarrollo de ensayos en el laboratorio. Estas técnicas permitieron identificar y analizar con precisión el comportamiento del material, y así como correlacionar los datos obtenidos, constituyéndose en un elemento fundamental para el desarrollo y la validez de la investigación.

Para la recopilación de la información se empleó como instrumento formatos en Excel, los cuales permitieron registrar de manera ordenada y adecuada los datos obtenidos en los diferentes ensayos realizados durante la experimentación, facilitando su posterior análisis y comparación.

Los formatos de recolección de muestras se hicieron tomando en consideración lo establecido en la Guía para Muestreo de Suelos y Rocas del MTC E 101-2000 y en el Manual de Ensayos de Materiales (EM-2000). Asimismo, los formatos de los ensayos se desarrollaron conforme a las normas técnicas del MTC, ASTM y AASHTO, garantizando la confiabilidad de los resultados.

#### **4.6. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información**

Para el procesamiento inicial de los datos recolectados, se empleó como instrumento el software Microsoft Excel. Este programa permitió calcular y organizar las variables de interés, sirviendo como soporte esencial para la elaboración y gestión de los datos.

Posteriormente, se aplicó la técnica de análisis de datos correspondiente a la estadística descriptiva, la cual permite resumir, caracterizar y presentar de manera ordenada las propiedades principales del conjunto de datos. En este contexto, se utilizaron gráficas de líneas y barras como herramientas de visualización, orientadas a mostrar los resultados de forma clara y comprensible, facilitando la identificación de patrones, comparaciones y tendencias de las mezclas ensayadas.

#### **4.7. Equipos, materiales, insumos, etc.**

##### **Materiales e insumos:**

- Suelo arcilloso de la ciudad de Cajamarca, extraído del tramo que conecta a Comunpampa y Agopampa.
- Melaza procedente de Pomalca.
- Cal hidratada.
- Agua potable.

##### **Equipos:**

- Tamices: para análisis granulométrico mediante tamizado por lavado N° 3", N° 2", N° 1, N° 1/2", N° 1", N° 3/4", N° 1/2", N° 3/8", N° 4, N° 10, N° 20, N° 40, N° 50, N° 60, N° 100, N° 200.
- Balanzas electrónicas digitales de 30 000 gr, 15 000 gr y 4 000 gr (con sensibilidad de 0.1gr).
- Balanzas electrónicas digitales de 400 gr (con sensibilidad de 0.01gr).
- Estufa con control de temperatura de 50 C° a 250 C°.
- Taras de todos los tamaños.
- Molde de 4" Próctor modificado.
- Pisón o Martillo Próctor modificado de 10Lb.
- Moldes de 6" para ensayo CBR.

- Prensa para ensayo CBR.
- Cuchara de Casa grande
- Acanalador
- Varios: espátula de acero flexible, cápsulas de porcelana, placa de vidrio, agua destilada.



#### 4.8. Matriz de consistencia metodológica

Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Variables/ categorías	Dimensione s/ factores	Indicadores/ cualidades	Fuente o instrumento de recolección de datos	Metodología	Población y muestra
¿Cuál es el efecto de la incorporación de melaza y cal en la estabilización de suelos arcillosos de la ciudad de Cajamarca, para subrasantes de pavimentos?	<b>Objetivo general</b> Evaluar el efecto de la incorporación de melaza y cal en la estabilización de suelos arcillosos de la ciudad de Cajamarca, para subrasante de pavimentos.	La incorporación de melaza y cal en la estabilización de suelos arcillosos de la ciudad de Cajamarca, mejora la Capacidad Portante del Suelo (CBR) en más del 30%.	Melaza. (Variable independiente)		Cantidad de melaza adicionado al suelo arcilloso	Se realizaron Ensayo de Laboratorio y se registraron los datos encontrados mediante formatos de hojas cálculo.	Método empírico: Experimental  Metodo lógico: Hipotetico deductivo   Aplicada Cuantitativa Correlacional Primaria Experimental Transversal (sincrónica) Laboratorio Unidisciplinaria	<b>Población:</b> Suelos arcillosos del tramo comprendido entre Comunpampa y Agopampa, en la ciudad de Cajamarca  <b>Muestra:</b> Suelos arcillosos proveniente las calicatas realizadas en la vía entre Comunpampa y Agopamapa, con adición únicamente de la cal y con adición de cal y melaza a diferentes porcentajes.
	<b>Objetivos específicos</b> -Encontrar la clasificación del suelo, índice de plastificad, la densidad seca máxima y capacidad de soporte (CBR) del suelo natural. -Encontrar el contenido de humedad óptimo, la densidad seca máxima y capacidad de soporte (CBR) de los suelos arcillosos con cal y de los suelos con incorporación de cal y melaza. -Evaluar el efecto de la incorporación de melaza y cal para la estabilización químico mecánica de suelos arcillosos.		Cal. (Variable independiente)		Cantidad de cal adicionado al suelo arcilloso			
	Capacidad Portante del Suelo (CBR) (Variable dependiente)		-CBR al 0.1” -CBR al 0.2”					
			-Densidad seca -Humedad optima:					
			-Límites de Atterberg					
			- Clasificación de suelos					

## CAPITULO V

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 5.1 Presentación de resultados

Este capítulo se enfocó en analizar los datos obtenidos durante la recolección de muestras y los posteriores ensayos de laboratorio realizados. De la misma manera se describe la metodología aplicada y se interpreta los resultados obtenidos, mediante el procesamiento adecuado de datos.

##### 5.1.1 Recolección y muestreo

Se realizó la excavación de 3 calicatas, en el tramo de evaluación (Comunpampa - Agopampa), distanciadas aproximadamente entre sí por 1 kilómetro. La profundidad de excavación de estos pozos de prueba fue de 1.70 m, conforme lo señalado en el Manual de carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014), el cual recomienda mínimamente una profundidad de 1.50 con respecto al nivel de la subrasante.

Las excavaciones se hicieron a cielo abierto y de forma manual y se excluyó del muestreo el material superficial, por ser material orgánico. Los datos de la ubicación de las calicatas se muestran a continuación:

**Tabla 7**

*Ubicación y número de calicatas*

Calicata	Profundidad	Coordenadas UTM			Referencia
	(m)	Norte	Este	Cota	
C-1	-1.7	9 203 851.917	777 875.357	2680.40	A 30 metros del desvío a Huacariz
C-2	-1.7	9 203 014.828	778 307.445	2692.10	A 100 metros de la iglesia "La Cosecha"
C-3	-1.7	9 202 300.563	778 821.729	2689.26	

##### 5.1.2 Análisis de laboratorio

Se realizaron diferentes pruebas de laboratorio respetando la normativa correspondiente a cada ensayo, como se detalla en el cuadro siguiente.

**Tabla 8***Resumen de los ensayos en laboratorio*

<b>Ensayo</b>	<b>Norma</b>
Contenido de humedad	NTP 339.127, ASTM D 2216, AASHTO T 265
Análisis granulométrico	NTP 339.128, ASTM D 422, AASHTO T 88
Clasificación de suelos SUCS	NTP 339.134, ASTM D 2487, AASHTO M 145
Clasificación de suelos AAHTO	ASTM D 3282
Límites de Atterberg	NTP 339.129, ASTM D 4318, AASHTO T 89/T 90
Gravedad específica	ASTM C 127, AASHTO T 100
Compactación con energía modificada	NTP 339.141, ASTM D 1557, AASHTO T 180
CBR	NTP 339.145, ASTM D 1883, AASHTO T 193

### 5.1.3 Propiedades físicas de suelo natural

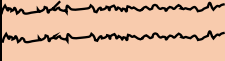
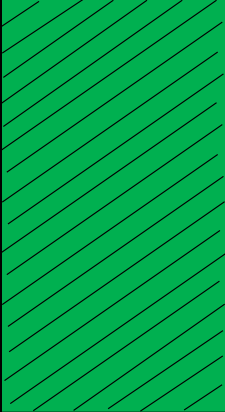
- Calicata N° 1

Desde la superficie hasta los 0.20 m de profundidad, está conformado por material orgánico, por lo que esta muestra no fue clasificada. Entre los 0.20 m y 1.70 m de profundidad el estrato se caracteriza por ser homogéneo y por estar compuesto arcilla inorgánica de color amarillo, con consistencia semi compactada y de plasticidad media. Identificado en el sistema SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos) como un suelo tipo CL, mientras que en el sistema AASHTO es clasificado como un suelo A – 6(6).

Tiene contenido de humedad natural de 13.6%, límite líquido de 32.20%, límite plástico de 21.50% y índice de plasticidad es de 10.70%. No se encontró nivel freático.

**Figura 16**

*Perfil estratigráfico (Calicata 1)*

Profundidad (m)	N.F.	Muestra	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	Clasificación		Símbolo Gráfico
				SUCS	AASHTO	
0.00	NO	-	Materia orgánica con presencia de raíces, material no clasificado	-	-	
-0.20						
-0.30	NO	M - 1	Arcilla inorgánica de <b>baja plasticidad</b> , de color amarillo  - Humedad Natural: 13.6% - Límite Líquido = 32.20% - Límite Plástico = 21.50% - Índice de Plasticidad = 10.70%	CL	A - 6 (6)	
-0.40						
-0.50						
-0.60						
-0.70						
-0.80						
-0.90						
-1.00						
-1.10						
-1.20						
-1.30						
-1.40						
-1.50						
-1.60						
-1.70						

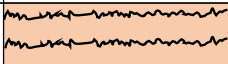
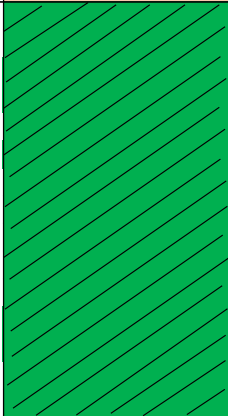
- Calicata N° 2

El primer estrato, comprendido desde la superficie hasta los 0.20 m de profundidad, se caracteriza por estar compuesto por ser materia orgánica, por lo cual no se clasificó esta muestra. Entre los 0.20 m y 1.70 m de profundidad el estrato se caracteriza por ser homogéneo y por estar compuesto arcilla inorgánica de color marrón, con consistencia semi compactada y de plasticidad media. Identificado en el sistema SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos) como un suelo tipo CL, mientras que en el sistema AASHTO es clasificado como un suelo A – 6 (8).

Tiene contenido de humedad natural de 13.7%, límite líquido de 30.00%, límite plástico de 19.30% y índice de plasticidad de 10.70%. No se encontró nivel freático.

**Figura 17**

*Perfil estratigráfico (Calicata 2)*

Profundidad (m)	N.F.	Muestra	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	Clasificación		Símbolo Gráfico
				SUCS	AASHTO	
0.00	NO	-	Materia orgánica con presencia de raíces, material no clasificado	-	-	
-0.20						
-0.30	NO	M - 1	Arcilla inorgánica de <b>baja plasticidad</b> , de color marrón  - Humedad Natural: 13.72% - Límite Líquido = 30.00% - Límite Plástico = 19.30% - Índice de Plasticidad = 10.70%	CL	A - 6 (8)	
-0.40						
-0.50						
-0.60						
-0.70						
-0.80						
-0.90						
-1.00						
-1.10						
-1.20						
-1.30						
-1.40						
-1.50						
-1.60						
-1.70						

• Calicata N° 3

Desde la superficie hasta una profundidad de 0.20 m se identificó la presencia de material orgánico, motivo por el cual esta muestra no fue clasificada. Entre los 0.20 m y 1.70 m de profundidad el estrato se caracteriza por ser homogéneo y por estar compuesto arcilla inorgánica de color marrón claro, con consistencia semi compactada y de plasticidad media. Identificado en el sistema SUCS (Sistema Unificado De Clasificación de Suelos) como un suelo tipo CL, mientras que en el sistema AASHTO es clasificado como un suelo A – 6 (6).

Tiene contenido de humedad natural de 15.2%, límite líquido de 30.50%, límite plástico de 16.70% y índice de plasticidad de 13.80%. No se encontró nivel freático.

**Figura 18***Perfil estratigráfico (Calicata 3)*

Profundidad (m)	N.F.	Muestra	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	Clasificación		Símbolo Gráfico
				SUCS	AASHTO	
0.00	NO	-	Materia orgánica con presencia de raíces y afirmado de carretera, material no clasificado	-	-	
-0.20						
-0.30	NO	M - 1	Arcilla inorgánica de <b>baja plasticidad</b> , de color marrón claro  - Humedad Natural: 15.23% - Límite Líquido = 30.50% - Límite Plástico = 16.70% - Índice de Plasticidad = 13.80%	CL	A - 6 (6)	
-0.40						
-0.50						
-0.60						
-0.70						
-0.80						
-0.90						
-1.00						
-1.10						
-1.20						
-1.30						
-1.40						
-1.50						
-1.60						
-1.70						

A continuación, se presenta la tabla resumen con las propiedades físicas del suelo natural.

**Tabla 9***Clasificación de suelos y propiedades físicas del suelo natural*

Calicata N°	Nivel freático	Humedad natural (%)	Límite Líquido (%)	Límite plástico (%)	Índice de plasticidad (%)	Clasificación	
						SUCS	AASHTO
C-1	NO	13.6	32	22	11	CL	A - 6 (6)
C-2	NO	13.7	30	19	11	CL	A - 6 (8)
C-3	NO	15.2	31	17	14	CL	A - 6 (6)

#### 5.1.4 Propiedades mecánicas de suelo natural y suelo tratado

##### 5.1.4.1 Ensayo de compactación (Proctor Modificado) del suelo natural

- Calicata N° 1

De la realización del ensayo de Proctor modificado se obtuvo los siguientes valores de densidad seca y contenido de humedad:

**Tabla 10**

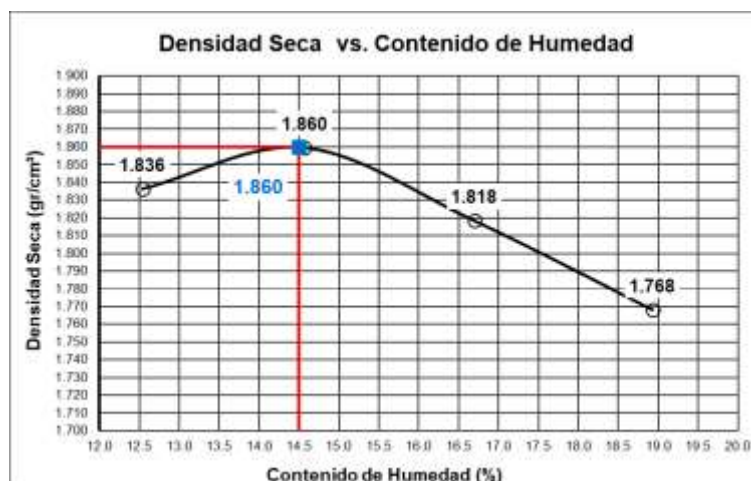
*Contenido de humedad vs Densidad seca del suelo natural (Calicata 1)*

Contenido de agua (%)	Densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )
12.5	1.836
14.6	1.860
16.7	1.818
18.9	1.768

Con dichos datos se elaboró la curva de densidad seca y contenido de humedad que se aprecia a continuación:

**Figura 19**

*Curva compactación de suelo natural (Calicata 1)*



En la gráfica precedente, se observa que en el suelo natural de la calicata 1, el contenido óptimo de humedad de 14,5%, para una densidad seca máxima (MDS) de 1,860 gr/cm³.

- Calicata N° 2

Mediante ensayo de Proctor modificado se obtuvo los siguientes valores de densidad seca y contenido de humedad:

**Tabla 11**

*Contenido de humedad vs Densidad seca del suelo natural (Calicata 2)*

Contenido de agua (%)	Densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )
11.7	1.861
13.6	1.887
15.9	1.846
18.7	1.742

Estos valores permitieron graficar la curva de densidad seca vs contenido de humedad que se muestra a continuación:

**Figura 20**

*Curva compactación de suelo natural (Calicata 2)*



Según la gráfica anterior, para el suelo natural de la calicata 2, el contenido óptimo de humedad de 13,5%, con el cual se alcanzó una densidad seca máxima (MDS) de 1,877 gr/cm<sup>3</sup>.

- Calicata N° 3

El ensayo de Proctor modificado arrojó los siguientes valores de densidad seca y contenido de humedad:



**Tabla 12**

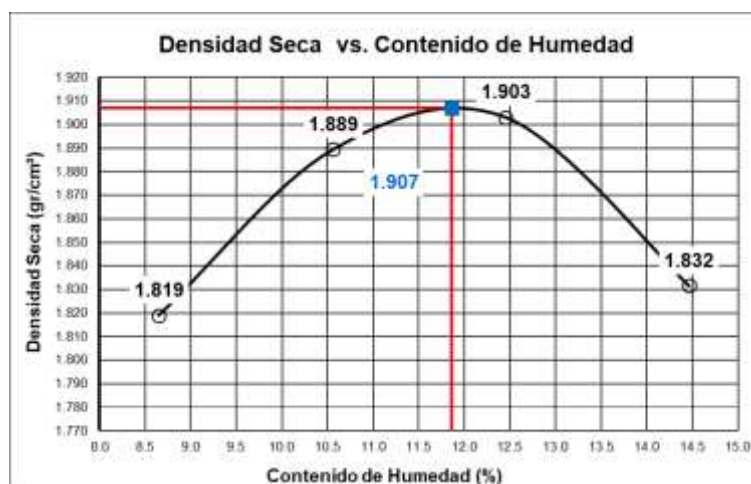
*Contenido de humedad vs Densidad seca del suelo natural (Calicata 3)*

Contenido de agua (%)	Densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )
8,7	1,819
10,6	1,889
12,5	1,903
14,5	1,832

Con estos datos numéricos se graficó la curva de densidad seca vs contenido de humedad que se muestra a continuación:

**Figura 21**

*Curva compactación de suelo natural (Calicata 3)*



En grafica precedente, se visualiza que el contenido máximo contenido de humedad del suelo natural de la calicata 3 es 11,9% y la densidad seca máxima (MDS) es 1,907 gr/cm<sup>3</sup>.

#### 5.1.4.2 Ensayo de compactación (Proctor Modificado) de las muestras tratadas.

Para la realización de estos ensayos de laboratorio se procedió a realizar mezclas de suelo patrón con 3% de cal, así como las mezclas de suelo con adición de 3% de cal y proporciones de 5%, 8% y 11% melaza.

- Calicata N° 1

Del ensayo de Proctor modificado realizado a las muestras de suelo tratadas. se obtuvo los siguientes valores de densidad seca y contenido de humedad:

**Tabla 13**

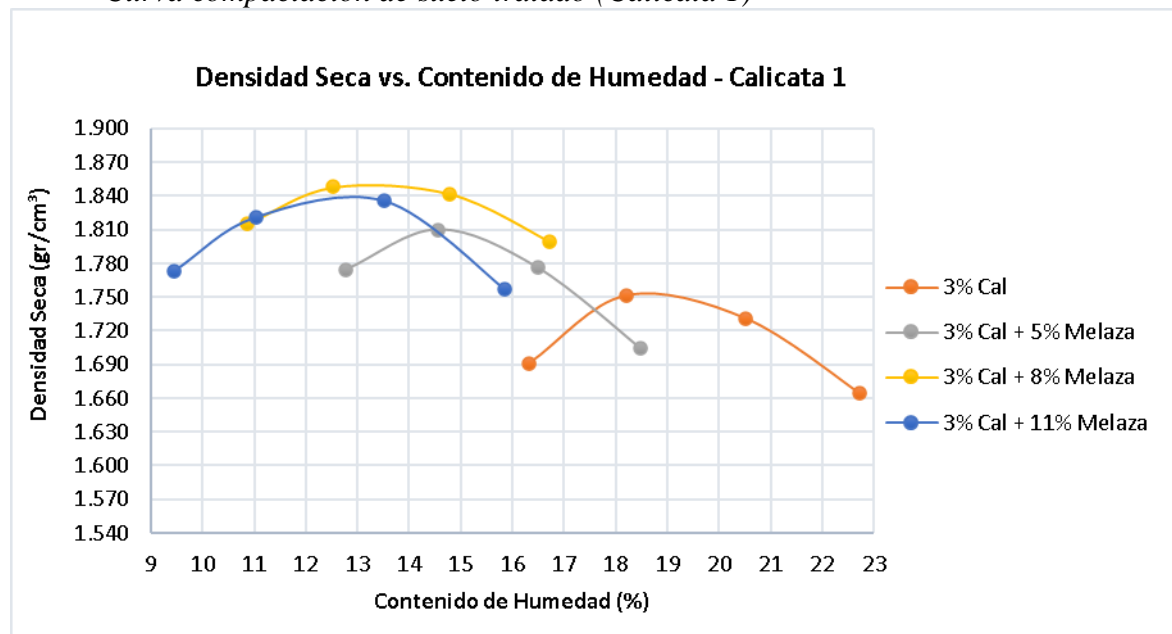
*Contenido de humedad vs Densidad seca del suelo tratado (Calicata 1)*

3% Cal		3% Cal + 5% Melaza		3% Cal + 8% Melaza		3% Cal + 11% Melaza	
Contenido de agua (%)	Densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )	Contenido de agua (%)	Densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )	Contenido de agua (%)	Densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )	Contenido de agua (%)	Densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )
16.3	1.691	12.8	1.774	10.9	1.816	9.5	1.774
18.2	1.751	14.6	1.810	12.5	1.848	11.0	1.821
20.5	1.731	16.5	1.776	14.8	1.842	13.5	1.835
22.7	1.664	18.5	1.704	16.7	1.800	15.8	1.757

Con dichos datos se elaboró la curva de densidad seca y contenido de humedad que se aprecia a continuación:

**Figura 22**

*Curva compactación de suelo tratado (Calicata 1)*



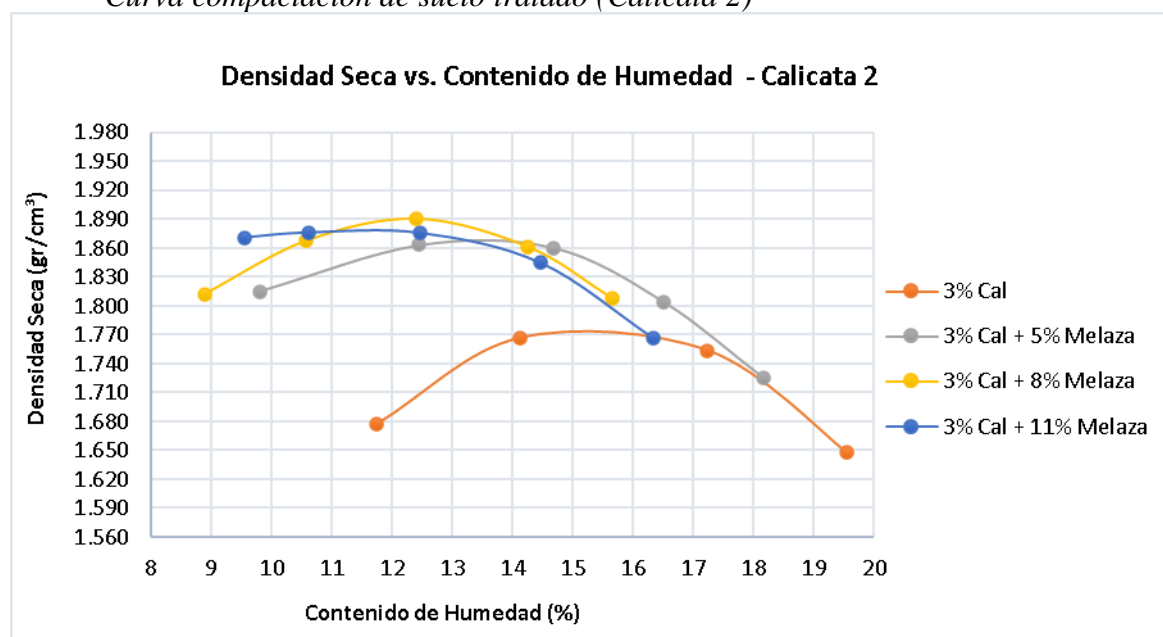
- Calicata N° 2

Mediante ensayo de Proctor modificado se obtuvo los siguientes valores de densidad seca y contenido de humedad:

**Tabla 14***Contenido de humedad vs Densidad seca del suelo tratado (Calicata 2)*

3% Cal		3% Cal + 5% Melaza		3% Cal + 8% Melaza		3% Cal + 11% Melaza	
Contenido de agua (%)	Densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )	Contenido de agua (%)	Densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )	Contenido de agua (%)	Densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )	Contenido de agua (%)	Densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )
11.7	1.677	9.8	1.815	8.9	1.812	9.6	1.871
14.1	1.767	12.5	1.863	10.6	1.868	10.6	1.876
17.2	1.754	14.7	1.861	12.4	1.891	12.5	1.876
19.5	1.648	16.5	1.804	14.3	1.861	14.5	1.845
-	-	18.17	1.72	15.6	1.807	16.3	1.767

Estos valores permitieron graficar la curva de densidad seca vs contenido de humedad que se muestra a continuación:

**Figura 23***Curva compactación de suelo tratado (Calicata 2)*

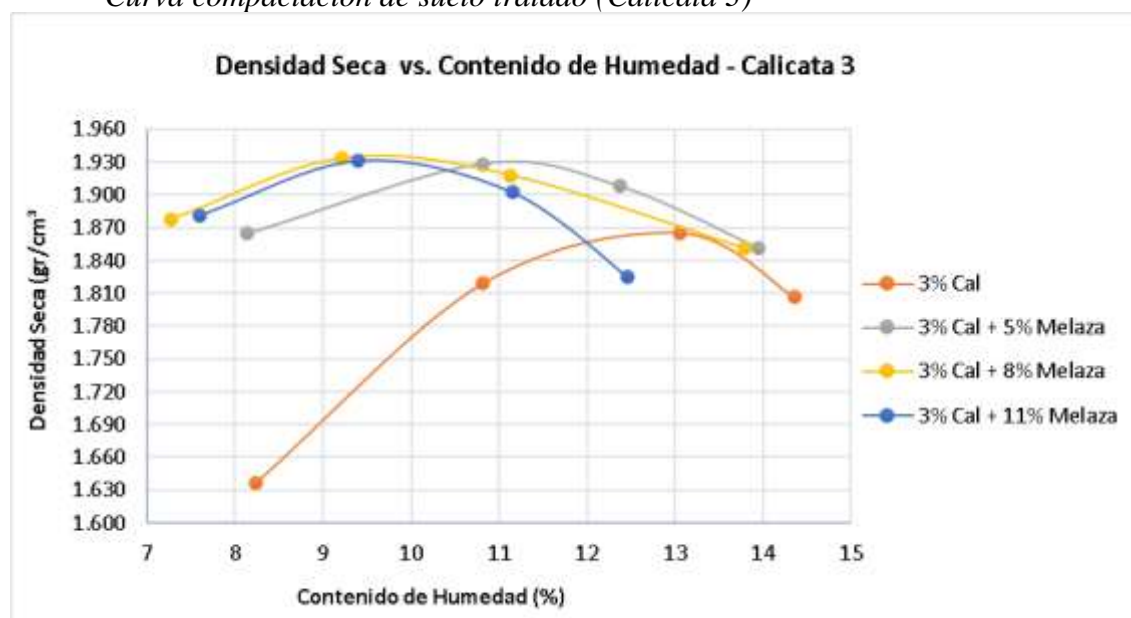
- Calicata N° 3

Conforme el ensayo de Proctor modificado los valores de densidad seca y contenido de humedad son los siguientes:

**Tabla 15***Contenido de humedad vs Densidad seca del suelo tratado (Calicata 3)*

3% Cal		3% Cal + 5% Melaza		3% Cal + 8% Melaza		3% Cal + 11% Melaza	
Contenido de agua (%)	Densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )	Contenido de agua (%)	Densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )	Contenido de agua (%)	Densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )	Contenido de agua (%)	Densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )
8.2	1.637	8.1	1.865	7.3	1.878	7.6	1.881
10.8	1.819	10.8	1.928	9.2	1.933	9.4	1.931
13.1	1.866	12.4	1.908	11.1	1.918	11.1	1.902
14.4	1.806	14.0	1.852	13.8	1.852	12.5	1.825

Con estos datos numéricos se graficó la curva de densidad seca vs contenido de humedad que se muestra a continuación:

**Figura 24***Curva compactación de suelo tratado (Calicata 3)*

A continuación, se presenta un resumen de los datos obtenidos sobre la densidad seca máxima (MDS) y el contenido de humedad óptimo, correspondientes al suelo natural y los distintos tratamientos aplicados.

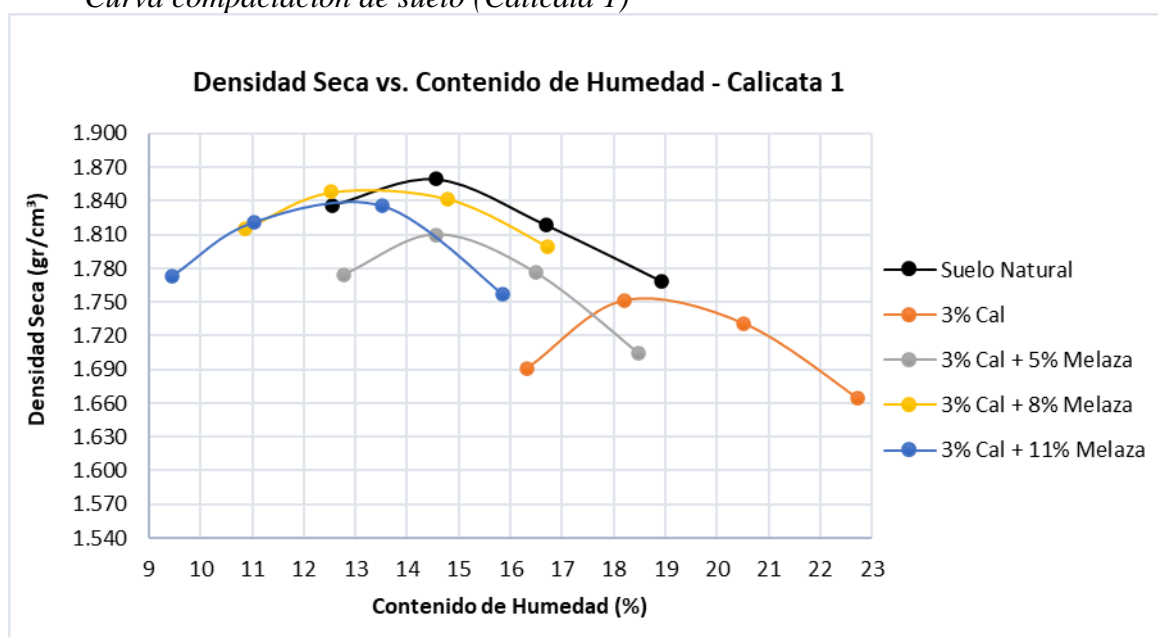
**Tabla 16**

*Resumen valores del ensayo de Proctor modificado del suelo sin tratar, y tratado con cal y melaza*

Calicata N°	Tipo y contenido aditivo	Cont. óptimo de humedad (OMC)	Máxima Densidad Seca (MDS)	% Cambio	
				OMC	MDS
C-1	Suelo Natural	14.5	1.860		
	3% Cal	18.5	1.753	4.00	-0.11
	3% Cal + 5% Melaza	14.5	1.810	0.00	-0.05
	3% Cal + 8% Melaza	13.5	1.850	(1.00)	-0.01
	3% Cal + 11% Melaza	12.8	1.840	(1.70)	-0.02
C-2	Suelo Natural	13.5	1.887		
	3% Cal	15.3	1.775	1.80	-0.11
	3% Cal + 5% Melaza	13.5	1.869	0.00	-0.02
	3% Cal + 8% Melaza	12.4	1.890	(1.10)	0.00
	3% Cal + 11% Melaza	11.8	1.878	(1.70)	-0.01
C-3	Suelo Natural	11.9	1.907		
	3% Cal	13.0	1.866	1.10	-0.04
	3% Cal + 5% Melaza	11.1	1.931	(0.80)	0.02
	3% Cal + 8% Melaza	9.6	1.935	(2.30)	0.03
	3% Cal + 11% Melaza	9.5	1.931	(2.40)	0.02

**Figura 25**

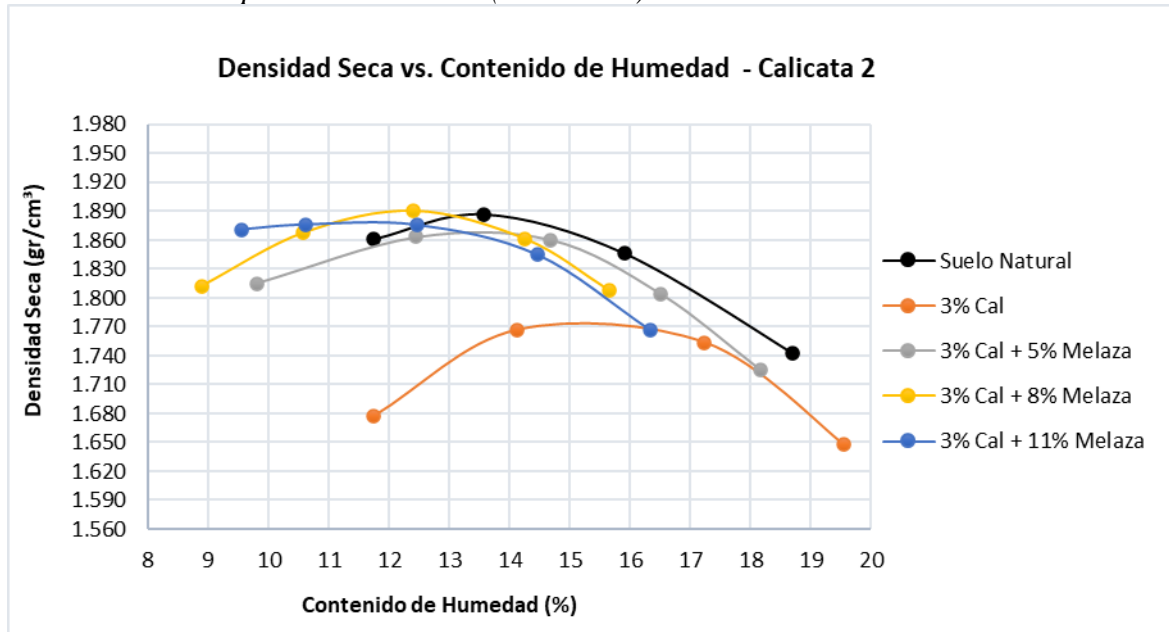
*Curva compactación de suelo (Calicata 1)*



Como se aprecia en la gráfica anterior, la densidad seca máxima de la calicata 1 es de 1.860 gr/cm<sup>3</sup>, 1.753 gr/cm<sup>3</sup>, 1.810 gr/cm<sup>3</sup>, 1.850 gr/cm<sup>3</sup> y 1.840 gr/cm<sup>3</sup> para suelo natural, suelo con 3% de cal, suelo con 3% de cal + 5% de melaza, suelo con 3% de cal + 8% de melaza y suelo con 3% de cal + 11% de melaza, respectivamente.

**Figura 26**

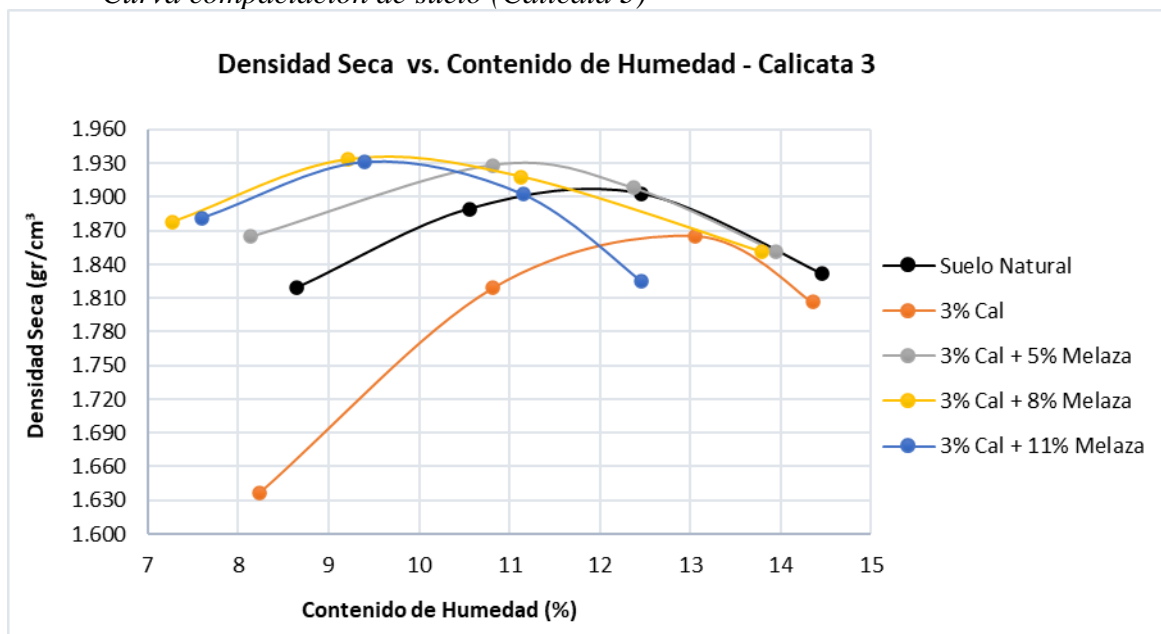
*Curva compactación de suelo (Calicata 2)*



Las muestras ensayadas de la calicata 2 presentan valores de densidad seca máxima de 1.887 gr/cm<sup>3</sup>, 1.775 gr/cm<sup>3</sup>, 1.869 gr/cm<sup>3</sup>, 1.890 gr/cm<sup>3</sup> y 1.878 gr/cm<sup>3</sup> para suelo natural, suelo con 3% de cal, suelo con 3% de cal + 5% de melaza, suelo con 3% de cal + 8% de melaza y suelo con 3% de cal + 11% de melaza, respectivamente.

**Figura 27**

*Curva compactación de suelo (Calicata 3)*



Para la calicata 3 los valores de densidad seca máxima es 1.907 gr/cm<sup>3</sup>, 1.866 gr/cm<sup>3</sup>, 1.931 gr/cm<sup>3</sup>, 1.935 gr/cm<sup>3</sup> y 1.931 gr/cm<sup>3</sup> para suelo natural, suelo con 3% de cal, suelo con 3% de cal + 5% de melaza, suelo con 3% de cal + 8% de melaza y suelo con 3% de cal + 11% de melaza, respectivamente.

#### 5.1.4.3 Ensayo de CBR suelo natural

##### **Ensayo de Compactación CBR**

Se preparó las muestras de suelos con los contenidos óptimos de humedad encontrado en el ensayo de proctor modificado, para las diferentes combinaciones. A continuación, se pesó el material de cada muestra, y se compacto cada muestra en 3 moldes de CRB, de tal forma que al primero se le aplico 12 golpes, el segundo 25 golpes y el tercero 56 golpes por capa.

Después de la compactación se retiró el disco espaciador y se pesó la muestra húmeda de cada molde con su base, de esta manera de obtuvo la densidad húmeda y el contenido de humedad, posteriormente se calculó la densidad seca de cada molde.

### Ensayo de Hinchamiento

Se colocó sobre la superficie de la muestra invertida, el filtro y el collarín, para colocar también placa de expansión, la sobrecarga, el trípode y el dial de expansión. Culminado este proceso se procedió a saturar los moldes con la muestra, por 96 horas, el valor de expansión debe registrarse cada 24 horas, y servirán para calcular el CBR.

### Ensayo de carga y penetración

Una vez completado el ensayo de hinchamiento, se retiró el dial, el tripote, la sobrecarga y la placa de expansión y se dejó drenar unos minutos. A continuación, se retiró el collarín para proceder a pesar la muestra húmeda junto con su base. Seguidamente, se le aplicó una sobrecarga a cada molde, los cuales fueron llevados a una prensa hidráulica para realizar el ensayo de penetración. Este ensayo consistió en aplicar el pisón a una velocidad uniforme de 0.05 pulgadas por minuto y anotó las lecturas de las cargas para diferentes penetraciones. Finalmente, al desmontar el molde se tomó una muestra de la parte superior, cercana a la zona de penetración, para calcular su humedad.

Con los datos obtenidos se generó la curva del esfuerzo vs la deformación, para cada una de las diferentes mezclas de suelo, cal y melaza. De esta grafica se tomó los valores correspondientes a 0.1” y 0.2” de penetración.

Los resultados obtenidos en el ensayo de California Bearing Ratio (CBR) de los suelos naturales tanto para CBR 0.1” y CBR 0.2”, se observan en siguiente tabla:

**Tabla 17**

*Valores de CBR del suelo natural*

Calicata	Tipo y contenido aditivo	CBR al 95% de MDS (%)		CBR al 100% de MDS) (%)	
		0.1”	0.2”	0.1”	0.2”
C-1	Suelo natural	2.1	2.1	2.8	3.0
C-2	Suelo natural	4.8	5.2	6.1	7.3
C-3	Suelo natural	4.9	5.8	8.0	8.1

A continuación, se presenta el resumen de las propiedades mecánicas de los suelos naturales de las tres calicatas en estudio:



**Tabla 18***Propiedades mecánicas de material en estado natural*

Calicata	Cont. Opt. de Humedad	Densidad seca máx.	CBR al 95% de MDS		CBR al 100% de MDS)	
			(%)		(%)	
Nº	(%)	(gr/cm3)	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"
C-1	14.5	1.860	2.1	2.1	2.8	3.0
C-2	13.5	1.887	4.8	5.2	6.1	7.3
C-3	11.9	1.907	4.9	5.8	8.0	8.1

## 5.1.4.4 Ensayo de CBR de las muestras tratadas

- Calicata N° 1

Los valores de CBR de la muestra patrón de suelo tratado con 3% de cal, así como de las combinaciones de cal al 3% y melaza a dosificaciones de 5%, 8% y 11% se detallan en la tabla siguiente:

**Tabla 19***Valores de CBR del suelo tratado (Calicata 1)*

Calicata	Tipo y contenido aditivo	CBR al 95% de MDS		CBR al 100% de MDS)	
		(%)		(%)	
		0.1"	0.2"	0.1"	0.2"
C-1	3% Cal	2.8	3.2	3.9	4.7
	3% Cal + 5% Melaza	26.5	30.5	40.0	46.5
	3% Cal + 8% Melaza	19.8	21.7	27.8	27.5
	3% Cal + 11% Melaza	16.9	17.0	19.9	20.6

Como se visualiza los valores de CBR al 100% de la máxima densidad seca máxima y con una penetración de 0.1", se encuentran dentro del rango de 3.9% y 40.0%. Mientras que para el caso del CBR con penetración de 0.2" están entre 4.7% y 46.5%.

- Calicata N° 2

En la tabla siguiente se presentan los valores de CBR correspondientes a la muestra patrón de suelo con 3% de cal y las combinaciones de 3% de cal con melaza en proporciones de 5%, 8% y 11%.

**Tabla 20***Valores de CBR del suelo tratado (Calicata 2)*

Calicata	Tipo y contenido aditivo	CBR al 95% de MDS (%)		CBR al 100% de MDS) (%)	
		0.1"	0.2"	0.1"	0.2"
C-2	3% Cal	10.9	10.9	15.9	18.5
	3% Cal + 5% Melaza	30.9	30.2	38.0	38.7
	3% Cal + 8% Melaza	21.3	21.3	25.8	26.3
	3% Cal + 11% Melaza	13.6	14.8	18.3	18.8

Los valores de CBR al 100% de la densidad seca máxima y con una penetración de 0.1", se encuentran dentro del rango de 15.9% y 38.0% para las muestras tratadas de la calicata 2. Mientras que para el caso del CBR con penetración de 0.2" están entre 18.5% y 38.7%.

- Calicata N° 3

El resumen de valores de CBR correspondientes a la muestra patrón de suelo estabilizada con 3% de cal y las mezclas con 3% de cal más melaza en proporciones de 5%, 8% y 11%, se muestran a continuación:

**Tabla 21***Valores de CBR del suelo tratado (Calicata 3)*

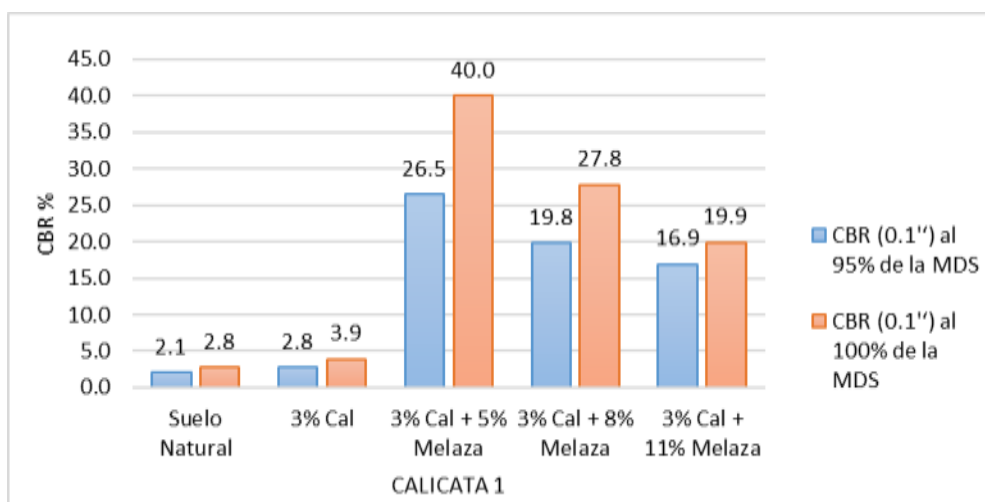
Calicata	Tipo y contenido aditivo	CBR al 95% de MDS (%)		CBR al 100% de MDS) (%)	
		0.1"	0.2"	0.1"	0.2"
C-3	3% Cal	12.9	15.4	25.0	27.0
	3% Cal + 5% Melaza	34.0	34.0	43.5	46.5
	3% Cal + 8% Melaza	21.2	23.5	23.0	25.1
	3% Cal + 11% Melaza	14.0	15.7	17.3	19.1

Los valores de CBR al 100% de la densidad seca máxima y con una penetración de 0.1", se encuentran dentro del rango de 17.3% y 43.5% para las muestras tratadas de la calicata 3. Mientras que para el caso del CBR con penetración de 0.2" están entre 19.1% y 46.5%.

A continuación, se presenta un resumen de los valores de CBR, correspondientes al suelo natural y los distintos tratamientos aplicados.

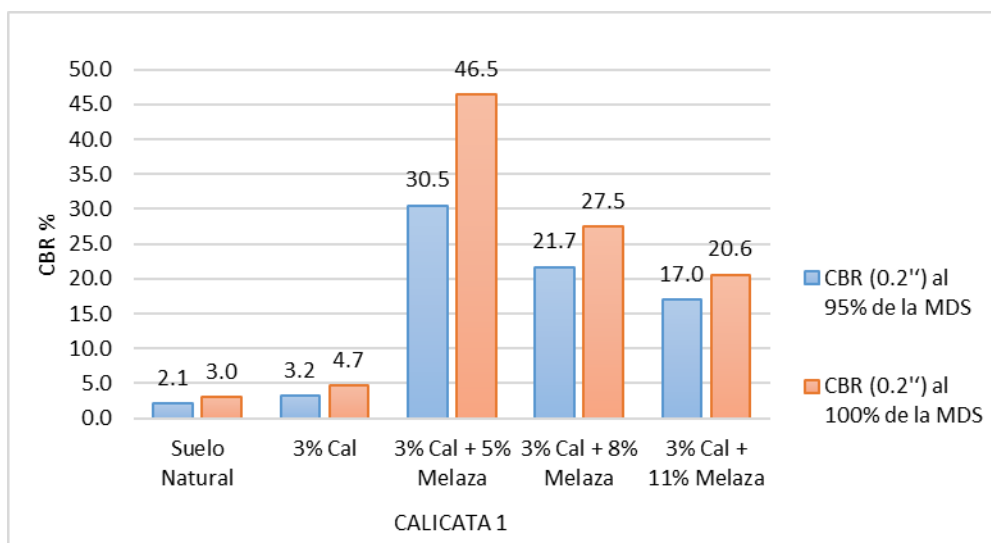
**Tabla 22***Resumen de valores de CBR del suelo sin tratar y tratado con cal y melaza*

Calicata	Tipo y contenido aditivo	CBR al 95% de MDS (%)		CBR al 100% de MDS (%)	
		0.1"	0.2"	0.1"	0.2"
C-1	Suelo natural	2.1	2.1	2.8	3.0
	3% Cal	2.8	3.2	3.9	4.7
	3% Cal + 5% Melaza	26.5	30.5	40.0	46.5
	3% Cal + 8% Melaza	19.8	21.7	27.8	27.5
	3% Cal + 11% Melaza	16.9	17.0	19.9	20.6
C-2	Suelo natural	4.8	5.2	6.1	7.3
	3% Cal	10.9	10.9	15.9	18.5
	3% Cal + 5% Melaza	30.9	30.2	38.0	38.7
	3% Cal + 8% Melaza	21.3	21.3	25.8	26.3
	3% Cal + 11% Melaza	13.6	14.8	18.3	18.8
C-3	Suelo natural	4.9	5.8	8.0	8.1
	3% Cal	12.9	15.4	25.0	27.0
	3% Cal + 5% Melaza	34.0	34.0	43.5	46.5
	3% Cal + 8% Melaza	21.2	23.5	23.0	25.1
	3% Cal + 11% Melaza	14.0	15.7	17.3	19.1

**Figura 28***Resultados de CBR a 0.1" (Calicata 1)*

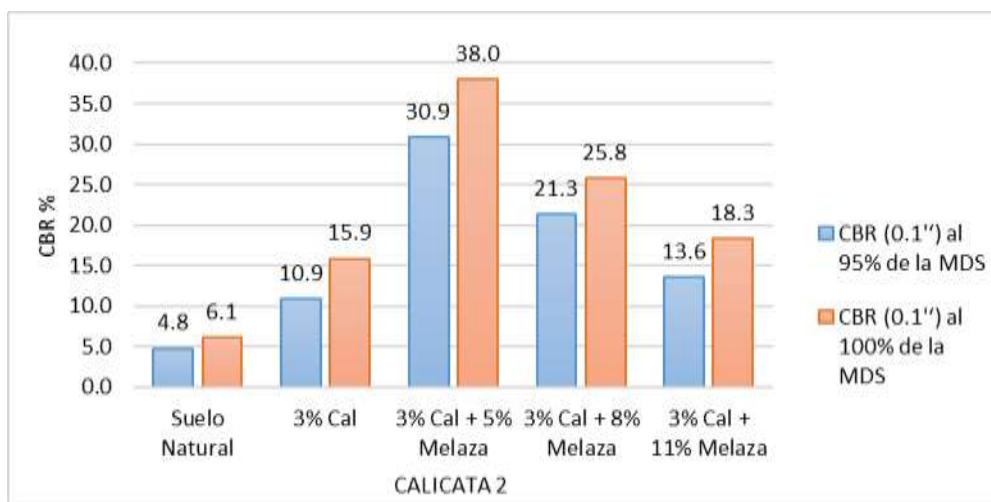
**Figura 29**

*Resultados de CBR a 0.2" (Calicata 1)*



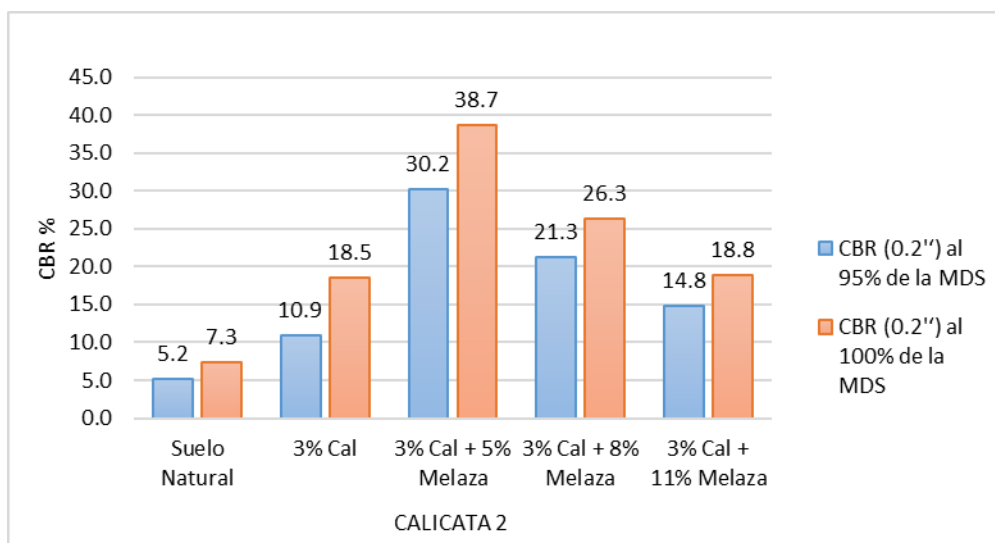
**Figura 30**

*Resultados de CBR a 0.1" (Calicata 2)*



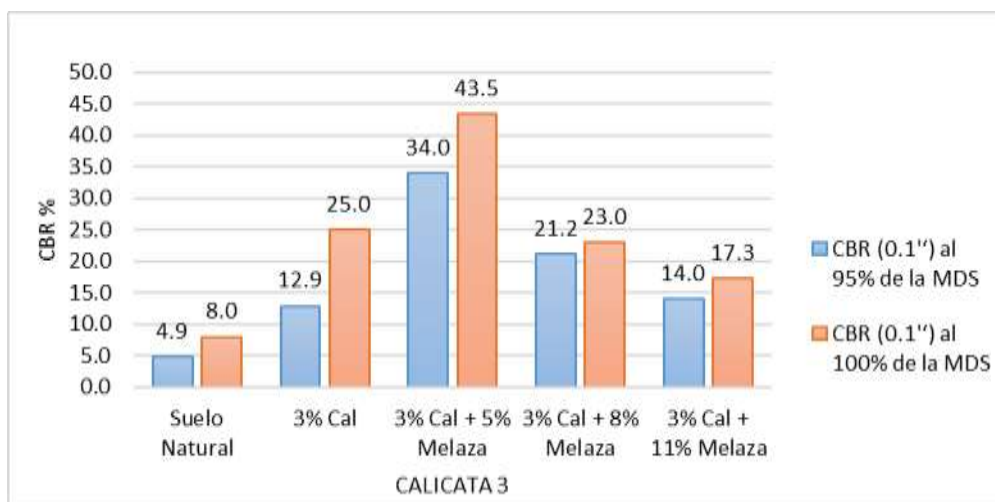
**Figura 31**

*Resultados de CBR a 0.2" (Calicata 2)*



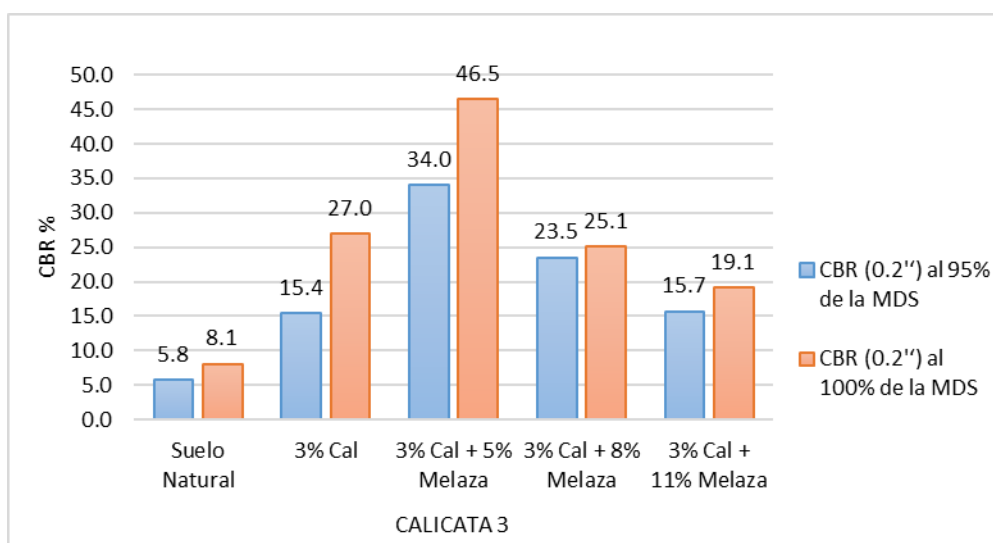
**Figura 32**

*Resultados de CBR a 0.1" (Calicata 3)*



**Figura 33**

*Resultados de CBR a 0.2'' (Calicata 3)*



## 5.2 Análisis, interpretación y discusión de resultados

### 5.2.1 Análisis de las propiedades mecánicas de los suelos naturales

Como se puede apreciar en la Tabla 18, los ensayos de laboratorio señalan que el contenido de humedad óptimo de los suelos se encuentra entre 11.90% a 14.50% y la densidad seca máxima entre 1.860 gr/cm<sup>3</sup> a 1.907 gr/cm<sup>3</sup>. Además, el valor CBR al 100% de las tres calicatas en estado natural, para una penetración de 0.1'' son de 2.8%, 6.1% y 8.0%; lo cual significa que la primera muestra es un material inadecuado para ser usado como subrasante (CBR < 3%) y las otras dos muestras son de características regulares ( $6\% \leq \text{CBR} < 10\%$ ), respectivamente.

Para valor de CBR al 100% para una penetración 0.2'', las muestras de las tres calicatas en su estado natural fueron de 3.0%, 7.3% y 8.1%, siendo clasificadas como subrasante pobre ( $3\% \leq \text{CBR} < 6\%$ ) y regulares ( $6\% \leq \text{CBR} < 10\%$ ); respectivamente.

Sin embargo, con la finalidad de cumplir mejor las solicitudes que requiere una vía es necesario estabilizar el suelo.

### 5.2.2 Efecto de la melaza y cal en la densidad del suelo

Al analizar la curva típica en forma de campana de las Figuras 25, 26 y 27, que obtiene al graficar la relación entre densidad seca y contenido de humedad, se observó que, al aumentar el porcentaje de melaza, las curvas se desplazan hacia la izquierda respecto a la muestra patrón. Este comportamiento encontrado en el ensayo de compactación evidencia que los suelos tratados con cal y melaza, requieren un menor contenido óptimo de humedad en comparación con aquellos estabilizados únicamente con cal.

Del mismo modo, en la Tabla 16, se constató un incremento en la densidad seca máxima de los suelos tratados con cal y melaza respecto al suelo con adición de 3% de cal. Entre las tres dosificaciones evaluadas, la mezcla con 8% de melaza alcanzó el mayor valor de densidad seca máxima; no obstante, la diferencia respecto a las demás no resulta significativa.

### 5.2.3 Efecto de la cal en los valores de CBR

Al analizar la Tabla 22, los valores de CBR obtenidos del suelo tratado con 3% de cal presentan una mejora significativa en la resistencia en comparación con la muestra de suelo no tratada, como se aprecia a continuación.

Las muestras ensayadas presentaron valores de CBR al 100% de 2.8%, 6.1% y 8.0% para una penetración de 0.1” en su estado natural. En contraste, los suelos tratados con cal registraron valores de 3.9%, 15.9% y 25.0%, evidenciando la mejora que ofrece este estabilizante. Como resultado, las muestras correspondientes a las calicatas 2 y 3 pasaron de clasificarse como suelos regulares para subrasante a suelos buenos y muy buenos ( $10\% \leq \text{CBR} < 20\%$  y  $20\% \leq \text{CBR} < 30\%$ , respectivamente). Sin embargo, la muestra representativa de la calicata 1 solo alcanzó la categoría de subrasante pobre ( $3\% \leq \text{CBR} < 6\%$ ).

En cuanto a los valores de CBR al 100% para una penetración de 0.2”, las muestras tratadas con cal alcanzaron 4.7%, 18.5% y 27.0%. Estos resultados evidencian un incremento respecto a los valores en estado natural, permitiendo que las calicatas 2 y 3 pasen de clasificarse como suelos regulares para subrasante a suelos buenos y muy buenos ( $10\% \leq \text{CBR} < 20\%$  y  $20\% \leq \text{CBR} < 30\%$ , respectivamente). Por su parte, la

calicata 1 pasó a ser clasificada como subrasante pobre, motivo por el cual se adicionó melaza con el fin de obtener un suelo más óptimo

#### 5.2.4 Efecto de la cal y la melaza en los valores de CBR

De los resultados obtenidos en la Tabla 22 se puede inferir que las muestras tratadas con cal y melaza presentan una mejora considerable en la resistencia, tanto respecto a la muestra patrón de suelo con cal, como en comparación con el suelo no tratado, tal como se detalla a continuación.

##### **Calicata 1**

En la calicata 1, la dosificación de 3% de cal y 5% de melaza incrementó significativamente el valor del CBR al 100% de la MDS y para una penetración de 0.1", elevando la respuesta de la muestra patrón de 3.9 % a 40.0 %. En cuanto al suelo natural, el incremento fue de 2.8% a 40.0%

Asimismo, en la figura 29 se observa que el valor de CBR al 100% de la MDS, para una penetración 0.2", aumentó de 4.7% (muestra patrón con cal) a 46.5% (al emplear la dosificación de 3% de cal y 5% de melaza). De igual manera, al comparar la combinación de cal y melaza con el suelo natural, se evidencia un incremento fue de 3.0% a 46.5%.

##### **Calicata 2**

En la Figura 30, se aprecia que la calicata 2 registró un incremento del valor de CBR al 100% de la MDS, para una penetración de 0.1", pasando de 15.9% en la muestra patrón con cal a 38.0% en la mezcla con 3% de cal y 5% de melaza. De igual modo, esta dosificación mejoró notablemente el valor de CBR respecto al suelo natural, cuyo valor inicial era de 6.1%.

Por su parte, en la figura 31 se aprecia que la combinación de 3% de cal y 5% de melaza aumentó el valor de CBR de suelo patrón de 18.5% a 38.7% para una MDS de 100% y una penetración de 0.2". Además, se evidencia una mejora significativa respecto al suelo natural, cuyo valor de CBR al 100% de la MDS y para una penetración de 0.2" fue 7.3%.



### **Calicata 3**

En Figura 32 se verifica que la dosificación de 3% de cal y 5% de melaza alcanzó el valor máximo de CBR al 100% de la MDS, para una penetración de 0.1". Este comportamiento representó una mejora de 25.0% a 43.5% en comparación con el suelo estabilizado con cal y de 8.0% a 43.5% respecto al suelo natural.

Por su parte, la figura 33 muestra que la combinación de 3% de cal y 5% de melaza aumentó el valor de CBR de la muestra patrón con cal de 27.0% a 46.5%, para una MDS de 100% y una penetración de 0.2". De forma análoga, al comparar el valor de CBR del suelo natural con el suelo tratado con cal y melaza, se evidencia una mejora sustancial, pasando de 8.1% a 46.5%

En este contexto, resulta evidente que, en las tres calicatas, el valor máximo de CBR al 100% de la MDS se obtuvo con la dosificación de 3% de cal más 5% de melaza, lo que permite inferir que esta es la dosificación óptima del estudio.

Finalmente, al comparar los valores máximos de CBR obtenidos con los criterios establecidos en el Manual de Carreteras del MTC, se concluye que la estabilización con 3% de cal y 5% de melaza logró incrementar el valor del CBR de los suelos tratados, convirtiéndolos en subrasantes excelente ( $\text{CBR} \geq 30\%$ : Subrasante Excelente) para ser empleado en carreteras.

### **5.3 Contrastación de hipótesis**

La hipótesis planteada en esta investigación es que: La incorporación de melaza y cal en la estabilización de suelos arcillosos de la ciudad de Cajamarca, mejora la Capacidad Portante del Suelo (CBR) en más del 30%.

Luego de analizar y comparar los resultados obtenidos en el laboratorio, se comprueba que el uso combinado de cal y melaza como aditivos estabilizadores, mejora significativamente la capacidad de soporte del suelo. Al comparar la muestra patrón de suelo con cal frente a muestra de suelo tratada con melaza y cal, el valor del CBR al 100% de la MDS y para una penetración de 0.1% incrementó de 25.0% a 43.5% (para el caso más conservador, el cual corresponde a la calicata 3 con una dosificación de 3% Cal y 5% Melaza), representando aumento del 74%.

Asimismo, al correlacionar el valor del CBR al 100% de la MDS, para una penetración de 0.2” de la muestra patrón con la muestra con cal y melaza se obtuvo una mejora del 27.0% (caso más conservador, perteneciente a la calicata 3, con una dosificación de 3% de cal y 5% de melaza).

Por otro lado, al comparar la mejora obtenida del suelo natural, al adicionar melaza y cal, se observa que los incrementos más moderados del valor del CBR al 100% de la MDS, para penetraciones de 0.1” y 0.2”, fueron de 6.1% a 38.0% y de 7.3% a 38.7%, pertenecientes a la calicata 2 y 3, lo cual significa que aumentó en 31.9 y 42.8 puntos porcentuales.

En consecuencia, que la hipótesis de la investigación ha sido corroborada.

## **CAPITULO VI**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **6.1 Conclusiones**

La incorporación de melaza y cal en la estabilización de los suelos arcillosos de Cajamarca produjo una mejora significativa en la capacidad de soporte (CBR). Al combinar 3% de cal con 5% de melaza se alcanzaron valores de CBR superiores al 30%, lo que permite clasificar a los suelos como subrasantes excelentes para pavimentos.

Las tres (3) calicatas están compuestas por arcillas inorgánicas de baja plasticidad, y según la clasificación SUCS las muestras de suelo son de tipo CL, con equivalentes en la clasificación AASHTO de A-6(8) en la calicata 2 y A-6(6) en la calicata 1 y 3. Con estos resultados se corroboró que el material de estudio poseía las propiedades requeridas para esta presente investigación.

Los suelos tratados con melaza y cal poseen un contenido de humedad óptimo menor a los suelos tratado solamente con cal, además de mejorar sus propiedades de adherencia.

El suelo natural presento valores de CBR al 100% de la MDS, para una penetración de 0.1", de 2.8%, 6.1%, 8.0% para las calicatas 1, 2 y 3 respectivamente; valores de que ubican a estos suelos dentro de la categoría de subrasante inadecuada y regular. En cuanto a la penetración de 0.2", los valores obtenidos fueron de 3.0 %, 7.3 % y 8.1%, clasificándose la calicata 1 como subrasante pobre, mientras que las calicatas 2 y 3 se consideran subrasantes buenas.

Para los suelos estabilizados con 3% de cal, el ensayo del CBR al 100% de la MDS, para una penetración de 1", registró valores de 3.9%, 15.9% y 25.0% para las calicatas 1, 2 y 3 respectivamente. Estos resultados permiten clasificar la mezcla como subrasante pobre (calicata 1), buena (calicata 2) y muy buena (calicata 3), según los rangos establecidos para este tipo de evaluación. En cambio, para una penetración de 0.2" los valores fueron de 4.7% para la calicata 1, 18.5% para la calicata 2 y 27.0%, para la calicata 3, siendo clasificadas como subrasantes pobre, buena y muy buena.

Se estableció que, al mezclar el material arcilloso con 3% de cal y diferentes porcentajes de melaza (5%, 8%, 11%), se optimizó la resistencia de las muestras, pero solo hasta cierto punto luego del cual la resistencia empieza a decaer a medida que se aumenta el porcentaje de melaza. Para una penetración de 0.1” y al 100 % de la MDS, los valores de CBR obtenidos para las mezclas con 3% de cal más 5% de melaza, 3% de cal más 8% de melaza y 3% de cal más 11% de melaza fueron 40.0%, 27.8% y 19.9% en la calicata 1; 38.0%, 25.8 % y 18.3% en la calicata 2; 43.5%, 23.0 % y 17.3 % en la calicata 3.

Asimismo, se evidencio que el valor de CBR al 100% de la MDS, para una penetración de 0.2”, para las combinaciones de 3% de cal más 5% de melaza, 3% de cal más 8% de melaza y 3% de cal más 11% de melaza fueron 46.5%, 27.5% y 20.6% para la calicata 1; 38.7%, 26.3% y 18.8% para la calicata 2; y 46.5%, 25.1% y 19.1% para la calicata 3. Estos resultados evidencian claramente una disminución del CBR conforme aumenta la concentración de melaza.

La dosificación de 3% de cal y 5% de melaza fue la más eficiente, ya que permitió registrar valores de CBR superiores al 30%, clasificando al suelo como una subrasante excelente para carreteras. Además, incrementó en 74 % el valor de CBR al 100% de la MDS, para una penetración de 0.1” (valor considerado por ser el menor de las dos penetraciones evaluadas), en comparación con el suelo patrón con cal.

## 6.2 Recomendaciones

- Realizar un análisis químico de los suelos arcillosos para conocer su composición.
- Profundizar en el estudio de las interacciones químicas entre la cal, la melaza y los suelos arcillosos expansivos, ya que el uso de esta mezcla para la estabilización de suelos es relativamente nuevo.
- Analizar la influencia de la combinación de melaza y cal en otros tipos de suelos, con el fin de ampliar el alcance de su aplicabilidad.
- Evaluar distintos porcentajes de cal, con el propósito de identificar proporciones más eficientes que contribuyan a la optimización técnica y a la reducción de costos en futuros proyectos.
- Investigar el comportamiento de la melaza en combinación con otros aditivos estabilizadores de suelos, a fin de explorar nuevas alternativas de mejora en la resistencia y durabilidad.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANGULO Roldan, Mariselva, ZAVALETA Papa, Cintia N. Estabilización de suelos arcillosos con cal para el mejoramiento de las propiedades físico – mecánicas como capa de rodadura en la prolongación Navarro Cauper, distrito San Juan – Maynas – Iquitos, 2019. Tesis para optar al título profesional de Ingeniero Civil. Loreto: Universidad Científica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería programa Académico de Ingeniería, 2020. 166 h.
- ASTM (American Society for Testing and Materials), D3282-15. 2015. Practica estándar para la clasificación de suelos y mezclas suelo-agregado para propósito de construcción de carretas. EEUU: ASTM, 2015.
- ASTM (American Society for Testing and Materials), D4318-17. 2017. Método de Ensayo Estándar para Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad de Suelos. EEUU: ASTM, 2017.
- ASTM (American Society for Testing and Materials), D698-21. 2021. Métodos de Prueba Estándar para las Características de Compactación de Laboratorio de Suelo Utilizando Esfuerzo Estándar (12 400 ft-lbf/ft<sup>3</sup> (600 kN-m/m<sup>3</sup>)). EEUU: ASTM, 2021.
- ASTM (American Society for Testing and Materials), D1557-21. 2021. Métodos de Prueba Estándar para las Características de compactación de laboratorio del suelo usando Esfuerzo modificado (56 000 ft-lbf/ft<sup>3</sup> (2700 kN-m/m<sup>3</sup>)). EEUU: ASTM, 2021.
- ASTM (American Society for Testing and Materials), D1883-21. 2021. Métodos de Prueba Estándar para Relación de Soporte California (CBR) de Suelos Compactados en Laboratorio. EEUU: ASTM, 2021.
- AYELDEEN, Mohamed, NEGM, Abdelazim, EL-SAWWAF, Mostafa, KITAZUME, Masaki. Enhancing mechanical behaviors of collapsible soil using two biopolymers. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering* [en línea]. april 2017, vol. 9, no. 2. [fecha de consulta: 28 abril 2017], pp. 329-339. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674775516302736>
- BAÑÓN Blázquez, Luis, BEVIÁ García, José F. Manual de carreteras. Alicante: Ortiz e Hijos, Contrastista de Obras, S.A., 2000. 328 p., 2 v.

BARMAN, Dharmendra, DASH, Sujit K. Stabilization of expansive soils using chemical additives: A review, *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering* [en línea]. Agosto 2022, vol. 14. [fecha de consulta: 10 diciembre 2024], pp. 1319-1342. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674775522000658>

BHARDWAJ, Avinash, SHARMA, Ravi K. Designing thickness of subgrade for flexible pavements incorporating waste foundry sand, molasses, and lime. *Innovative Infrastructure Solutions* [en línea]. February 2022, vol. 7, no. 132. [Fecha de consulta: 12 de julio de 2025]. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s41062-021-00723-6>

Boletín Estadístico - I Trimestre 2025. [en línea] Ministerio de Transportes y Comunicaciones. 2025. Disponible en: [https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/8140876/4600197-boletin-trimestral-ene-mar-25\\_v5.pdf?v=1748547272](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/8140876/4600197-boletin-trimestral-ene-mar-25_v5.pdf?v=1748547272)

CAMACHO Tauta, Javier F., REYES Ortiz, Oscar J., MAYORGA Antolinez, Catalina, MENDEZ G., Dolly F., Evaluación de aditivos usados en el tratamiento de arcillas expansivas, *Ciencia e Ingeniería Neogranadina* [en línea]. agosto-diciembre 2006, vol. 16, no. 2. [fecha de consulta: 28 abril 2019], pp. 44-53. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/911/91116205.pdf>

CÁRDENAS Salazar, Silvia Maricela. Optimización de costos en la construcción del PAD, mediante el control y la gestión operativa por Stracon GyM en Minera Shahuindo. Tesis para optar al título profesional de Ingeniero de Minas. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo, Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas, 2017. 92 h.

CRESPO Villalaz, Carlos. Mecánica de suelos y cimentaciones. 6ª ed. México: Limusa, S.A. de C.V, R 2017. 650 p.

DAS, Braja M., Fundamentos de ingeniería geotécnica. 4ª ed. México: Thomson, R 2018. 658 p.

Decreto Supremo N° 011-2016-MTC. Aprueba la actualización del Clasificador de Rutas del SINAC. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). Diario Oficial EL Peruano. 2 de julio de 2016.

DUQUE Escobar, Gonzalo, ESCOBAR Potes, Carlos Enrique. Geomecánica: Universidad Nacional de Colombia, R 2023. 449p.

FAO. Consistencia del suelo [en línea]. [Fecha de consulta: 20 julio 2022]. Disponible en: [https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO\\_Training/FAO\\_Training/General/x6706s/x6706s08.htm#:~:text=L%C3%ADmite%20pl%C3%A1stico%20\(LP\)&text=El%20%C3%ADmite%20pl%C3%A1stico%20es%20el,muestras%20alteradas%20y%20sin%20alterar](https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s08.htm#:~:text=L%C3%ADmite%20pl%C3%A1stico%20(LP)&text=El%20%C3%ADmite%20pl%C3%A1stico%20es%20el,muestras%20alteradas%20y%20sin%20alterar).

*FORO The Global Competitiveness Report 2019 Word Economic Fórum* [en línea]. October 2019. [fecha de consulta: 16 junio 2022]. Disponible en: <https://www.weforum.org/reports/how-to-end-a-decade-of-lost-productivity-growth>

GARNICA Anguas, Paul, GÓMEZ López, José A., SESMA Martínez, Jesús A. Mecánica de materiales para pavimentos. *Secretaría de Comunicaciones y Transportes* [en línea]. 2002, no. 197. [fecha de consulta: 17 junio 2022]. Disponible en: <https://trid.trb.org/view/946715>

GONZALES Herrera, Edgar O. Comportamiento geológico, hidrogeológico y geotécnico del Área para el diseño de la cimentación del colegio San Carlos – Bambamarca. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca, Escuela Académico Profesional de Ingeniería geológica, 2021. 167 h.

GUERRA Torralbo, Juan C. Mecánica de Suelos Conceptos Básicos y Aplicación. Madrid: Dextra Editorial, 2018. 352 p.

HERNÁNDEZ Sampiere, Roberto, FERNÁNDEZ Collado, Carlos, BAPTISTA Lucio, María del P. Metodología de la Investigación. 6ª ed. México: Mc Graw Hill, 2014. 632 p.

INSTITUTO NACIONAL DE DEFENSA CIVIL (INDECI). Programa de Prevención y Medidas de Mitigación ante Desastres de la ciudad de Cajamarca. Cajamarca: INDECI, 2005. 291 p.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA (INEI). Principales Indicadores Departamentales 2008-2014: INEI, 2014. 542 p.

JUÁREZ Badillo, Eulalio, RICO Rodríguez, Alfonso. Mecánica de Suelos I: Fundamentos de mecánica de suelos. Mexico: Limusa, R 2018. 629 p.

JUÁREZ Badillo, Eulalio, RICO Rodríguez, Alfonso. Mecánica de Suelos II: Teoría y aplicación de mecánica de suelos. Mexico: Limusa, R 2017. 597 p. 2v



- KARIMI, Saber, LASHKAR-ARA, Babak, NAJAFI, Leila. Influence of sugarcane molasses addition on the shear strength properties of slightly plastic loamy soils. *Arabian Journal of Geosciences* [en línea]. mayo 2022, vol.15, no. 903. [fecha de consulta: 25 octubre 2022]. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12517-021-09395-z>
- LAGUNA Peñaloza, Oscar I., CHACON Charcas, José M. Análisis comparativo del comportamiento a la resistencia de un suelo fino con adición de ceniza de cascarilla de arroz y ceniza de cascarilla de café. Monografía para optar al título profesional de Ingeniero Civil. Cundinamarca: Universidad Piloto de Colombia, Facultad de Ingeniería programa Ingeniería Civil, 2020. 77 h.
- LÓPEZ Lara, Teresa, HERNÁNDEZ Zaragoza, Juan B., HORTA Rangel, Jaime, CORONADO Márquez, Aleyda, CASTAÑO Meneses, Víctor M. Juan. Polímeros para la estabilización volumétrica de arcillas expansivas. *Revista Iberoamericana de Polímeros* [en línea]. mayo 2010, vol. 11, no. 3. [fecha de consulta: 08 junio 2022], pp. 159-168. Disponible en: <https://reviberpol.files.wordpress.com/2019/07/2010-lopez.pdf>
- MALETTA, Héctor. Metodología y técnica de la producción científica [En línea]. Lima: CEPES-Universidad del Pacífico, 2009. [fecha de consulta: 10 octubre 2022]. <https://www.redalyc.org/pdf/7178/717876773006.pdf>
- MÉNDEZ Rodríguez, Alejandro, ASTUDILLO Moya, Marcela. La investigación en la era de la información, guía para realizar la bibliografía y fichas de trabajo. México: Trillas, 2008. 181 p.
- MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES (MTC). Manual de carreteras: Suelos, geología, geotecnia y pavimentos, sección suelos y pavimentos. Lima: MTC, 2014. 281 p.
- MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES (MTC). Manual de carreteras: Especificaciones técnicas generales para construcción. Lima: MTC, 2015. 605 p.
- MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES (MTC). Caminos y Ferrocarriles. Mapa Vial por Distritos (D.S. N° 011-2016-MTC) [en línea]. [Fecha de consulta: 01 noviembre 2022]. Disponible en: [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/mapa-ruta-distrital.html](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/mapa-ruta-distrital.html)

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES (MTC). Manual de carreteras: Diseño geométrico DG-2018. Lima: MTC, 2018. 285 p.

MINISTERIO DE ECONOMÍA Y FINANZAS. Pautas metodológicas para el desarrollo de alternativas de pavimentos en la formulación y evaluación social de proyectos de inversión pública de carreteras. Lima: Servicios Gráficos JMD s.r.l., 2015. 110 p.

MONTEJO Fonseca, Alonso, MONTEJO Piratova, Alejandro, MONTEJO Piratova, Alejandro. Estabilización de suelos. Bogotá: Ediciones dela U, 2018. 350 p.

M'NDEGWA, Julius K. The effect of cane molasses on strength of expansive clay soil. *Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences* [en línea]. December 2011. vol. 2, no. 6. [Fecha de consulta: 14 marzo 2022], pp. 1034-1041. Disponible en: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.300.3651&rep=rep1&type=pdf>

NATIONAL LIME ASSOCIATION. Manual de estabilización de suelo tratado con cal. 2006. 42 p.

QUEZADA Osorio, Santiago E. Estudio comparativo de la estabilidad de suelos arcillosos con valvas de molusco para pavimento. Tesis para optar al título profesional de Ingeniero civil. Piura: Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería, departamento de ingeniería civil, 2017. 122 h.

QUISPE Estrada, Henry, SALAZAR Cueva, Katy M. Influencia de la aplicación de cloruro de calcio y melaza de caña en vías no pavimentadas, Lurigancho Chosica 2021. Tesis para optar al título profesional de Ingeniero civil. Lima: Universidad Cesar Vallejo, Escuela profesional de ingeniería civil, 2021. 191 h.

Resolución Directoral N° 02-2018-MTC/14. “Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial”. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). Diario Oficial EL Peruano. 12 de enero de 2018

RAVI, E., SHARMA, Animesh, MANIKANDAN, A.T. Study on Effect of Molasses on Strength of Soil. *International Journal of Advanced Research Trends in Engineering and Technology (IJARTET)* [en línea]. February 2015, vol. 2, no. 2. [Fecha de consulta: 27 abril 2022], pp. 2394-3785. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/316645214\\_Study\\_on\\_Effect\\_of\\_Molasses\\_on\\_Strength\\_of\\_Soil](https://www.researchgate.net/publication/316645214_Study_on_Effect_of_Molasses_on_Strength_of_Soil)

- RICO Rodríguez, Alfonso, DEL CASTILLO, Hermilio. La ingeniería de suelos en las vías terrestres: Carreteras, ferrocarriles y aeropistas. México: Limusa, R 20018. 460 p.
- RICO Rodríguez, Alfonso, DEL CASTILLO, Hermilio. La ingeniería de suelos en las vías terrestres 2: Carreteras, ferrocarriles y aeropistas. México: Limusa, R 2019. 644 p., 2 v.
- SILVA Arce, M. (2016). Mejoramiento de la subrasante con geomallas multiaxiales tipo TX140 y TX160, aplicado a un tramo de la calle Alemania-la Molina-Cajamarca. Tesis para optar de Título de ingeniero civil. Universidad Privada del Norte, 2016. 97h.
- TESEMA, Gadise. Expansive soil stabilization by sugare cane molasses. Tesis para optar al grado de maestría en Ciencias en Ingeniería Civil (ingeniería y geotecnia). Etiopia: Universidad Addis Abeba, Escuela de Ingeniería Civil y Medioambiental, 2016. 107 h.
- TUESTA Tuesta, Cesar A. Diseño de la capa de rodadura con material romerillo y la adición de melaza de caña para su uso en la vía baños sulfurosos - Shucshuyacu, distrito de Jepelacio, Moyobamba. Tesis para optar al título profesional de Ingeniería Civil. Moyobamba: Universidad Cesar Vallejo, Escuela profesional de ingeniería civil, 2020. 190 h.
- VILLALOBOS Jara, Felipe. Mecánica de Suelo. 2ª ed. Concepción: Universidad Católica de la Santísima Concepción, R 2020. 645 p.
- VIEYTES, Rut. Metodología de la investigación en organizaciones, mercado y sociedad: epistemología y técnicas. Buenos Aires: Editorial De Las Ciencias, 2004. 732 p.

## APÉNDICES

### Apéndice 1: Resultados de pruebas de laboratorio del suelo natural

#### • Calicata 1

Tabla 23

#### Análisis Granulométrico (Calicata 1)

Análisis Granulométrico por Tamizado							
ASTM D 422 / C136							
Calicata	C-1			Fecha de Muestreo	17-Feb-19		
Coordenadas	N: 9203851.917 E: 778875.357			Fecha de Ensayo	21-Feb-19		
Progresiva	KM 0+033			Ensayado por	Ysis y Luis		
Tipo de Material	Suelo Natural			Descripción del suelo	Color Amarillo		

Nº	Tamiz mm	Peso Parcial Retenido (g)	Peso Acum. Retenido (g)	% Retenido Acumulado	% Que pasa Acumulado	Especif. Téc. %	
						Min.	Máx.
22"	558.800						
20"	508.000						
18"	457.200						
15"	381.000						
14"	355.600						
12"	304.800						
10"	254.000						
9"	228.600						
8"	200.000						
6"	150.000		0	0.0	100.0		
4"	100.000		0	0.0	100.0		
3"	75.000	0	0	0.0	100.0		
2"	50.000	0	0	0.0	100.0		
1 1/2"	37.500	335	335	1.1	98.9		
1"	25.000	260	595	1.9	98.1		
3/4"	19.000	114	709	2.3	97.7		
1/2"	12.700	220	929	3.0	97.0		
3/8"	9.500	145	1074	3.5	96.5		
Nº 4	4.750	799	1873	6.1	93.9		
Nº 8	2.360	16.0	16.0	7.7	92.3		
Nº 10	2.000	4.0	20.0	8.2	91.8		
Nº 16	1.100	10.0	30.0	9.2	90.8		
Nº 20	0.850	5.0	35.0	9.7	90.3		
Nº 30	0.590	6.0	41.0	10.3	89.7		
Nº 40	0.425	13.0	54.0	11.6	88.4		
Nº 50	0.337	27.0	81.0	14.4	85.6		
Nº 60	0.250	24.0	105.0	16.9	83.1		
Nº 100	0.150	113.0	218.0	28.4	71.6		
Nº 200	0.075	82.0	300.0	36.9	63.1		
casoleta		8.0	308.0				

Temp. de Secado: 110°C / 60 °C / Ambiente	
Método: Horno / Microondas	

Pesos de muestra total	
Peso Suelo Húmedo Que Pasa N°4 (g)	30,530.0
(-) Peso Suelo Seco Que Pasa N°4 (g)	28,774.7
(+) Peso Suelo Seco Retenido N°4 (g)	1,873.0
Peso Total Seco (g)	30,647.7

Peso seco para tamizado grueso (g)	30,647.7
Peso Seco para Tamizado Fino (g)	916.0

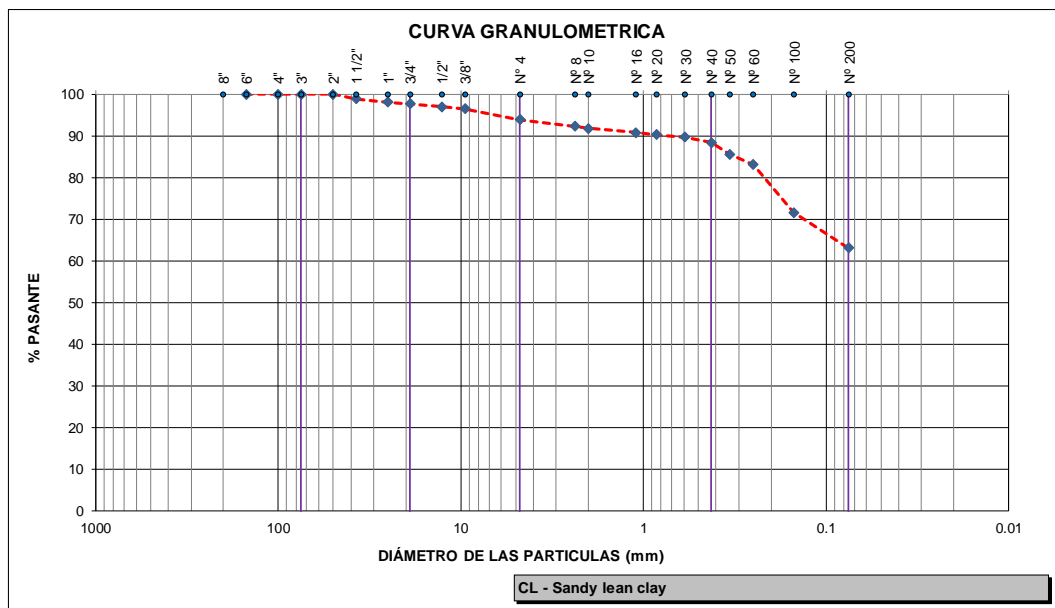
% de Humedad del cuarteo (Método Corrección)	
Nº Tara	M-40
Suelo Húmedo + Tara (g)	1,309.0
Suelo Seco + Tara (g)	1,253.0
Peso de tara (g)	337.0
Peso de agua (g)	56.0
Suelo seco (g)	916.0
% de >Humedad	6.1

(Met Lavado) Pasante de la N° 4	
Nº Tara	M-40
Suelo Seco + Tara (g)	1,253.0
P.Seco. Desp.Lav + Tara (g)	645.00
Peso de Tara (g)	337.0
Perdida Muestra (g)	608.0
P.Seco. Desp.Lav (g)	308.0
% Bajo #200	62.3

Over: 0 % Gravas: 6.1 % Arenas: 30.8 % Finos: 63.1 %

Clasificación ( S.U.C.S. )	CL
Clasificación (AASHTO)	A-6 ( 6 )



**Tabla 24**

*Contenido de humedad natural (Calicata 1)*

**Contenido de Humedad**  
ASTM D 2216-98 ASTM D 4643-93

<b>Calicata</b>	C-1	<b>Fecha de Muestreo</b>	17-Feb-19
<b>Coordenadas</b>	N: 9203851.917 E: 778875.357	<b>Fecha de Ensayo</b>	17-Feb-19
<b>Progresiva</b>	KM 0+033	<b>Ensayado por</b>	Ysis y Luis
<b>Tipo de Material</b>	Suelo Natural	<b>Descripción del suelo</b>	Color Amarillo

Determinación de la Humedad					Temp. de Secado Preparación Muestra Ambiente / 60 °C / 110 °C
Nº Muestra	1	2	3	4	
Descripción del Suelo					
Nº Recipiente (Tara)	T-51	T-052	T-053		
Tara + Suelo Húmedo A	5648.0	5671.0	5638.0		
Tara + Suelo Seco B	5047.0	5065.0	5039.0		
Tara C	630.0	634.0	625.0		
Peso de Agua D, A-B	601.0	606.0	599.0		
Suelo Seco, Ws E, B-C	4417.0	4431.0	4414.0		
<b>Porc. Humedad (%) (D / E) x100</b>	<b>13.61</b>	<b>13.68</b>	<b>13.57</b>		<b>w = 13.6 %</b>

**Contenido de Humedad (grava)**  
ASTM D 2216-98 ASTM D 4643-93

<b>Calicata</b>	C-1	<b>Fecha de Muestreo</b>	17-Feb-19
<b>Coordenadas</b>	N: 9203851.917 E: 778875.357	<b>Fecha de Ensayo</b>	17-Feb-19
<b>Progresiva</b>	KM 0+033	<b>Ensayado por</b>	Ysis y Luis
<b>Tipo de Material</b>	Suelo Natural	<b>Descripción del suelo</b>	Color Amarillo

Determinación de la Humedad					Temp. de Secado Preparación Muestra Ambiente / 60 °C / 110 °C
Nº Muestra	1	2	3	4	
Descripción del Suelo					
Nº Recipiente (Tara)	T-007	T-005	T-002		
Tara + Suelo Húmedo A	923.0	952.0	918.0		
Tara + Suelo Seco B	915.0	941.0	913.0		
Tara C	107.0	101.0	98.0		
Peso de Agua D, A-B	8.0	11.0	5.0		
Suelo Seco, Ws E, B-C	808.0	840.0	815.0		
<b>Porc. Humedad (%) (D / E) x100</b>	<b>0.99</b>	<b>1.31</b>	<b>0.61</b>		<b>w = 1.0 %</b>

**Tabla 25**

*Límites de Atterberg (Calicata 1)*

**Límites de Atterberg**  
ASTM D 4318 - 93

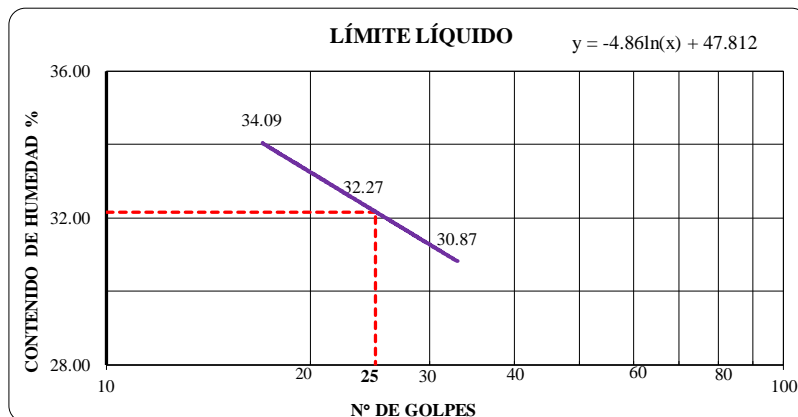
<b>Calicata</b>	C-1	<b>Fecha de Muestreo</b>	17-Feb-19
<b>Coordenadas</b>	N: 9203851.917 E: 778875.357	<b>Fecha de Ensayo</b>	28-Feb-19 al 01-Mar-19
<b>Progresiva</b>	KM 0+033	<b>Ensayado por</b>	Ysis y Luis
<b>Tipo de Material</b>	Suelo Natural	<b>Descripción del suelo</b>	Color Amarillo

Determinación Límite Líquido (LL)				
Ident. Bandeja (Nº)	T-10	T-02	B-04	-
Suelo Húmedo + Tara (g)	33.75	34.12	33.36	-
Suelo Seco + Tara (g)	28.78	29.28	28.40	-
Peso de Tara (g)	12.68	14.28	13.85	-
Peso del Agua (g)	4.97	4.84	4.96	-
Peso Suelo Seco (g)	16.10	15.00	14.55	-
Número de Golpes (N)	33	24	17	-
Contenido de Humedad (%)	<b>30.87</b>	<b>32.27</b>	<b>34.09</b>	-
Promedio Límite Líquido (LL)				<b>32.20</b>
Determinación Límite Plástico (PL)				
Ident. Bandeja (Nº)	T-11	T-03		-
Suelo Húmedo+ Tara (g)	31.83	32.68		-
Suelo Seco + Tara (g)	28.78	29.34		-
Peso de Tara (g)	14.53	13.94		-
Peso del Agua (g)	3.05	3.34		-
Peso Suelo Seco (g)	14.25	15.40		-
Contenido Humedad (%)	<b>21.40</b>	<b>21.69</b>		-
Promedio Límite Plástico (PL)				<b>21.50</b>

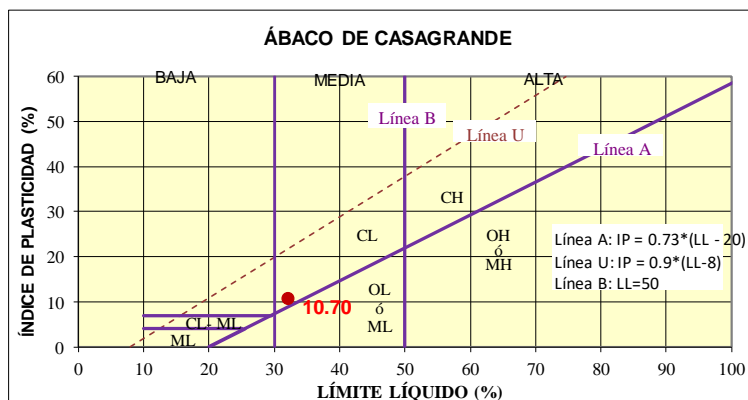
**Temp. de Secado**  
Preparación Muestra  
60 °C / Ambiente

**Contenido de Humedad**  
60 °C / 110 °C

Cuadro Resumen	
<b>Límite Líquido (%)</b>	<b>32.20</b>
<b>Límite Plástico (%)</b>	<b>21.50</b>
<b>Índice de Plasticidad (%)</b>	<b>10.70</b>
IP = LL-LP	



Nº. Golpes N	Factor K
20	0.974
21	0.979
22	0.985
23	0.990
24	0.995
25	1.000
26	1.005
27	1.009
28	1.014
29	1.018
30	1.022



Mayor Resistencia Seca  
Mayor Tenacidad en LP  
Menor Pemiabilidad  
Igual Comprensibilidad



Menor Resistencia Seca  
Menor Tenacidad en LP  
Mayor Pemiabilidad  
Mayor Comprensibilidad

**Tabla 26**

*Gravedad Específica y Absorción del Agregado Grueso (Calicata 1)*

**Gravedad Específica y Absorción del Agregado Grueso**  
ASTM C 127

Calicata	C-1
Coordenadas	N: 9203851.917 E: 778875.357
Progresiva	KM 0+033
Tipo de Material	Suelo Natural

Fecha de Muestreo	17-Feb-19
Fecha de Ensayo	28-Mar-19 al 02-Mar-19
Ensayado por	Ysis y Luis
Descripción del suelo	Color Amarillo

Determinación de la Gravedad específica		
Nº Recipiente (Tara)	T-01	
Peso Agregado Saturado Superficial Seco + Tara (g)		1319
Peso Agregado Seco + Tara (g)		1299
Peso Tara (g)		258
Peso Agregado Saturado Superficial Seco (g)	B	1061.0
Peso Agregado Seco (g)	A	1041.0
Peso Agregado + Canastilla sumergida		1624.0
Peso Canastilla sumergida		970.0
Peso Agregado Sumergido (g)	C	654.0
Gravedad Especifica Bulk	A / (B-C)	2.558
Gravedad Especifica Bulk SSS	B / (B-C)	2.607
Gravedad Especifica Aparente	A / (A-C)	2.690
Absorción (%)	100*(B-A) / A	1.92
Promedio de Gravedad Especifica Bulk		2.558
Promedio de Absorción (%)		1.9

Tabla 27

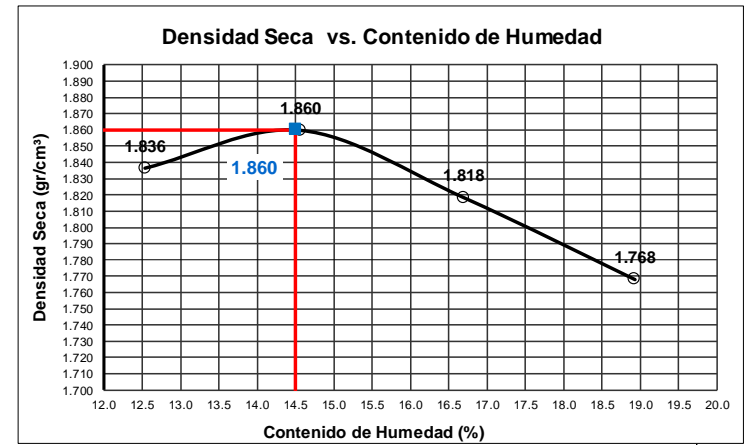
Relación densidad vs Humedad del suelo natural (Calicata 1)

Relación Densidad Vs Humedad (Próctor Modificado)					
ASTM D 698 / 1557					
Calicata	C-1			Fecha de Muestreo	17-Feb-19
Coordenadas	N: 9203851.917 E: 778875.357			Fecha de Ensayo	4-Mar-19 al 06-Mar-19
Progresiva	KM 0+033			Ensayado por	Ysis y Luis
Tipo de Material	Suelo Natural			Descripción del suelo	Color Amarillo

DETERMINACIÓN	1	2	3	4	
Contenido de agua (%)	6%	8%	10%	12%	
Peso Molde + material húmedo (g)	5710	5770	5762	5744	
Peso del molde (g)	3765.0	3765.0	3765.0	3765.0	
Peso de material húmedo (g)	1945	2005	1997	1979	
Volumen del molde molde (cm3)	941.1	941.1	941.1	941.1	
Densidad húmeda (g/cm3)	2.067	2.130	2.122	2.103	

Numero de cápsula	T-10	T-06	T-08	T-09	
Cápsula + material húmedo (g)	779.0	753.0	748.0	772.0	
Cápsula + material seco (g)	704.0	672.0	654.0	666.0	
Peso del agua (g)	75.0	81.0	94.0	106.0	
Peso de la cápsula (g)	106.0	116.0	91.0	106.0	
Peso de suelo seco (g)	598.0	556.0	563.0	560.0	
Contenido de agua (%)	12.5	14.6	16.7	18.9	
Densidad seca (g/cm3)	1.836	1.860	1.818	1.768	

Método	A	Molde	4"	Pisón Próctor	Estándar	T° Secado	60°C	Norma ASTM
	B		6"		Modificado		110°C	
	C		Otro		Otro		Estufa	
Clasificación SUCS :	CL	Volumen Molde(CC)	941.1	Peso molde(g)	3765.0			



DENSIDAD MAXIMA (gr/cm3)	1.860
HUMEDAD OPTIMA %	14.5
DENSIDAD MAX. CORREGIDA (gr/cm3)	1.872
HUMEDAD OPTIMA CORREGIDA%	14.2

**Tabla 28**

*Corrección del peso unitario y contenido de humedad para suelos que contienen partículas de sobre tamaño (Calicata 1)*

Corrección del peso unitario y contenido de humedad para suelos que contienen partículas de sobretamaño  
ASTM D 4718

Calicata	C-1	Fecha de Muestreo	
Coordenadas	N: 9203851.917 E: 778875.357	Fecha de Ensayo	
Progresiva	KM 0+033	Ensayado por	Ysis y Luis
Tipo de Material	Suelo Natural	Descripción del suelo	Color Amarillo

**Corrección para el Contenido de Humedad (MC) - Muestra Total**

Porcentaje de la Fracción de Sobretamaño (Máx. 30%)	(%)	A	<b>2.3</b>
Contenido de Humedad de la Fracción de Sobretamaño	(%)	C	<b>1.0</b>
Porcentaje de la Fracción Fina	(%)	B	<b>97.7</b>
Óptimo Contenido de Humedad de la Fracción fina	(%)	E	<b>14.5</b>
<b>Óptimo Contenido de Humedad Corregido (%)</b>	(%)	$H=(A*C+B*E)/100$	<b>14.2</b>

**Corrección para Máxima Densidad Seca de Muestra Total**

Máxima Densidad Seca de la Fracción Fina	(g/cc)	F	<b>1.9</b>
Bulk Specific Gravity		D	<b>2.6</b>
Peso Específico del Agua (T° 20°C)	(g/cc)	G	<b>1.0</b>
<b>Máxima Densidad Seca Corregida (g/cc)</b>	(g/cc)	$I=100*D*F*G/(A*F+B*D*G)$	<b>1.872</b>

Observaciones: .....



**Tabla 29**

*Ensayo de CBR del suelo natural (Calicata 1)*

**RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)**

(NORMA AASHTO T-193, ASTM D 1883)

**DATOS DE LA MUESTRA**

<b>Calicata</b>	: C-1	<b>Fecha muestreo</b>	: 24/08/2020
<b>Progresiva</b>	: Km 0+033	<b>Muestreo:</b>	: YSIS
<b>Tipo de material</b>	: SUELO NATURAL	<b>Descripción:</b>	: COLOR AMARILLO

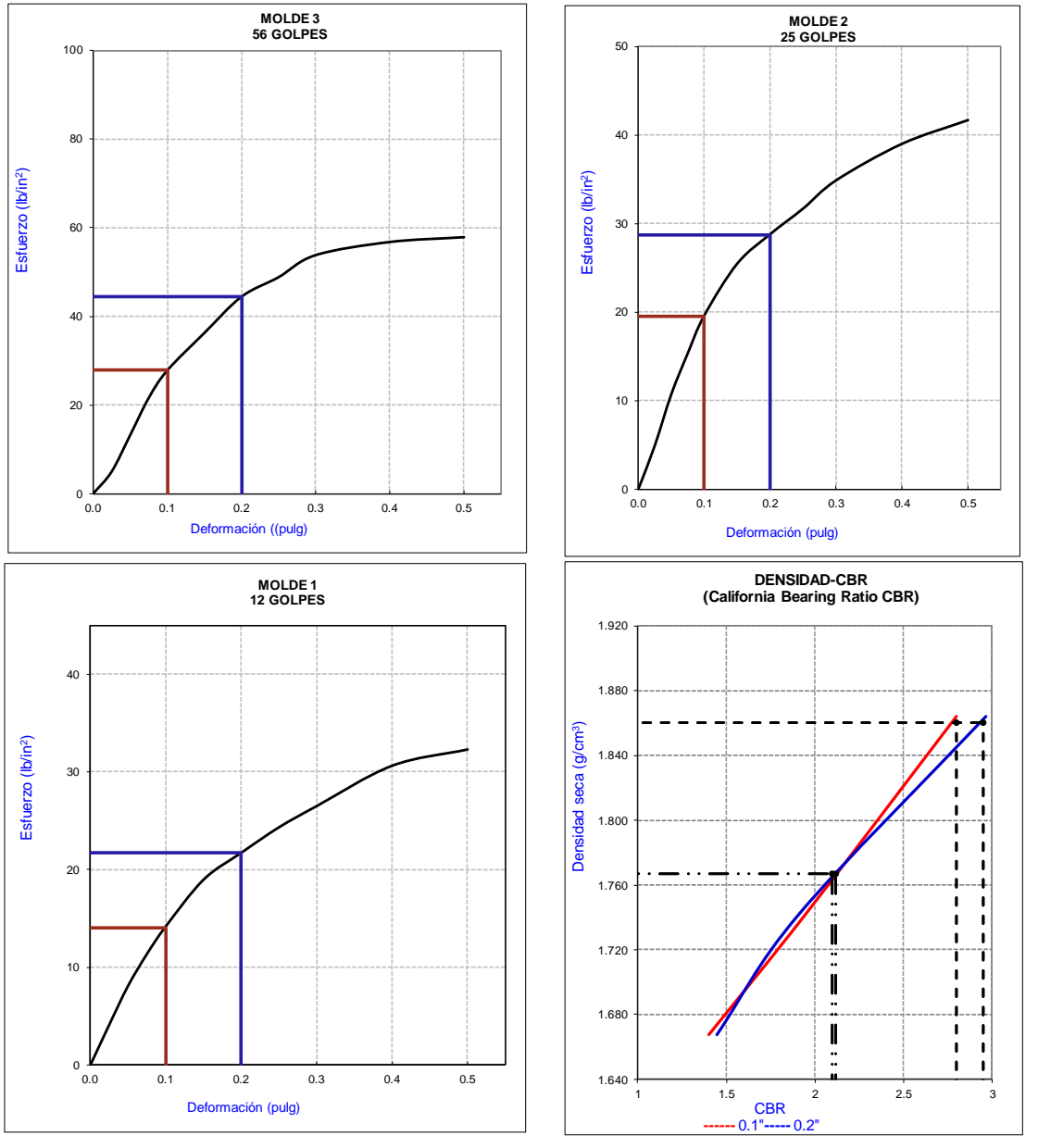
COMPACTACION CBR						
MOLDE	<b>3</b>		<b>2</b>		<b>1</b>	
Altura Molde mm.	118		118		118	
N° Capas	<b>5</b>		<b>5</b>		<b>5</b>	
N°Golp x Capa	<b>56</b>		<b>25</b>		<b>12</b>	
<b>Condición de la muestra</b>	<b>NO SATURADO</b>	<b>SATURADO</b>	<b>NO SATURADO</b>	<b>SATURADO</b>	<b>NO SATURADO</b>	<b>SATURADO</b>
Masa de molde + Suelo húmedo (g)	13146.0	13286.00	12802.00	13095.50	12627.50	12922.00
Masa de molde (g)	8632.00	8631.00	8554.00	8554.00	8561.00	8561.00
Masa del suelo húmedo (g)	4514.00	4655.00	4248.00	4541.50	4066.50	4361.00
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2121.38	2121.38	2134.31	2134.31	2131.49	2131.49
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2.128</b>	<b>2.194</b>	<b>1.990</b>	<b>2.128</b>	<b>1.908</b>	<b>2.046</b>

HUMEDADES						
Masa suelo húmedo + tara (g)	547.00	737.00	497.90	926.30	530.30	774.60
Masa suelo seco + tara (g)	483.10	632.20	439.40	785.30	467.50	638.40
Masa de tara (g)	31.20	28.30	28.20	29.00	31.50	27.90
Masa de agua (g)	63.90	104.80	58.50	141.00	62.80	136.20
Masa de suelo seco (g)	451.90	603.90	411.20	756.30	436.00	610.50
Contenido de humedad (%)	14.14%	17.35%	14.23%	18.64%	14.40%	22.31%
<b>Contenido de humedad promedio</b>	<b>14.14%</b>	<b>17.35%</b>	<b>14.23%</b>	<b>18.64%</b>	<b>14.40%</b>	<b>22.31%</b>
<b>Densidad seca (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.864</b>	<b>1.870</b>	<b>1.742</b>	<b>1.793</b>	<b>1.668</b>	<b>1.673</b>

HINCHAMIENTO										
TIEMPO ACUMULADO		MOLDE N°		03	MOLDE N°		02	MOLDE N°		01
		LECTURA	HINCHAMIENTO		LECTURA	HINCHAMIENTO		LECTURA	HINCHAMIENTO	
Horas	Días	DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	4.089	4.089	3.47	4.953	4.953	4.20	5.182	5.182	4.39
48	2	4.343	4.343	3.68	5.055	5.055	4.28	5.258	5.258	4.46
72	3	4.775	4.775	4.05	5.105	5.105	4.33	5.283	5.283	4.48
96	4	4.953	4.953	4.20	5.105	5.105	4.33	5.309	5.309	4.50

ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN										
PENETRACION		MOLDE N° 03			MOLDE N° 02			MOLDE N° 01		
(mm)	(in.)	CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO	
			kg/cm <sup>2</sup>	lb/in. <sup>2</sup>		kg/cm <sup>2</sup>	lb/in. <sup>2</sup>		kg/cm <sup>2</sup>	lb/in. <sup>2</sup>
0.00	0.000	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.64	0.025	6.9	0.35	4.99	6.8	0.35	4.92	5.7	0.29	4.12
1.27	0.050	18.3	0.93	13.23	14.8	0.75	10.70	11.2	0.57	8.10
1.91	0.075	29.9	1.52	21.61	21.2	1.08	15.32	15.7	0.80	11.35
2.54	0.100	38.5	1.96	27.83	27.1	1.38	19.59	19.6	1.00	14.17
3.81	0.150	50.2	2.56	36.29	35.2	1.79	25.45	26.2	1.33	18.94
5.08	0.200	61.5	3.13	44.46	39.8	2.03	28.77	30.0	1.53	21.69
6.35	0.250	67.6	3.44	48.87	43.8	2.23	31.66	33.6	1.71	24.29
7.62	0.300	74.5	3.79	53.85	48.2	2.45	34.84	36.6	1.86	26.46
10.16	0.400	78.6	4.00	56.82	53.9	2.75	38.96	42.3	2.15	30.58
12.70	0.500	80.1	4.08	57.90	57.6	2.93	41.64	44.6	2.27	32.24

GRÁFICAS



PENETRACIÓN	Densidad	0.1 (*)	0.2 (*)	CBR(0.1)	CBR(0.2)
MOLDE 3	1.864	28.00	44.50	2.8	3.0
MOLDE 2	1.742	19.50	28.70	2.0	1.9
MOLDE 1	1.668	14.00	21.70	1.4	1.4

Datos de ensayo próctor: ASTM D 1557

Densidad máxima seca = 1.860 g/cm<sup>3</sup>

Humedad óptima = 14.5 %

C.B.R. Para el 100% de la M.D.S.	0.1" = 2.8 %	0.2" = 3.0 %
C.B.R. Para el 95% de la M.D.S.	0.1" = 2.1 %	0.2" = 2.1 %

• Calicata 2

Tabla 30

Análisis Granulométrico (Calicata 2)

Análisis Granulométrico por Tamizado  
ASTM D 422 / C136

Calicata	C-2
Coordenadas	N: 9203014.828 E: 778307.445
Progresiva	KM 0+986
Tipo de Material	Suelo natural

Fecha de Muestreo	02-Feb-19
Fecha de Ensayo	04-Feb-19
Ensayado por	Ysis y Luis
Descripción del suelo	Color marron

Tamiz	Peso Parcial Retenido (g)	Peso Acum. Retenido (g)	% Retenido Acumulado	% Que pasa Acumulado	Especif. Téc. %
N°	mm				Min. Máx.
22"	558.800				
20"	508.000				
18"	457.200				
15"	381.000				
14"	355.600				
12"	304.800				
10"	254.000				
9"	228.600				
8"	200.000				
6"	150.000	0	0.0	100.0	
4"	100.000	0	0.0	100.0	
3"	75.000	0	0.0	100.0	
2"	50.000	0	0.0	100.0	
1 1/2"	37.500	0	0.0	100.0	
1"	25.000	0	0.0	100.0	
3/4"	19.000	76	0.3	99.7	
1/2"	12.700	69	0.6	99.4	
3/8"	9.500	33	0.7	99.3	
N° 4	4.750	88	1.1	98.9	
N° 8	2.360	3.8	1.5	98.5	
N° 10	2.000	1.4	1.7	98.3	
N° 16	1.100	6.3	2.3	97.7	
N° 20	0.850	5.5	2.9	97.1	
N° 30	0.590	8.3	3.8	96.2	
N° 40	0.425	14.8	40.1	59.9	
N° 50	0.337	26.7	66.8	33.2	
N° 60	0.250	40.0	106.8	23.2	
N° 100	0.150	96.0	202.8	7.2	
N° 200	0.075	18.5	221.3	7.2	
casoleta		1.3	222.6		

Temp. de Secado: 110°C / 60 °C / Ambiente  
Método: Horno / Microondas

Pesos de muestra total	
Peso Suelo Húmedo Que Pasa N°4 (g)	27,991.0
(-) Peso Suelo Seco Que Pasa N°4 (g)	24,903.0
(+) Peso Suelo Seco Retenido N°4 (g)	266.0
Peso Total Seco (g)	25,169.0

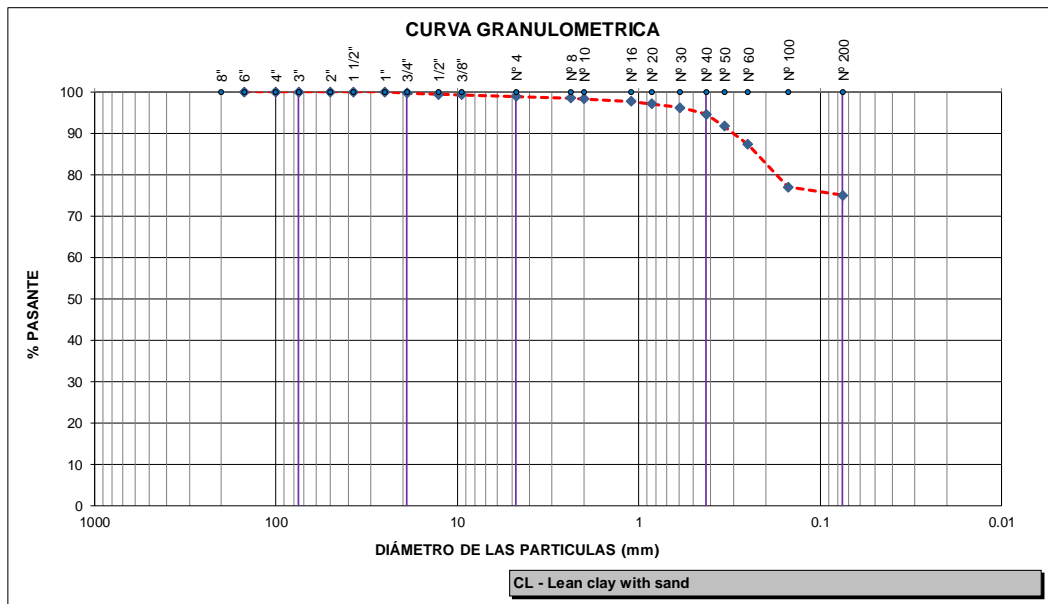
Peso seco para tamizado grueso (g)	25,169.0
Peso Seco para Tamizado Fino (g)	914.0

% de Humedad del cuarteo (Método Corrección)	
N° Tara	T-01
Suelo Húmedo + Tara (g)	1,140.0
Suelo Seco + Tara (g)	1,027.0
Peso de tara (g)	113.0
Peso de agua (g)	113.0
Suelo seco (g)	914.0
% de >Humedad	12.4

(Met Lavado) Pasante de la N° 4	
N° Tara	T-01
Suelo Seco + Tara (g)	1,027.0
P.Seco. Desp.Lav + Tara (g)	334.3
Peso de Tara (g)	113.0
Perdida Muestra (g)	692.7
P.Seco. Desp.Lav (g)	221.3
% Bajo #200	75.0

Over: 0 % Gravas: 1.1 % Arenas: 23.9 % Finos: 75 %

Clasificación ( S.U.C.S. )	CL
Clasificación (AASHTO)	A-6 ( 8 )



**Tabla 31**

*Contenido de humedad natural (Calicata 2)*

**Contenido de Humedad**  
ASTM D 2216-98 ASTM D 4643-93

<b>Calicata</b>	C-2	<b>Fecha de Muestreo</b>	02-Feb-19
<b>Coordenadas</b>	N: 9203014.828 E: 778307.445	<b>Fecha de Ensayo</b>	02-Feb-19
<b>Progresiva</b>	KM 0+986	<b>Ensayado por</b>	Ysis y Luis
<b>Tipo de Material</b>	Suelo natural	<b>Descripción del suelo</b>	Color marron

Determinación de la Humedad					Temp. de Secado Preparación Muestra Ambiente / 60 °C / 110°C
Nº Muestra	1	2	3	4	
Descripción del Suelo					
Nº Recipiente (Tara)	T-04	T-027	T-025		
Tara + Suelo Húmedo A	5171.0	5162.0	5169.0		
Tara + Suelo Seco B	4604.0	4590.0	4612.0		
Tara C	471.0	480.0	497.0		
Peso de Agua D , A-B	567.0	572.0	557.0		
Suelo Seco, Ws E , B-C	4133.0	4110.0	4115.0		
Porc. Humedad (%) ( D / E ) x100	13.72	13.92	13.54		w = 13.7 %

**Contenido de Humedad (grava)**  
ASTM D 2216-98 ASTM D 4643-93

<b>Calicata</b>	C-2	<b>Fecha de Muestreo</b>	02-Feb-19
<b>Coordenadas</b>	N: 9203014.828 E: 778307.445	<b>Fecha de Ensayo</b>	02-Feb-19
<b>Progresiva</b>	KM 0+986	<b>Ensayado por</b>	Ysis y Luis
<b>Tipo de Material</b>	Suelo natural	<b>Descripción del suelo</b>	Color marron

Determinación de la Humedad					Temp. de Secado Preparación Muestra Ambiente / 60 °C / 110°C
Nº Muestra	1	2	3	4	
Descripción del Suelo					
Nº Recipiente (Tara)	T-01	T-011	T-018		
Tara + Suelo Húmedo A	427.0	458.0	422.0		
Tara + Suelo Seco B	423.0	452.0	419.0		
Tara C	161.0	153.0	148.0		
Peso de Agua D , A-B	4.0	6.0	3.0		
Suelo Seco, Ws E , B-C	262.0	299.0	271.0		
Porc. Humedad (%) ( D / E ) x100	1.53	2.01	1.11		w = 1.5 %

**Tabla 32**

**Límites de Atterberg (Calicata 2)**

**Límites de Atterberg**  
ASTM D 4318 - 93

<b>Calicata</b>	C-2	
<b>Coordenadas</b>	N: 9203014.828	E: 778307.445
<b>Progresiva</b>	KM 0+986	
<b>Tipo de Material</b>	Suelo natural	

<b>Fecha de Muestreo</b>	02-Ene-19	
<b>Fecha de Ensayo</b>	6-Feb-19	07-Feb-19
<b>Ensayado por</b>	Ysis y Luis	
<b>Descripción del suelo</b>	Color marrón	

Determinación Límite Líquido (LL)				
Ident. Bandeja (Nº)	T-01	L-02	B-05	-
Suelo Húmedo + Tara (g)	33.31	33.22	33.30	-
Suelo Seco + Tara (g)	28.63	29.66	29.88	-
Peso de Tara (g)	13.84	17.70	18.14	-
Peso del Agua (g)	4.68	3.56	3.42	-
Peso Suelo Seco (g)	14.79	11.96	11.74	-
Número de Golpes (N)	16	25	33	-
Contenido de Humedad (%)	31.64	29.77	29.13	-
Promedio Límite Líquido (LL)				30.00
Determinación Límite Plástico (PL)				
Ident. Bandeja (Nº)	T-07	B-02		-
Suelo Húmedo+ Tara (g)	34.04	36.12		-
Suelo Seco + Tara (g)	30.79	33.22		-
Peso de Tara (g)	14.66	17.58		-
Peso del Agua (g)	3.25	2.90		-
Peso Suelo Seco (g)	16.13	15.64		-
Contenido Humedad (%)	20.15	18.54		-
Promedio Límite Plástico (PL)				19.30

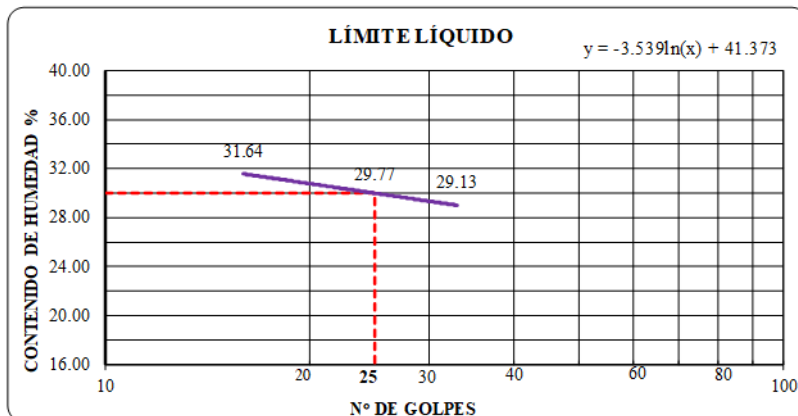
**Temp. de Secado**

Preparación Muestra  
60 °C / Ambiente

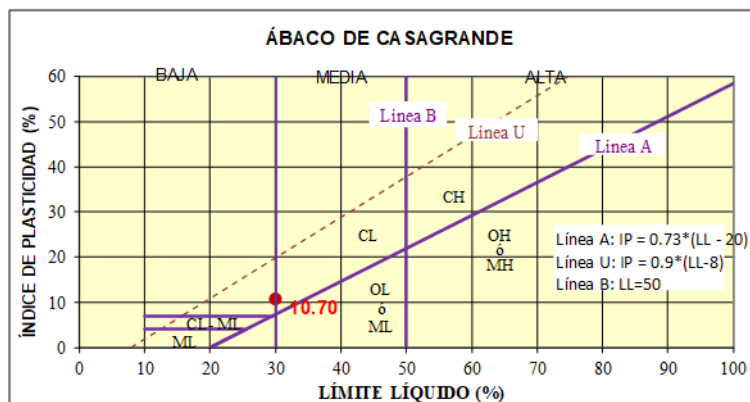
**Contenido de Humedad**

60 °C / 110 °C

Cuadro Resumen	
Límite Líquido (%)	30.00
Límite Plástico (%)	19.30
Índice de Plasticidad (%)	10.70
IP = LL-LP	



Nº. Golpes N	Factor K
20	0.974
21	0.979
22	0.985
23	0.990
24	0.995
25	1.000
26	1.005
27	1.009
28	1.014
29	1.018
30	1.022



Mayor Resistencia Seca  
Mayor Tenacidad en LP  
Menor Pemiabilidad  
Igual Comprensibilidad



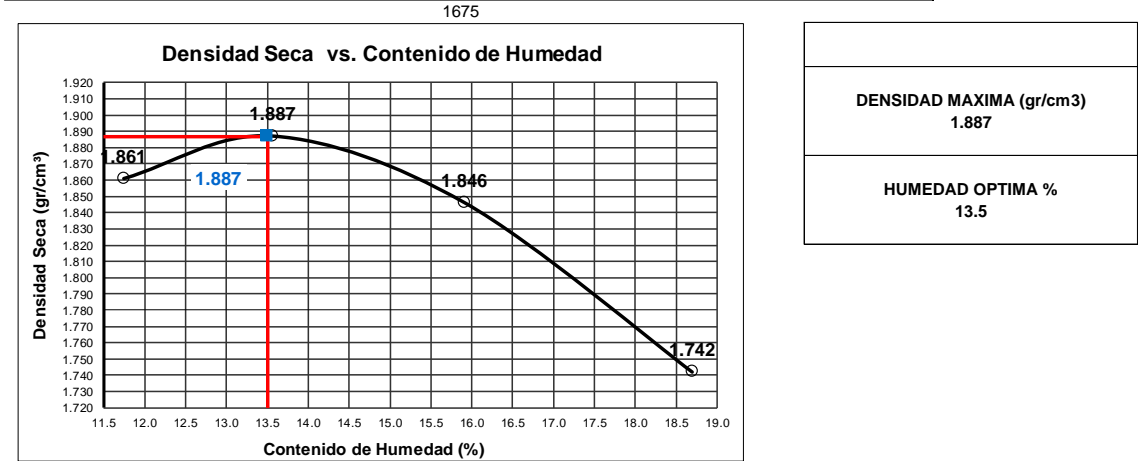
Menor Resistencia Seca  
Menor Tenacidad en LP  
Mayor Pemiabilidad  
Mayor Comprensibilidad

Tabla 33

Relación densidad vs Humedad del suelo natural (Calicata 2)

Relación Densidad Vs Humedad (Próctor Modificado)					
ASTM D 698 / 1557					
Calicata	C-2		Fecha de Muestreo	02-Feb-19	
Coordenadas	N: 9203014.828 E: 778307.445		Fecha de Ensayo	9-Feb-19 al 11-Feb-19	
Progresiva	KM 0+986		Ensayado por	Ysis y Luis	
Tipo de Material	Suelo natural		Descripción del suelo	Color marron	

DETERMINACIÓN		1	2	3	4			
Contenido de agua (%)		8%	10%	12%	14%			
Peso Molde + material húmedo (g)		6160	6220	6217	6149			
Peso del molde (g)		4197.0	4197.0	4197.0	4197.0			
Peso de material húmedo (g)		1963	2023	2020	1952			
Volumen del molde molde (cm3)		944.0	944.0	944.0	944.0			
Densidad húmeda (g/cm3)		2.079	2.143	2.140	2.068			
Numero de cápsula		T-20	T-15	T-8	T-4			
Cápsula + material húmedo (g)		786.0	771.0	783.0	788.0			
Cápsula + material seco (g)		714.0	687.0	688.0	679.0			
Peso del agua (g)		72.0	84.0	95.0	109.0			
Peso de la cápsula (g)		101.0	68.0	91.0	96.0			
Peso de suelo seco (g)		613.0	619.0	597.0	583.0			
Contenido de agua (%)		11.7	13.6	15.9	18.7			
Densidad seca (g/cm3)		1.861	1.887	1.846	1.742			
Método	A	Molde	4"	Pisón Próctor	Estándar	T° Secado	60°C	Norma ASTM
	B		6"		Modificado		110°C	
	C		Otro		Otro		Estufa	
	Clasificación SUCS :		0.00		Volumen Molde(CC)		944.0	



**Tabla 34**

*Ensayo de CBR del suelo natural (Calicata 2)*

**RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)**  
(NORMA AASHTO T-193, ASTM D 1883)

DATOS DE LA MUESTRA

Calicata	: C-2	Fecha muestreo :	17/06/2020
Progresiva	: Km 0+986	Muestreo:	YSIS
Tipo de material	: SUELO NATURAL	Descripción:	COLOR MARRÓN

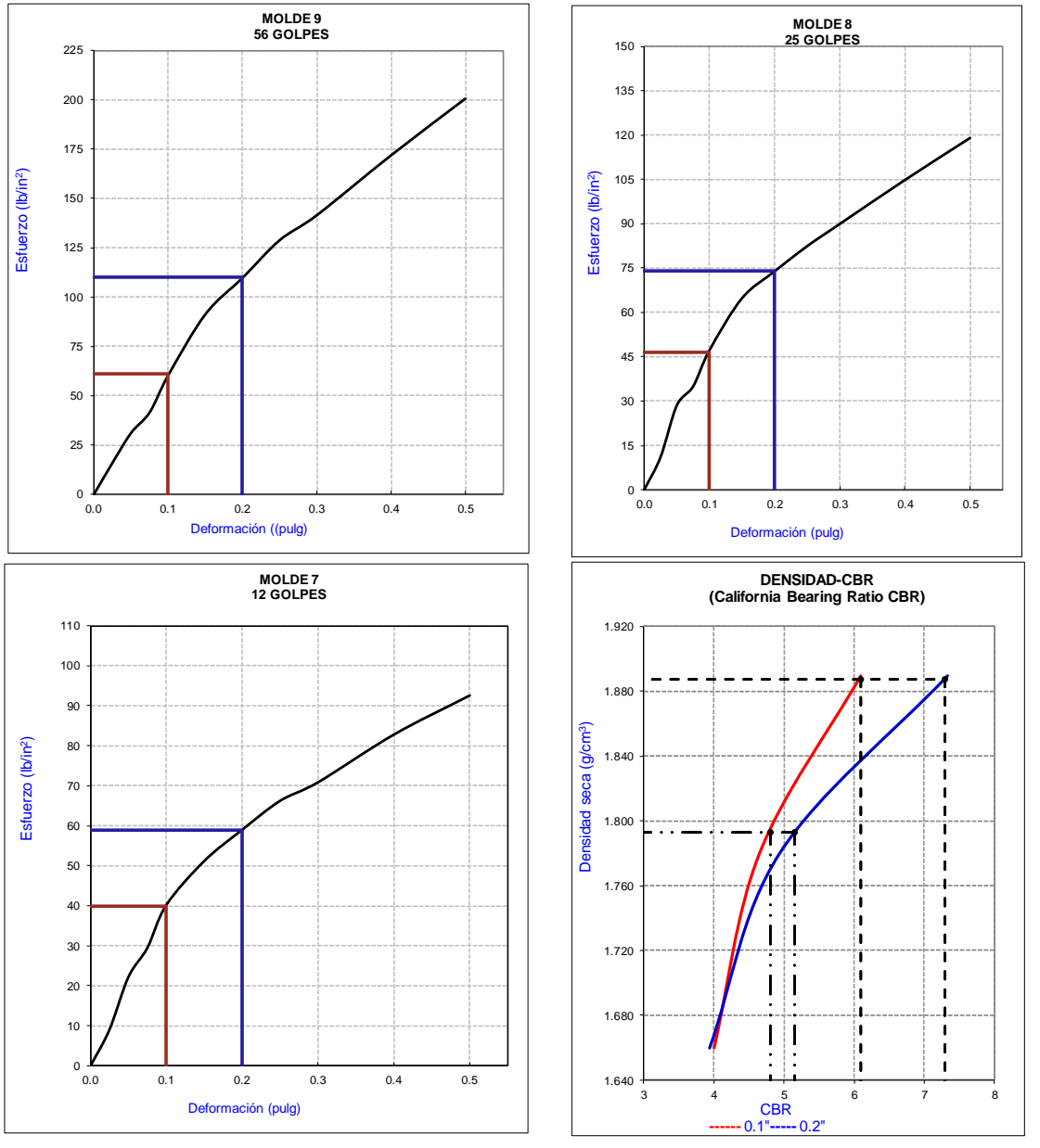
COMPACTACION CBR						
MOLDE	9		8		7	
Altura Molde mm.	118		118		118	
N° Capas	5		5		5	
N°Golp x Capa	56		25		12	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Masa de molde + Suelo húmedo (g)	13160.50	13288.50	12887.50	13107.00	12580.50	12886.50
Masa de molde (g)	8618.50	8618.50	8543.00	8543.00	8552.50	8552.50
Masa del suelo húmedo (g)	4542.00	4670.00	4344.50	4564.00	4028.00	4334.00
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2127.01	2127.01	2151.95	2151.95	2139.86	2139.86
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.135	2.196	2.019	2.121	1.882	2.025

HUMEDADES						
Masa suelo húmedo + tara (g)	373.40	277.00	369.20	322.70	367.00	355.40
Masa suelo seco + tara (g)	333.70	236.70	329.00	271.20	327.00	294.40
Masa de tara (g)	28.80	28.40	29.60	28.30	28.40	28.10
Masa de agua (g)	39.70	40.30	40.20	51.50	40.00	61.00
Masa de suelo seco (g)	304.90	208.30	299.40	242.90	298.60	266.30
Contenido de humedad (%)	13.02%	19.35%	13.43%	21.20%	13.40%	22.91%
Contenido de humedad promedio	13.02%	19.35%	13.43%	21.20%	13.40%	22.91%
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.889	1.840	1.780	1.750	1.660	1.648

HINCHAMIENTO									
TIEMPO ACUMULADO		MOLDE N° 09			MOLDE N° 08			MOLDE N° 07	
		LECTURA	HINCHAMIENTO		LECTURA	HINCHAMIENTO		LECTURA	HINCHAMIENTO
Horas	Días	DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
24	1	1.461	1.461	1.24	2.083	2.083	1.77	3.289	3.289
48	2	2.159	2.159	1.83	2.929	2.929	2.48	3.470	3.470
72	3	2.515	2.515	2.13	3.190	3.190	2.70	3.548	3.548
96	4	2.591	2.591	2.20	3.226	3.226	2.73	3.559	3.559

ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN										
PENETRACION		MOLDE N° 09			MOLDE N° 08			MOLDE N° 07		
(mm)	(in.)	CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO	
			kg/cm <sup>2</sup>	lb/in. <sup>2</sup>		kg/cm <sup>2</sup>	lb/in. <sup>2</sup>		kg/cm <sup>2</sup>	lb/in. <sup>2</sup>
0.00	0.000	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.64	0.025	22.1	1.13	15.98	15.3	0.78	11.06	12.5	0.64	9.04
1.27	0.050	43.0	2.19	31.08	39.5	2.01	28.55	30.7	1.56	22.19
1.91	0.075	57.4	2.92	41.49	48.4	2.46	34.99	40.8	2.08	29.49
2.54	0.100	83.4	4.25	60.29	65.3	3.33	47.20	55.6	2.83	40.19
3.81	0.150	126.1	6.42	91.15	89.7	4.57	64.84	70.8	3.61	51.18
5.08	0.200	151.6	7.72	109.59	102.3	5.21	73.95	81.6	4.16	58.99
6.35	0.250	178.0	9.07	128.67	114.1	5.81	82.48	91.6	4.67	66.21
7.62	0.300	195.5	9.96	141.32	124.5	6.34	90.00	98.0	4.99	70.84
10.16	0.400	237.5	12.10	171.68	145.1	7.39	104.89	114.5	5.83	82.77
12.70	0.500	277.2	14.12	200.38	164.8	8.39	119.13	128.0	6.52	92.53

GRÁFICAS



PENETRACIÓN	Densidad	0.1 (*)	0.2 (*)	CBR(0.1)	CBR(0.2)
MOLDE 9	1.889	61.00	110.00	6.1	7.3
MOLDE 8	1.780	46.50	74.00	4.7	4.9
MOLDE 7	1.660	40.00	59.00	4.0	3.9

Datos de ensayo próctor: ASTM D 1557      Densidad máxima seca = 1.887 g/cm³  
Humedad óptima = 13.5 %

C.B.R. Para el 100% de la M.D.S. 0.1" =	6.1 %	0.2" =	7.3 %
C.B.R. Para el 95% de la M.D.S. 0.1" =	4.8 %	0.2" =	5.2 %



• Calicata 3

Tabla 35

Análisis Granulométrico (Calicata 3)

Análisis Granulométrico por Tamizado

ASTM D 422 / C136

Calicata	C-3	Fecha de Muestreo	08-Feb-19
Coordenadas	N: 9206300.563 E: 778821.729	Fecha de Ensayo	12-Feb-19
Progresiva	KM 1+873	Ensayado por	Ysis y Luis
Tipo de Material	Suelo Natural	Descripción del suelo	color marron claro

Nº	Tamiz mm	Peso Parcial Retenido (g)	Peso Acum. Retenido (g)	% Retenido Acumulado	% Que pasa Acumulado	Espezif. Téc. %	Min.	Máx.
22"	558.800							
20"	508.000							
18"	457.200							
15"	381.000							
14"	355.600							
12"	304.800							
10"	254.000							
9"	228.600							
8"	200.000							
6"	150.000		0	0.0	100.0			
4"	100.000		0	0.0	100.0			
3"	75.000	0	0	0.0	100.0			
2"	50.000	0	0	0.0	100.0			
1 1/2"	37.500	545	545	1.2	98.8			
1"	25.000	721	1266	2.7	97.3			
3/4"	19.000	560	1826	3.9	96.1			
1/2"	12.700	621	2447	5.3	94.7			
3/8"	9.500	462	2909	6.2	93.8			
Nº 4	4.750	1234	4143	8.9	91.1			
Nº 8	2.360	16.1	16.1	10.2	89.8			
Nº 10	2.000	3.1	19.1	10.4	89.6			
Nº 16	1.100	10.0	29.2	11.2	88.8			
Nº 20	0.850	8.5	37.7	11.8	88.2			
Nº 30	0.590	11.4	49.0	12.7	87.3			
Nº 40	0.425	23.6	72.6	14.6	85.4			
Nº 50	0.337	41.8	114.4	17.9	82.1			
Nº 60	0.250	37.6	152.0	20.8	79.2			
Nº 100	0.150	140.9	292.9	31.8	68.2			
Nº 200	0.075	163.1	456.0	44.6	55.4			
casoleta		19.8	475.8					

Temp. de Secado: 110°C / 60 °C / Ambiente  
Método: Horno / Microondas

Pesos de muestra total	
Peso Suelo Húmedo Que Pasa Nº4 (g)	46,772.0
(-) Peso Suelo Seco Que Pasa Nº4 (g)	42,404.4
(+) Peso Suelo Seco Retenido Nº4 (g)	4,143.0
Peso Total Seco (g)	46,547.4

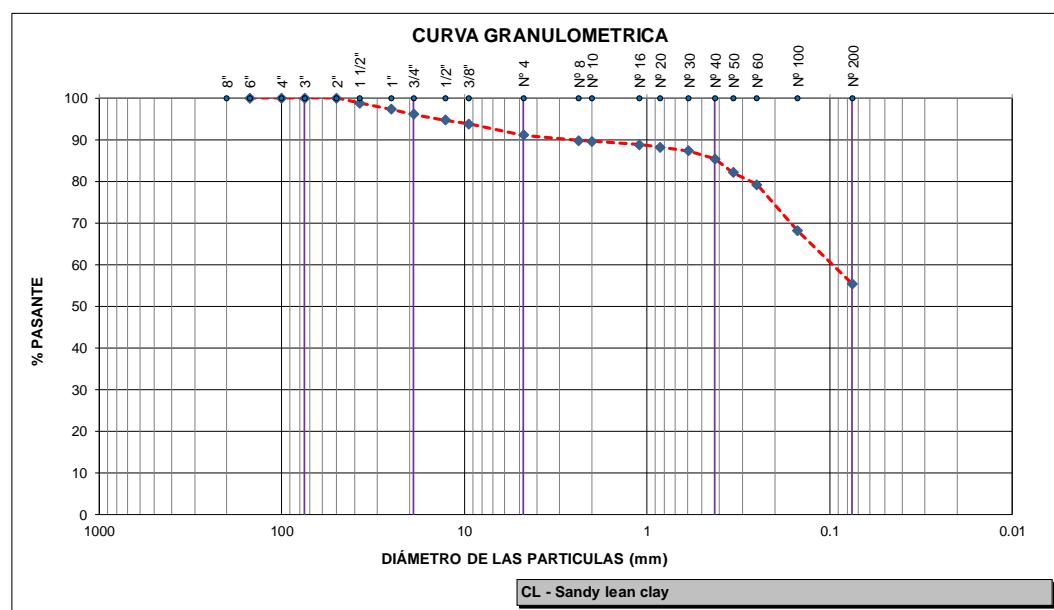
Peso seco para tamizado grueso (g)	46,547.4
Peso Seco para Tamizado Fino (g)	1,164.0

% de Humedad del cuarteo (Método Corrección)	
Nº Tara	T-156
Suelo Húmedo + Tara (g)	1,395.0
Suelo Seco + Tara (g)	1,275.0
Peso de tara (g)	111.0
Peso de agua (g)	120.0
Suelo seco (g)	1,164.0
% de >Humedad	10.3

(Met Lavado) Pasante de la Nº 4	
Nº Tara	T-156
Suelo Seco + Tara (g)	1,275.0
P.Seco. Desp.Lav + Tara (g)	586.81
Peso de Tara (g)	111.0
Perdida Muestra (g)	688.2
P.Seco. Desp.Lav (g)	475.8
% Bajo #200	53.9

Over: 0 % Gravas: 8.9 % Arenas: 35.7 % Finos: 55.4 %

Clasificación ( S.U.C.S. )	CL
Clasificación (AASHTO)	A-6 ( 6 )



**Tabla 36**

*Contenido de humedad natural (Calicata 3)*

**Contenido de Humedad**  
ASTM D 2216-98 ASTM D 4643-93

<b>Calicata</b>	C-3	<b>Fecha de Muestreo</b>	08-Feb-19
<b>Coordenadas</b>	N: 9206300.563 E: 778821.729	<b>Fecha de Ensayo</b>	08-Feb-19
<b>Progresiva</b>	KM 1+873	<b>Ensayado por</b>	Ysis y Luis
<b>Tipo de Material</b>	Suelo Natural	<b>Descripción del suelo</b>	color marron claro

Determinación de la Humedad					Temp. de Secado Preparación Muestra Ambiente / 60 °C / 110°C
Nº Muestra	1	2	3	4	
Descripción del Suelo					Método Horno / Microondas
Nº Recipiente (Tara)	T-05	T-016	T-018		
Tara + Suelo Húmedo A	5594.0	5604.0	5587.0		w = 15.2 %
Tara + Suelo Seco B	4920.0	4932.0	4912.0		
Tara C	494.0	489.0	498.0		
Peso de Agua D, A-B	674.0	672.0	675.0		
Suelo Seco, Ws E, B-C	4426.0	4443.0	4414.0		
Porc. Humedad (%) (D / E) x100	15.23	15.12	15.29		

**Contenido de Humedad (grava)**  
ASTM D 2216-98 ASTM D 4643-93

<b>Calicata</b>	C-3	<b>Fecha de Muestreo</b>	08-Feb-19
<b>Coordenadas</b>	N: 9206300.563 E: 778821.729	<b>Fecha de Ensayo</b>	08-Feb-19
<b>Progresiva</b>	KM 1+873	<b>Ensayado por</b>	Ysis y Luis
<b>Tipo de Material</b>	Suelo Natural	<b>Descripción del suelo</b>	color marron claro

Determinación de la Humedad					Temp. de Secado Preparación Muestra Ambiente / 60 °C / 110°C
Nº Muestra	1	2	3	4	
Descripción del Suelo					Método Horno / Microondas
Nº Recipiente (Tara)	T-113	T-121	T-134		
Tara + Suelo Húmedo A	1293.0	1323.0	1276.0		w = 0.70 %
Tara + Suelo Seco B	1285.0	1312.0	1270.0		
Tara C	109.0	105.0	102.0		
Peso de Agua D, A-B	8.0	11.0	6.0		
Suelo Seco, Ws E, B-C	1176.0	1207.0	1168.0		
Porc. Humedad (%) (D / E) x100	0.68	0.91	0.5		

**Tabla 37**

*Límites de Atterberg (Calicata 3)*

**Límites de Atterberg**  
ASTM D 4318 - 93

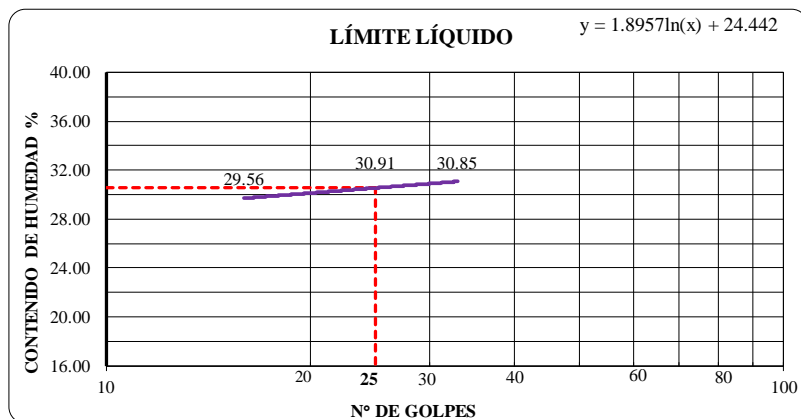
<b>Calicata</b>	C-3	<b>Fecha de Muestreo</b>	08-Feb-19
<b>Coordenadas</b>	N: 9206300.563 E: 778821.729	<b>Fecha de Ensayo</b>	13-Feb-19 al 14-Feb-19
<b>Progresiva</b>	KM 1+873	<b>Ensayado por</b>	Ysis y Luis
<b>Tipo de Material</b>	Suelo Natural	<b>Descripción del suelo</b>	color marron claro

Determinación Límite Líquido (LL)				
Ident. Bandeja (Nº)	B-04	L-07	B-03	-
Suelo Húmedo + Tara (g)	35.59	44.52	35.84	-
Suelo Seco + Tara (g)	30.63	39.55	30.63	-
Peso de Tara (g)	13.85	23.47	13.74	-
Peso del Agua (g)	4.96	4.97	5.21	-
Peso Suelo Seco (g)	16.78	16.08	16.89	-
Número de Golpes (N)	16	25	33	-
Contenido de Humedad (%)	29.56	30.91	30.85	-
Promedio Límite Líquido (LL)				30.50
Determinación Límite Plástico (PL)				
Ident. Bandeja (Nº)	B-9	T-2		-
Suelo Húmedo+ Tara (g)	33.83	32.42		-
Suelo Seco + Tara (g)	31.28	29.92		-
Peso de Tara (g)	16.62	14.27		-
Peso del Agua (g)	2.55	2.50		-
Peso Suelo Seco (g)	14.66	15.65		-
Contenido Humedad (%)	17.39	15.97		-
Promedio Límite Plástico (PL)				16.70

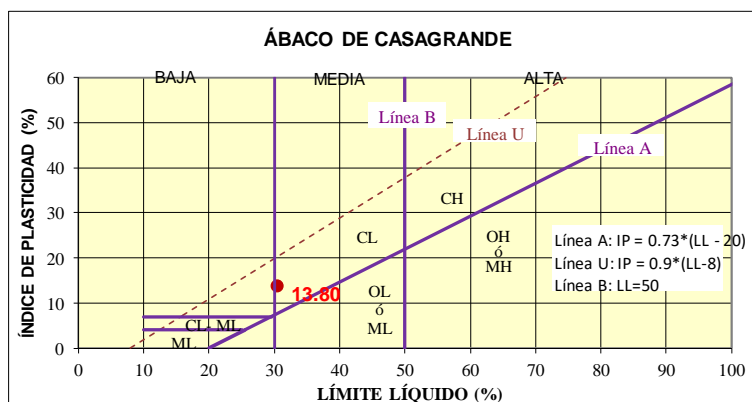
**Temp. de Secado**  
Preparación Muestra  
60 °C / Ambiente

**Contenido de Humedad**  
60 °C / 110 °C

Cuadro Resumen	
Límite Líquido (%)	30.50
Límite Plástico (%)	16.70
Índice de Plasticidad (%)	13.80
IP = LL-LP	



Nº. Golpes N	Factor K
20	0.974
21	0.979
22	0.985
23	0.990
24	0.995
25	1.000
26	1.005
27	1.009
28	1.014
29	1.018
30	1.022



Mayor Resistencia Seca  
Mayor Tenacidad en LP  
Menor Pemiabilidad  
Igual Comprensibilidad



Menor Resistencia Seca  
Menor Tenacidad en LP  
Mayor Pemiabilidad  
Mayor Comprensibilidad

**Tabla 38**

*Gravedad Específica y Absorción del Agregado Grueso (Calicata 3)*

**Gravedad Específica y Absorción del Agregado Grueso**  
ASTM C 127

Calicata	C-3
Coordenadas	N: 9206300.563 E: 778821.729
Progresiva	KM 2
Tipo de Material	Suelo Natural

Fecha de Muestreo	08-Feb-19
Fecha de Ensayo	13-Feb-19 al 15-Feb-19
Ensayado por	Ysis y Luis
Descripción del suelo	Suelo Natural

Determinación de la Gravedad específica		
Nº Recipiente (Tara)	T-03	
Peso Agregado Saturado Superficial Seco + Tara (g)	4346	
Peso Agregado Seco + Tara (g)	4302	
Peso Tara (g)	484	
Peso Agregado Saturado Superficial Seco (g)	B	3862.0
Peso Agregado Seco (g)	A	3818.0
Peso Agregado + Canastilla sumergida		3322.0
Peso Canastilla sumergida		970.0
Peso Agregado Sumergido (g)	C	2352.0
Gravedad Especifica Bulk	A / (B-C)	2.528
Gravedad Especifica Bulk SSS	B / (B-C)	2.558
Gravedad Especifico Aparente	A / (A-C)	2.604
Absorción (%)	100*(B-A) / A	1.15
Promedio de Gravedad Especifica Bulk		2.528
Promedio de Absorción (%)		1.2

Tabla 39

Relación densidad vs Humedad del suelo natural (Calicata 3)

Relación Densidad Vs Humedad (Próctor Modificado)

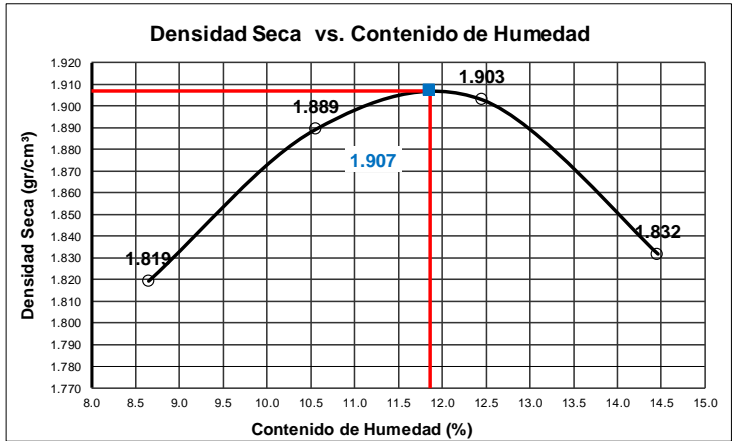
ASTM D 698 / 1557

Calicata	C-3		Fecha de Muestreo	08-Feb-19	
Coordenadas	N: 9206300.563 E: 778821.729		Fecha de Ensayo	25-Feb-19 al 27-Feb-19	
Progresiva	KM 1+873		Ensayado por	Ysis y Luis	
Tipo de Material	Suelo Natural		Descripción del suelo	color marron claro	

DETERMINACIÓN		1	2	3	4	
Contenido de agua (%)		8%	10%	12%	14%	
Peso Molde + material húmedo (g)		5625	5731	5779	5738	
Peso del molde (g)		3765.0	3765.0	3765.0	3765.0	
Peso de material húmedo (g)		1860	1966	2014	1973	
Volumen del molde molde (cm3)		941.1	941.1	941.1	941.1	
Densidad húmeda (g/cm3)		1.976	2.089	2.140	2.096	

Numero de cápsula		T-121	T-005	T-102	T-151	
Cápsula + material húmedo (g)		737.0	739.0	749.0	754.0	
Cápsula + material seco (g)		687.0	679.0	678.0	672.0	
Peso del agua (g)		50.0	60.0	71.0	82.0	
Peso de la cápsula (g)		109.0	111.0	108.0	105.0	
Peso de suelo seco (g)		578.0	568.0	570.0	567.0	
Contenido de agua (%)		8.7	10.6	12.5	14.5	
Densidad seca (g/cm3)		1.819	1.889	1.903	1.832	

Método	A	Molde	4"	Pisón Próctor	Estándar	T° Secado	60°C	Norma ASTM
	B		6"		Modificado		110°C	
	C		Otro		Otro		Estufa	
Clasificación SUCS :		0.00	Volumen Molde(CC)	941.1	Peso molde(g)	3765.0		



DENSIDAD MAXIMA (gr/cm3)	1.907
HUMEDAD OPTIMA %	11.9
DENSIDAD MAX. CORREGIDA (gr/cm3)	1.925
HUMEDAD OPTIMA CORREGIDA%	11.4

## Tabla 40

### *Corrección del peso unitario y contenido de humedad para suelos que contienen partículas de sobre tamaño (Calicata 3)*

Corrección del peso unitario y contenido de humedad para suelos que contienen partículas de sobretamaño  
ASTM D 4718

Calicata	C-3	Fecha de Muestreo	
Coordenadas	N: 9206300.563 E: 778821.729	Fecha de Ensayo	
Progresiva	KM 1+873	Ensayado por	Ysis y Luis
Tipo de Material	Suelo Natural	Descripción del suelo	color marron claro

#### Corrección para el Contenido de Humedad (MC) - Muestra Total

Porcentaje de la Fracción de Sobretamaño (Máx. 30%)	(%)	A	3.9
Contenido de Humedad de la Fracción de Sobretamaño	(%)	C	0.7
Porcentaje de la Fracción Fina	(%)	B	96.1
Óptimo Contenido de Humedad de la Fracción fina	(%)	E	11.9
Óptimo Contenido de Humedad Corregido (%)	(%)	$H=(A*C+B*E)/100$	11.4

#### Corrección para Máxima Densidad Seca de Muestra Total

Máxima Densidad Seca de la Fracción Fina	(g/cc)	F	1.9
Bulk Specific Gravity		D	2.5
Peso Específico del Agua (T° 20°C)	(g/cc)	G	1.0
Máxima Densidad Seca Corregida (g/cc)	(g/cc)	$I=100*D*F*G/(A*F+B*D*G)$	1.925

Observaciones: .....

**Tabla 41**

*Ensayo de CBR del suelo natural (Calicata 3)*

**RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)**  
(NORMA AASHTO T-193, ASTM D 1883)

**DATOS DE LA MUESTRA**

<b>Calicata</b>	: C-3	<b>Fecha muestreo</b>	: #####
<b>Progresiva</b>	: Km 1+873	<b>Muestreo</b>	: YSIS
<b>Tipo de material</b>	: SUELO NATURAL	<b>Descripción</b>	: COLOR MARRÓN CLARO

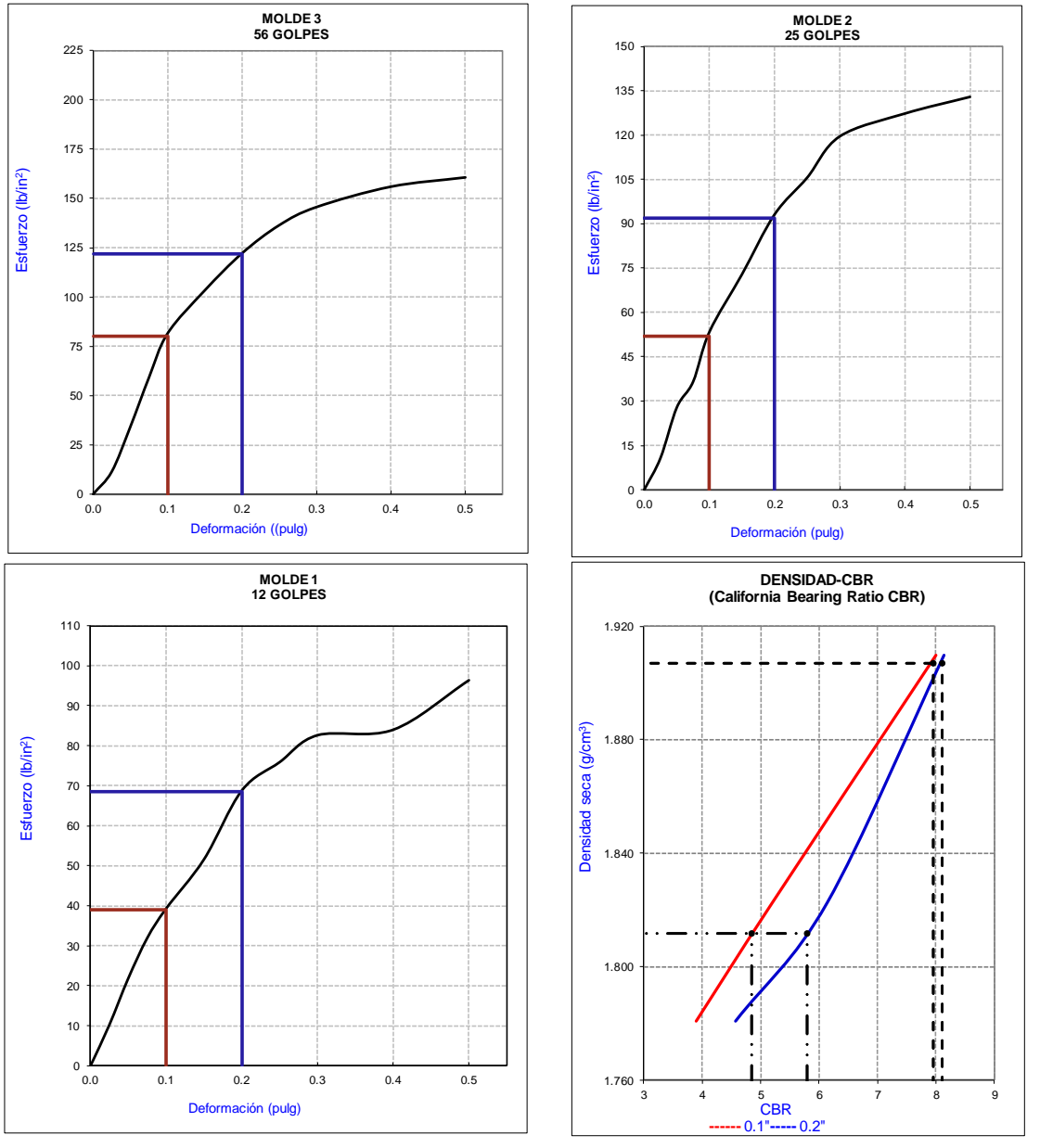
COMPACTACION CBR						
MOLDE	3		2		1	
Altura Molde mm.	118		118		118	
N° Capas	5		5		5	
N°Golp x Capa	56		25		12	
<b>Condición de la muestra</b>	<b>NO SATURADO</b>	<b>SATURADO</b>	<b>NO SATURADO</b>	<b>SATURADO</b>	<b>NO SATURADO</b>	<b>SATURADO</b>
Masa de molde + Suelo húmedo (g)	13136.50	13285.00	12879.50	13125.50	12780.00	13026.00
Masa de molde (g)	8632.00	8632.00	8554.00	8554.00	8561.00	8561.00
Masa del suelo húmedo (g)	4504.50	4653.00	4325.50	4571.50	4219.00	4465.00
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2121.38	2121.38	2134.31	2134.31	2132.49	2132.49
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2.123</b>	<b>2.193</b>	<b>2.027</b>	<b>2.142</b>	<b>1.978</b>	<b>2.094</b>

HUMEDADES						
Masa suelo húmedo + tara (g)	435.90	598.10	443.20	609.90	457.10	581.70
Masa suelo seco + tara (g)	395.20	532.40	401.70	531.00	414.70	505.80
Masa de tara (g)	31.30	33.00	31.40	33.80	32.90	30.60
Masa de agua (g)	40.70	65.70	41.50	78.90	42.40	75.90
Masa de suelo seco (g)	363.90	499.40	370.30	497.20	381.80	475.20
Contenido de humedad (%)	11.18%	13.16%	11.21%	15.87%	11.11%	15.97%
<b>Contenido de humedad promedio</b>	<b>11.18%</b>	<b>13.16%</b>	<b>11.21%</b>	<b>15.87%</b>	<b>11.11%</b>	<b>15.97%</b>
<b>Densidad seca (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.910</b>	<b>1.938</b>	<b>1.822</b>	<b>1.849</b>	<b>1.781</b>	<b>1.805</b>

HINCHAMIENTO										
TIEMPO ACUMULADO		MOLDE N° 3			MOLDE N° 2			MOLDE N° 1		
		LECTURA	HINCHAMIENTO		LECTURA	HINCHAMIENTO		LECTURA	HINCHAMIENTO	
Horas	Días	DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	1.194	1.194	1.01	1.626	1.626	1.38	2.159	2.159	1.83
48	2	1.575	1.575	1.33	1.956	1.956	1.66	2.337	2.337	1.98
72	3	1.727	1.727	1.46	2.108	2.108	1.79	2.388	2.388	2.02
96	4	1.778	1.778	1.51	2.184	2.184	1.85	2.413	2.413	2.04

ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN										
PENETRACION		MOLDE N° 3			MOLDE N° 2			MOLDE N° 1		
(mm)	(in.)	CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO	
			kg/cm <sup>2</sup>	lb/in. <sup>2</sup>		kg/cm <sup>2</sup>	lb/in. <sup>2</sup>		kg/cm <sup>2</sup>	lb/in. <sup>2</sup>
0.00	0.000	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.64	0.025	15.8	0.80	11.42	14.9	0.76	10.77	14.2	0.72	10.26
1.27	0.050	47.3	2.41	34.19	38.5	1.96	27.83	30.3	1.54	21.90
1.91	0.075	81.8	4.17	59.13	50.5	2.57	36.50	44.2	2.25	31.95
2.54	0.100	112.7	5.74	81.47	73.8	3.76	53.35	54.4	2.77	39.32
3.81	0.150	142.9	7.28	103.30	100.7	5.13	72.79	71.4	3.64	51.61
5.08	0.200	168.9	8.60	122.09	128.7	6.55	93.03	95.2	4.85	68.82
6.35	0.250	188.6	9.61	136.33	145.9	7.43	105.47	105.0	5.35	75.90
7.62	0.300	201.3	10.25	145.51	165.2	8.41	119.42	114.3	5.82	82.62
10.16	0.400	215.6	10.98	155.85	175.9	8.96	127.15	116.2	5.92	84.00
12.70	0.500	222.1	11.31	160.55	183.7	9.36	132.79	133.3	6.79	96.36

GRÁFICAS



PENETRACIÓN	Densidad	0.1 (*)	0.2 (*)	CBR(0.1)	CBR(0.2)
MOLDE 9	1.910	80.00	122.00	8.0	8.1
MOLDE 8	1.822	52.00	92.00	5.2	6.1
MOLDE 7	1.781	39.00	68.50	3.9	4.6

Datos de ensayo próctor: ASTM D 1557

Densidad máxima seca = 1.907 g/cm<sup>3</sup>

Humedad óptima = 11.9 %

C.B.R. Para el 100% de la M.D.S.	0.1" = 8.0 %	0.2" = 8.1 %
C.B.R. Para el 95% de la M.D.S.	0.1" = 4.9 %	0.2" = 5.8 %

## Apéndice 2: Resultados de los ensayos de laboratorio del suelo tratado – Pruebas de compactación (proctor modificado) y CBR

### • Calicata 1

**Tabla 42**

*Ensayo Proctor del suelo con 3% de cal (Calicata 1)*

Relación Densidad Vs Humedad (Próctor Modificado)

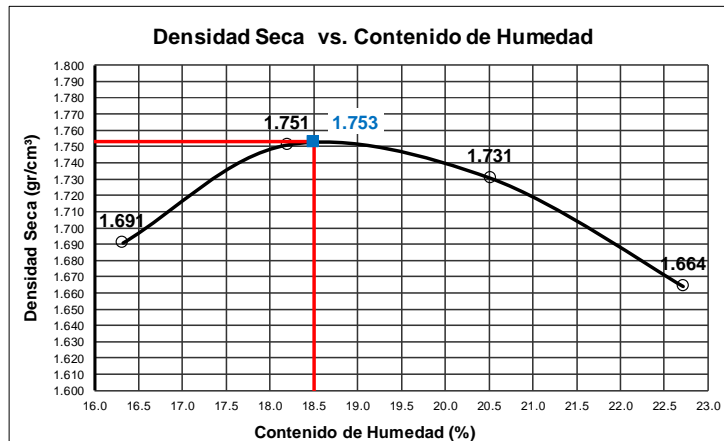
ASTM D 698 / 1557

Calicata	C-1		Fecha de Muestreo	17-Feb-19	
Coordenadas	N: 9203851.917	E: 778875.357	Fecha de Ensayo	8-Mar-19	al 11-Mar-19
Progresiva	KM 0+033		Ensayado por	Ysis y Luis	
Tipo de Material	Suelo + 3%cal		Descripción del suelo	Color Amarillo	

DETERMINACIÓN	1	2	3	4
Contenido de agua (%)	16%	18%	20%	22%
Peso Molde + material húmedo (g)	5616	5713	5728	5687
Peso del molde (g)	3765.0	3765.0	3765.0	3765.0
Peso de material húmedo (g)	1851	1948	1963	1922
Volumen del molde molde (cm <sup>3</sup> )	941.1	941.1	941.1	941.1
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	1.967	2.070	2.086	2.042

Numero de cápsula	T-18	T-19	T-20	T-01
Cápsula + material húmedo (g)	753.0	771.0	793.0	723.0
Cápsula + material seco (g)	659.0	668.0	675.2	606.0
Peso del agua (g)	94.0	103.0	117.8	117.0
Peso de la cápsula (g)	83.0	102.0	101.0	91.0
Peso de suelo seco (g)	576.0	566.0	574.2	515.0
Contenido de agua (%)	16.3	18.2	20.5	22.7
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.691	1.751	1.731	1.664

Método	A	Molde	4"	Pisón	Estándar	T° Secado	60°C	Norma ASTM
	B		6"	Próctor	Modificado		110°C	698
	C		Otro		Otro		Estufa	1557
Clasificación SUCS	CL		Volumen Molde(CC)	941.1	Peso molde(g)	3765.0		



DENSIDAD MAXIMA (gr/cm <sup>3</sup> )	1.753
HUMEDAD OPTIMA %	18.5
DENSIDAD MAX. CORREGIDA (gr/cm <sup>3</sup> )	1.766
HUMEDAD OPTIMA CORREGIDA%	18.1



**Tabla 43**

**Ensayo Proctor del suelo con 3% de cal y 5% de melaza (Calicata 1)**

Relación Densidad Vs Humedad (Próctor Modificado)

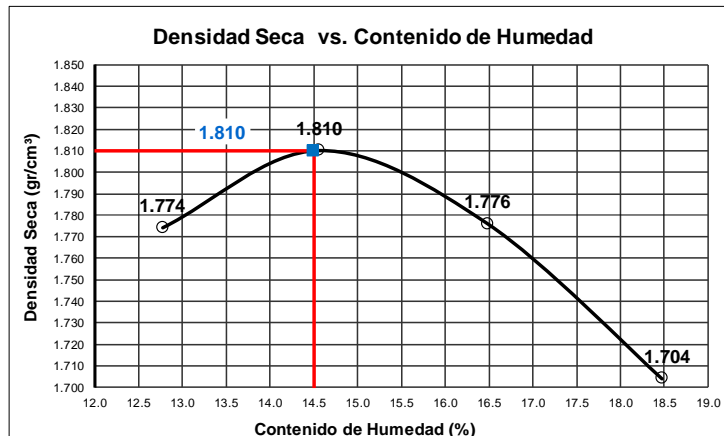
ASTM D 698 / 1557

Calicata	C-1		Fecha de Muestreo	17-Feb-19	
Coordenadas	N: 9203851.917	E: 778875.357	Fecha de Ensayo	9-Mar-19	al 11-Mar-19
Progresiva	KM 0+033		Ensayado por	Ysis y Luis	
Tipo de Material	Suelo + 3%Cal + 5%Melaza		Descripción del suelo	Color Amarillo	

DETERMINACIÓN	1	2	3	4	
Contenido de agua (%)	6%	8%	10%	12%	
Peso Molde + material húmedo (g)	5648	5717	5712	5665	
Peso del molde (g)	3765.0	3765.0	3765.0	3765.0	
Peso de material húmedo (g)	1883	1952	1947	1900	
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	941.1	941.1	941.1	941.1	
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.001	2.074	2.069	2.019	

Numero de cápsula	T-22	T-23	T-16	T-21	
Cápsula + material húmedo (g)	763.0	724.0	748.0	756.0	
Cápsula + material seco (g)	688.0	642.0	657.0	654.0	
Peso del agua (g)	75.0	82.0	91.0	102.0	
Peso de la cápsula (g)	101.0	79.0	105.0	102.0	
Peso de suelo seco (g)	587.0	563.0	552.0	552.0	
Contenido de agua (%)	12.8	14.6	16.5	18.5	
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.774	1.810	1.776	1.704	

Método	A	Molde	4"	Pisón Próctor	Estándar	T° Secado	60°C	Norma ASTM
	B		6"		Modificado		110°C	
	C		Otro		Otro		Estufa	
Clasificación SUCS :	CL	Volumen Molde(CC)	941.1	Peso molde(g)	3765.0			



DENSIDAD MAXIMA (gr/cm <sup>3</sup> )	1.810
HUMEDAD OPTIMA %	14.5
DENSIDAD MAX. CORREGIDA (gr/cm <sup>3</sup> )	1.822
HUMEDAD OPTIMA CORREGIDA%	14.2

Tabla 44

Ensayo Proctor del suelo con 3% de cal y 8% de melaza (Calicata 1)

Relación Densidad Vs Humedad (Próctor Modificado)

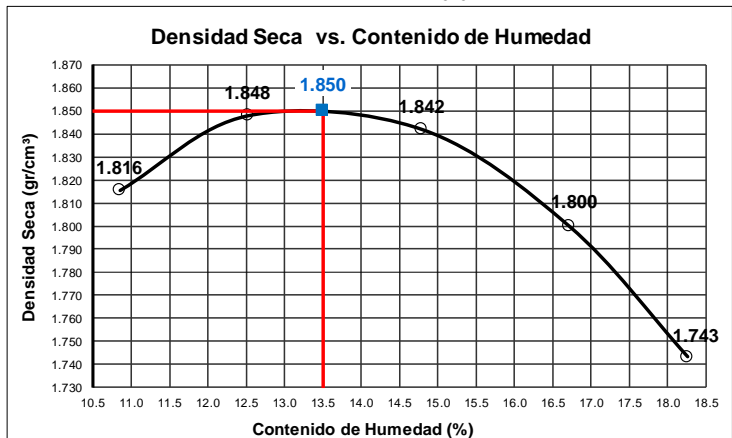
ASTM D 698 / 1557

Calicata	C-1		Fecha de Muestreo	17-Feb-19	
Coordenadas	N: 9203851.917	E: 778875.357	Fecha de Ensayo	11-Mar-19	al 13-Mar-19
Progresiva	KM 0+033		Ensayado por	Ysis y Luis	
Tipo de Material	Suelo + 3%Cal + 8%Melaza		Descripción del suelo	Color Amarillo	

DETERMINACIÓN	1	2	3	4	5
Contenido de agua (%)	4%	6%	8%	10%	12%
Peso Molde + material húmedo (g)	5659	5722	5755	5742	5705
Peso del molde (g)	3765.0	3765.0	3765.0	3765.0	3765.0
Peso de material húmedo (g)	1894	1957	1990	1977	1940
Volumen del molde (cm3)	941.1	941.1	941.1	941.1	941.1
Densidad húmeda (g/cm3)	2.013	2.079	2.115	2.101	2.061

Numero de cápsula			T-22	T-02	T-04	T-05	T-13	
Cápsula + material húmedo (g)			766.0	739.0	730.0	776.0	755.0	
Cápsula + material seco (g)			701.0	668.0	648.3	676.9	652.8	
Peso del agua (g)			65.0	71.0	81.7	99.1	102.2	
Peso de la cápsula (g)			102.0	101.0	96.0	84.0	93.0	
Peso de suelo seco (g)			599.0	567.0	552.3	592.9	559.8	
Contenido de agua (%)			10.9	12.5	14.8	16.7	18.3	
Densidad seca (g/cm3)			1.816	1.848	1.842	1.800	1.743	
Método	A	Molde	4"	Pisón Próctor	Estándar	T° Secado	60°C	Norma ASTM
	B		6"		Modificado		110°C	
	C		Otro		Otro		Estufa	
Clasificación SUCS :		CL	Volumen Molde(CC)		941.1	Peso molde(g)		

1675



DENSIDAD MAXIMA (gr/cm3)	1.850
HUMEDAD OPTIMA %	13.5
DENSIDAD MAX. CORREGIDA (gr/cm3)	1.862
HUMEDAD OPTIMA CORREGIDA%	13.2

**Tabla 45**

**Ensayo Proctor del suelo con 3% de cal y 11% de melaza (Calicata 1)**

Relación Densidad Vs Humedad (Próctor Modificado)

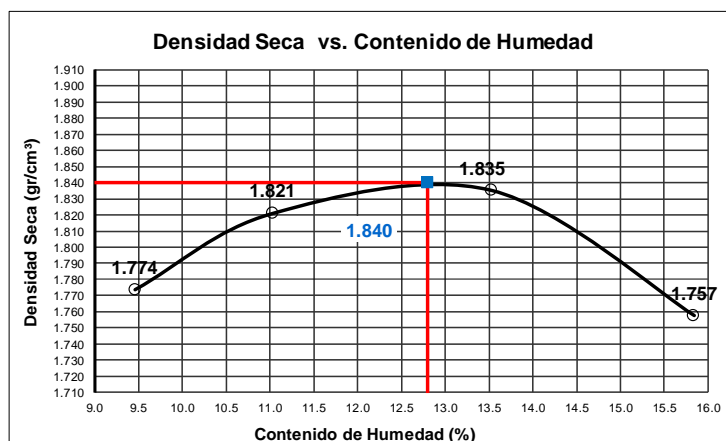
ASTM D 698 / 1557

Calicata	C-1		Fecha de Muestreo	17-Feb-19	
Coordenadas	N: 9203851.917	E: 778875.357	Fecha de Ensayo	12-Mar-19	al 14-Mar-19
Progresiva	KM 0+033		Ensayado por	Ysis y Luis	
Tipo de Material	Suelo + 3%Cal + 11%Melaza		Descripción del suelo	Color Amarillo	

DETERMINACIÓN	1	2	3	4	
Contenido de agua (%)	0%	2%	4%	6%	
Peso Molde + material húmedo (g)	5592	5668	5726	5681	
Peso del molde (g)	3765.0	3765.0	3765.0	3765.0	
Peso de material húmedo (g)	1827	1903	1961	1916	
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	941.1	941.1	941.1	941.1	
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	1.941	2.022	2.084	2.036	

Numero de cápsula	T-16	T-14	T-15	T-13	
Cápsula + material húmedo (g)	756.3	776.2	748.6	713.8	
Cápsula + material seco (g)	700.1	708.5	667.5	628.9	
Peso del agua (g)	56.2	67.7	81.1	84.9	
Peso de la cápsula (g)	106.0	95.0	68.0	93.0	
Peso de suelo seco (g)	594.1	613.5	599.5	535.9	
Contenido de agua (%)	9.5	11.0	13.5	15.8	
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.774	1.821	1.835	1.757	

Método	A	Molde	4"	Pisón Próctor	Estándar	T° Secado	60°C	Norma ASTM
	B		6"		Modificado		110°C	
	C		Otro		Otro		Estufa	
Clasificación SUCS :	CL	Volumen Molde(CC)	941.1	Peso molde(g)	3765.0			



DENSIDAD MAXIMA (gr/cm <sup>3</sup> )	1.840
HUMEDAD OPTIMA %	12.8
DENSIDAD MAX. CORREGIDA (gr/cm <sup>3</sup> )	1.852
HUMEDAD OPTIMA CORREGIDA%	12.5

**Tabla 46**

*Ensayo de CBR del suelo con 3% de cal (Calicata 1)*

**RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)**

(NORMA AASHTO T-193, ASTM D 1883)

**DATOS DE LA MUESTRA**

<b>Calicata</b>	: C-1	<b>Fecha muestreo</b>	: 24/08/2020
<b>Progresiva</b>	: Km 0+033	<b>Muestreo:</b>	YSIS
<b>Tipo de material</b>	: SUELO NATURAL+3%CAL	<b>Descripción:</b>	COLOR AMARILLO

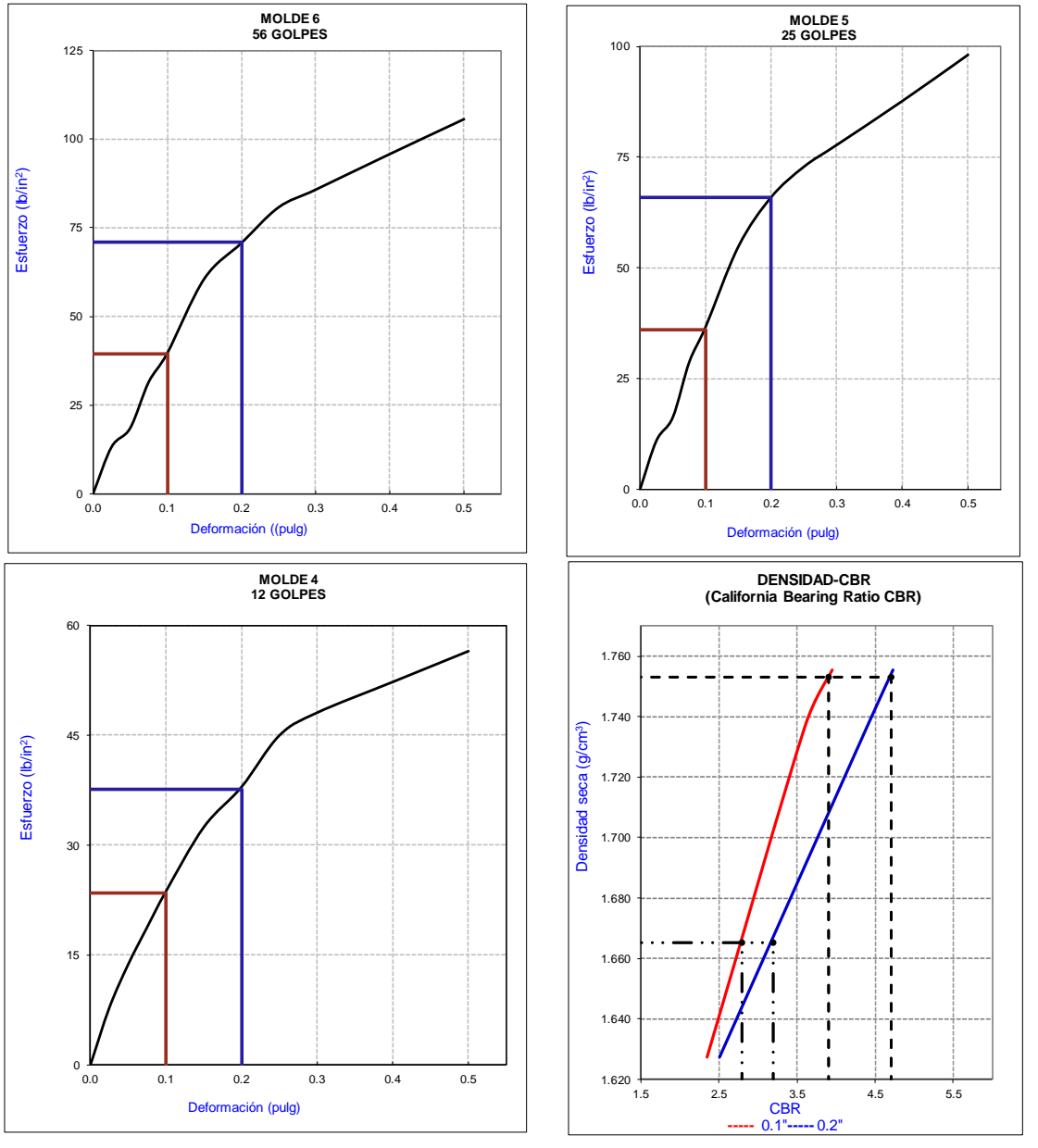
COMPACTACION CBR						
MOLDE	6		5		4	
Altura Molde mm.	118		118		118	
N° Capas	5		5		5	
N°Golp x Capa	56		25		12	
<b>Condición de la muestra</b>	<b>NO SATURADO</b>	<b>SATURADO</b>	<b>NO SATURADO</b>	<b>SATURADO</b>	<b>NO SATURADO</b>	<b>SATURADO</b>
Masa de molde + Suelo húmedo (g)	12849.50	12970.00	13036.00	13211.50	12887.00	13297.50
Masa de molde (g)	8395.00	8395.00	8646.00	8646.00	8799.50	8799.50
Masa del suelo húmedo (g)	4454.50	4575.00	4390.00	4565.50	4087.50	4498.00
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2150.18	2150.18	2130.82	2130.82	2122.61	2122.61
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2.072</b>	<b>2.128</b>	<b>2.060</b>	<b>2.143</b>	<b>1.926</b>	<b>2.119</b>

HUMEDADES						
Masa suelo húmedo + tara (g)	538.60	889.40	511.10	795.80	444.80	642.40
Masa suelo seco + tara (g)	461.50	733.50	436.40	654.50	380.20	527.50
Masa de tara (g)	33.60	31.60	35.60	35.60	27.80	28.20
Masa de agua (g)	77.10	155.90	74.70	141.30	64.60	114.90
Masa de suelo seco (g)	427.90	701.90	400.80	618.90	352.40	499.30
Contenido de humedad (%)	18.02%	22.21%	18.64%	22.83%	18.33%	23.01%
<b>Contenido de humedad promedio</b>	<b>18.02%</b>	<b>22.21%</b>	<b>18.64%</b>	<b>22.83%</b>	<b>18.33%</b>	<b>23.01%</b>
<b>Densidad seca (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.755</b>	<b>1.741</b>	<b>1.737</b>	<b>1.744</b>	<b>1.627</b>	<b>1.723</b>

HINCHAMIENTO										
TIEMPO ACUMULADO		MOLDE N° 6			MOLDE N° 5			MOLDE N° 4		
		LECTURA	HINCHAMIENTO		LECTURA	HINCHAMIENTO		LECTURA	HINCHAMIENTO	
Horas	Días	DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	3.835	3.835	3.25	6.350	6.350	5.38	7.696	7.696	6.52
48	2	4.699	4.699	3.98	6.731	6.731	5.70	8.778	8.778	7.44
72	3	5.105	5.105	4.33	7.569	7.569	6.41	9.208	9.208	7.80
96	4	5.715	5.715	4.84	7.747	7.747	6.57	9.601	9.601	8.14

ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN										
PENETRACION		MOLDE N° 6			MOLDE N° 5			MOLDE N° 4		
(mm)	(in.)	CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO	
			kg/cm <sup>2</sup>	lb/in. <sup>2</sup>		kg/cm <sup>2</sup>	lb/in. <sup>2</sup>		kg/cm <sup>2</sup>	lb/in. <sup>2</sup>
0.00	0.000	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.64	0.025	18.3	0.93	13.23	15.2	0.77	10.99	10.8	0.55	7.81
1.27	0.050	25.6	1.30	18.51	22.5	1.15	16.26	19.0	0.97	13.73
1.91	0.075	43.6	2.22	31.52	39.7	2.02	28.70	26.0	1.32	18.79
2.54	0.100	54.8	2.79	39.61	50.7	2.58	36.65	32.8	1.67	23.71
3.81	0.150	83.9	4.27	60.65	75.8	3.86	54.79	44.9	2.29	32.46
5.08	0.200	97.8	4.98	70.70	91.2	4.64	65.93	52.5	2.67	37.95
6.35	0.250	111.7	5.69	80.74	100.7	5.13	72.79	62.2	3.17	44.96
7.62	0.300	118.6	6.04	85.73	107.5	5.47	77.71	66.5	3.39	48.07
10.16	0.400	132.5	6.75	95.78	121.2	6.17	87.61	72.3	3.68	52.26
12.70	0.500	146.1	7.44	105.61	135.6	6.91	98.02	78.1	3.98	56.46

GRÁFICAS



PENETRACIÓN	Densidad	0.1 (*)	0.2 (*)	CBR(0.1)	CBR(0.2)
<b>MOLDE 6</b>	1.755	39.50	71.00	<b>4.0</b>	<b>4.7</b>
<b>MOLDE 5</b>	1.737	36.00	66.00	<b>3.6</b>	<b>4.4</b>
<b>MOLDE 4</b>	1.627	23.50	37.60	<b>2.4</b>	<b>2.5</b>

Datos de ensayo próctor: **ASTM D 1557**      Densidad máxima seca = **1.753 g/cm³**  
 Humedad óptima = **18.5 %**

C.B.R. Para el 100% de la M.D.S. 0.1" = <b>3.9 %</b>	0.2" = <b>4.7 %</b>
C.B.R. Para el 95% de la M.D.S. 0.1" = <b>2.8 %</b>	0.2" = <b>3.2 %</b>

**Tabla 47**

*Ensayo de CBR del suelo con 3% de cal y 5% de melaza (Calicata 1)*

**RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)**

(NORMA AASHTO T-193, ASTM D 1883)

**DATOS DE LA MUESTRA**

<b>Calicata</b>	: C-1	<b>Fecha muestreo</b>	: 19/10/2020
<b>Progresiva</b>	: Km 0+033	<b>Muestreo:</b>	: YSIS
<b>Tipo de material</b>	: SUELO NATURAL+3%CAL+5%MELAZA	<b>Descripción:</b>	: COLOR AMARILLO

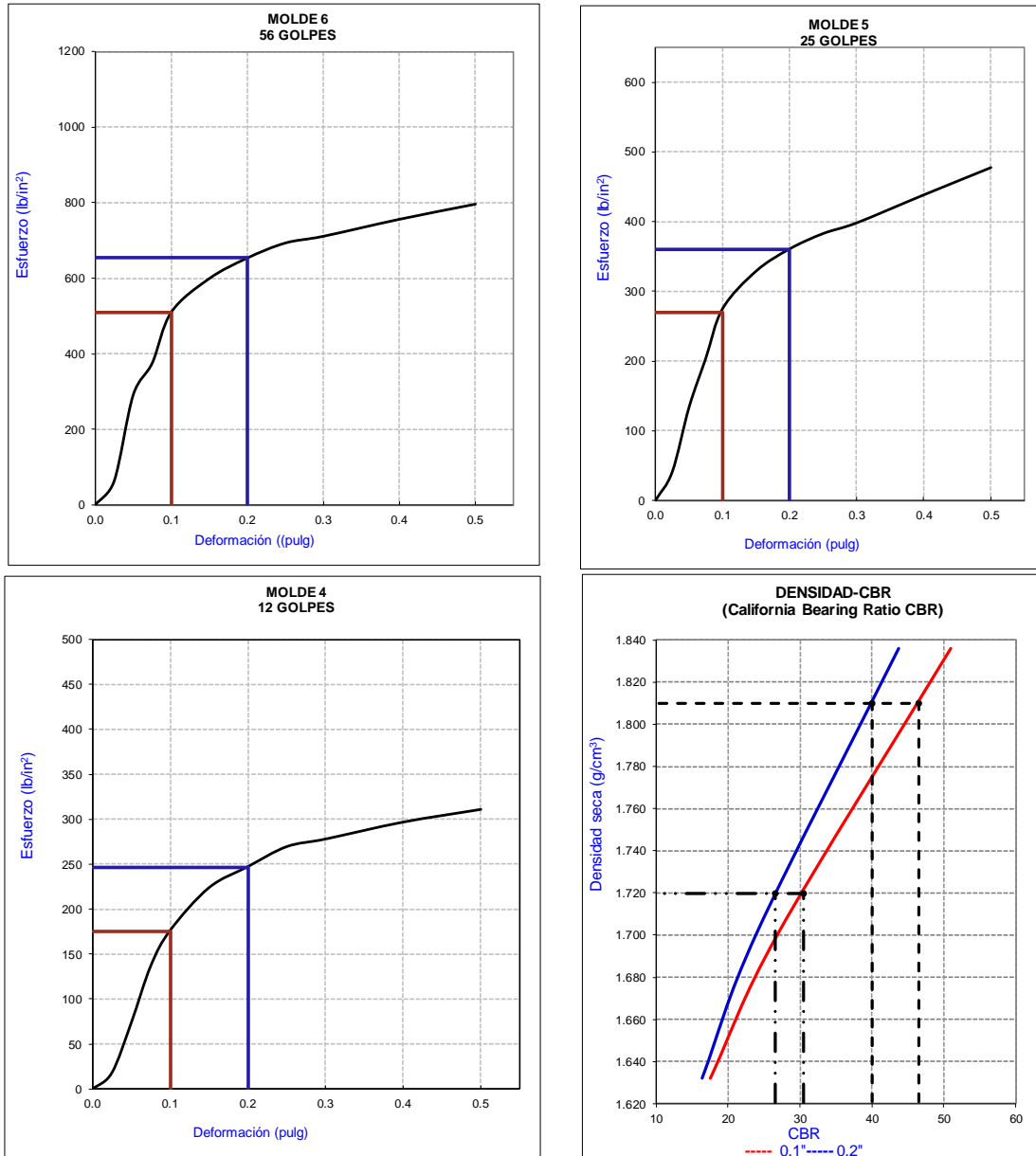
COMPACTACION CBR						
<b>MOLDE</b>	<b>6</b>		<b>5</b>		<b>4</b>	
Altura Molde mm.	118		118		118	
N° Capas	<b>5</b>		<b>5</b>		<b>5</b>	
N° Golp x Capa	<b>56</b>		<b>25</b>		<b>12</b>	
<b>Condición de la muestra</b>	<b>NO SATURADO</b>	<b>SATURADO</b>	<b>NO SATURADO</b>	<b>SATURADO</b>	<b>NO SATURADO</b>	<b>SATURADO</b>
Masa de molde + Suelo húmedo (g)	12915.00	12906.50	12792.50	13009.50	12766.50	13130.50
Masa de molde (g)	8395.00	8395.00	8646.00	8646.00	8799.50	8799.50
Masa del suelo húmedo (g)	4520.00	4511.50	4146.50	4363.50	3967.00	4331.00
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2150.18	2150.18	2130.82	2130.82	2122.61	2122.61
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2.102</b>	<b>2.098</b>	<b>1.946</b>	<b>2.048</b>	<b>1.869</b>	<b>2.040</b>

HUMEDADES						
Masa suelo húmedo + tara (g)	467.50	478.90	450.00	466.40	464.30	457.30
Masa suelo seco + tara (g)	412.50	413.00	397.80	398.10	409.40	383.70
Masa de tara (g)	32.90	30.50	35.20	31.40	31.40	32.40
Masa de agua (g)	55.00	65.90	52.20	68.30	54.90	73.60
Masa de suelo seco (g)	379.60	382.50	362.60	366.70	378.00	351.30
Contenido de humedad (%)	14.49%	17.23%	14.40%	18.63%	14.52%	20.95%
<b>Contenido de humedad promedio</b>	<b>14.49%</b>	<b>17.23%</b>	<b>14.40%</b>	<b>18.63%</b>	<b>14.52%</b>	<b>20.95%</b>
<b>Densidad seca (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.836</b>	<b>1.790</b>	<b>1.701</b>	<b>1.726</b>	<b>1.632</b>	<b>1.687</b>

HINCHAMIENTO										
TIEMPO ACUMULADO		MOLDE N° 6			MOLDE N° 5			MOLDE N° 4		
		LECTURA	HINCHAMIENTO		LECTURA	HINCHAMIENTO		LECTURA	HINCHAMIENTO	
Horas	Días	DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	0.008	0.008	0.01	0.279	0.279	0.24	0.660	0.660	0.56
48	2	0.013	0.013	0.01	0.381	0.381	0.32	0.711	0.711	0.60
72	3	0.025	0.025	0.02	0.406	0.406	0.34	0.762	0.762	0.65
96	4	0.025	0.025	0.02	0.406	0.406	0.34	0.787	0.787	0.67

ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN										
PENETRACION		MOLDE N° 6			MOLDE N° 5			MOLDE N° 4		
(mm)	(in.)	CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO	
			kg/cm <sup>2</sup>	lb/in. <sup>2</sup>		kg/cm <sup>2</sup>	lb/in. <sup>2</sup>		kg/cm <sup>2</sup>	lb/in. <sup>2</sup>
0.00	0.000	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.64	0.025	87.6	4.46	63.32	56.6	2.88	40.91	25.1	1.28	18.14
1.27	0.050	402.6	20.50	291.03	184.6	9.40	133.44	102.1	5.20	73.81
1.91	0.075	519.0	26.43	375.17	282.0	14.36	203.85	189.1	9.63	136.69
2.54	0.100	705.4	35.93	509.91	380.2	19.36	274.84	243.7	12.41	176.16
3.81	0.150	828.6	42.20	598.97	454.7	23.16	328.69	309.3	15.75	223.58
5.08	0.200	903.8	46.03	653.33	498.7	25.40	360.50	341.6	17.40	246.93
6.35	0.250	958.8	48.83	693.09	529.2	26.95	382.54	372.3	18.96	269.12
7.62	0.300	983.5	50.09	710.94	550.4	28.03	397.87	384.0	19.56	277.58
10.16	0.400	1045.6	53.25	755.83	605.9	30.86	437.99	410.0	20.88	296.38
12.70	0.500	1101.2	56.08	796.02	660.0	33.61	477.09	429.5	21.87	310.47

GRÁFICAS



PENETRACIÓN	Densidad	0.1 (*)	0.2 (*)	CBR(0.1)	CBR(0.2)
<b>MOLDE 6</b>	1.836	510.00	655.00	<b>51.0</b>	<b>43.7</b>
<b>MOLDE 5</b>	1.701	270.00	360.00	<b>27.0</b>	<b>24.0</b>
<b>MOLDE 4</b>	1.632	175.00	246.00	<b>17.5</b>	<b>16.4</b>

Datos de ensayo próctor: **ASTM D 1557**      Densidad máxima seca = **1.810 g/cm³**  
 Humedad óptima = **14.5 %**

C.B.R. Para el 100% de la M.D.S.	0.1" = <b>40.0 %</b>	0.2" = <b>46.5 %</b>
C.B.R. Para el 95% de la M.D.S.	0.1" = <b>26.5 %</b>	0.2" = <b>30.5 %</b>

**Tabla 48**

*Ensayo de CBR del suelo con 3% de cal y 8% de Melaza (Calicata 1)*

**RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)**

(NORMA AASHTO T-193, ASTM D 1883)

**DATOS DE LA MUESTRA**

<b>Calicata</b>	: C-1	<b>Fecha muestreo</b>	: 26/10/2020
<b>Progresiva</b>	: Km 0+033	<b>Muestreo</b>	: YSIS
<b>Tipo de material</b>	: SUELO NATURAL+3%CAL+8%MELAZA	<b>Descripción</b>	: COLOR AMARILLO

COMPACTACION CBR						
MOLDE	6		5		4	
Altura Molde mm.	118		118		118	
N° Capas	5		5		5	
N°Golp x Capa	56		25		12	
<b>Condición de la muestra</b>	<b>NO SATURADO</b>	<b>SATURADO</b>	<b>NO SATURADO</b>	<b>SATURADO</b>	<b>NO SATURADO</b>	<b>SATURADO</b>
Masa de molde + Suelo húmedo (g)	12925.50	12930.50	12819.50	13073.00	12780.00	13172.50
Masa de molde (g)	8395.00	8395.00	8646.00	8646.00	8799.50	8799.50
Masa del suelo húmedo (g)	4530.50	4535.50	4173.50	4427.00	3980.50	4373.00
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2150.18	2150.18	2130.82	2130.82	2122.61	2122.61
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2.107</b>	<b>2.109</b>	<b>1.959</b>	<b>2.078</b>	<b>1.875</b>	<b>2.060</b>

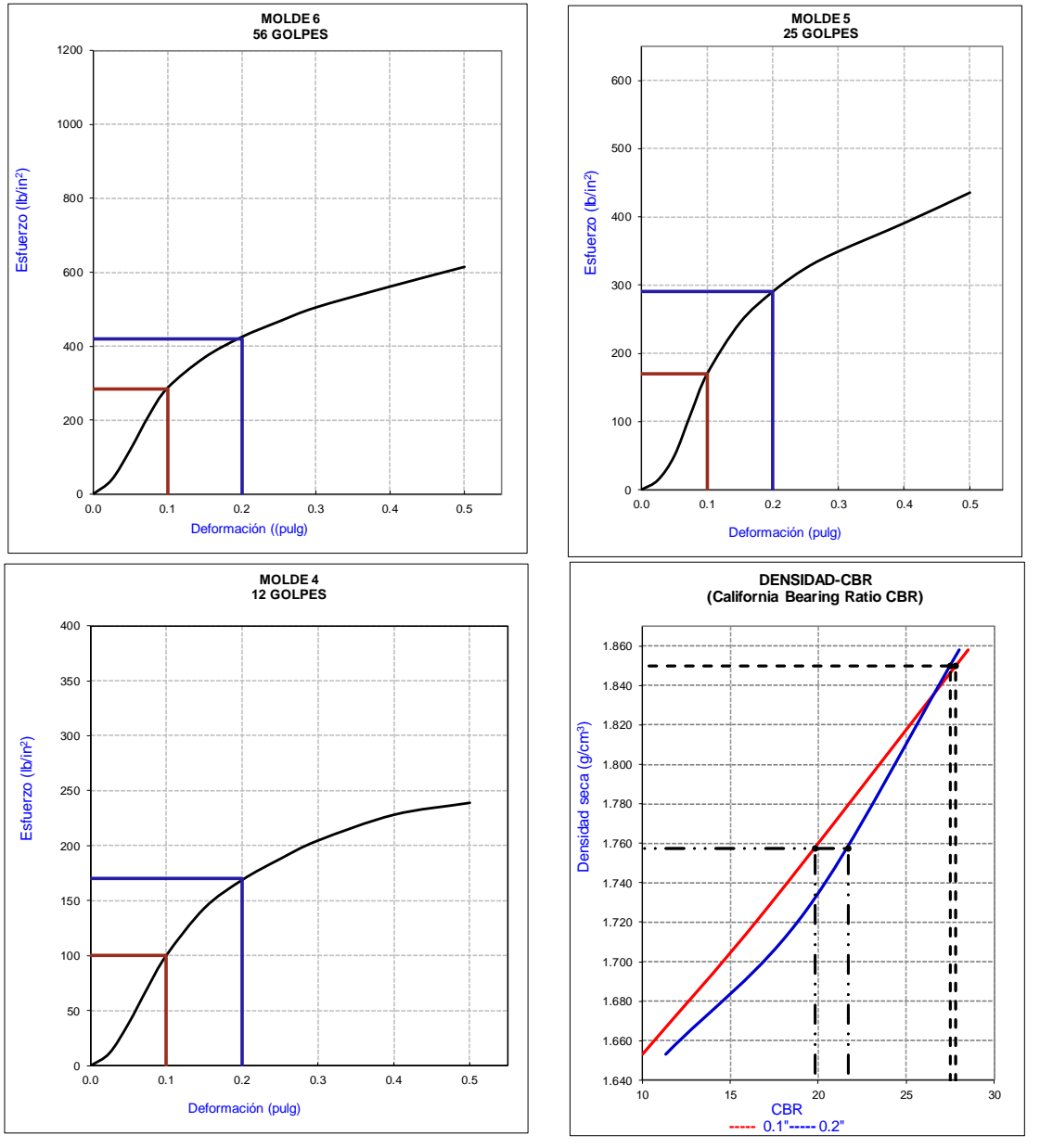
HUMEDADES						
Masa suelo húmedo + tara (g)	459.10	397.00	474.90	386.70	461.10	404.70
Masa suelo seco + tara (g)	408.80	340.80	422.50	329.00	410.40	344.50
Masa de tara (g)	33.30	31.40	33.00	33.60	33.00	35.20
Masa de agua (g)	50.30	56.20	52.40	57.70	50.70	60.20
Masa de suelo seco (g)	375.50	309.40	389.50	295.40	377.40	309.30
Contenido de humedad (%)	13.40%	18.16%	13.45%	19.53%	13.43%	19.46%
<b>Contenido de humedad promedio</b>	<b>13.40%</b>	<b>18.16%</b>	<b>13.45%</b>	<b>19.53%</b>	<b>13.43%</b>	<b>19.46%</b>
<b>Densidad seca (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.858</b>	<b>1.785</b>	<b>1.726</b>	<b>1.738</b>	<b>1.653</b>	<b>1.725</b>

HINCHAMIENTO										
TIEMPO ACUMULADO		MOLDE N° 6			MOLDE N° 5			MOLDE N° 4		
		LECTURA	HINCHAMIENTO		LECTURA	HINCHAMIENTO		LECTURA	HINCHAMIENTO	
Horas	Días	DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	0.483	0.483	0.41	0.737	0.737	0.62	1.219	1.219	1.03
48	2	0.559	0.559	0.47	0.889	0.889	0.75	1.168	1.168	0.99
72	3	0.610	0.610	0.52	0.940	0.940	0.80	1.321	1.321	1.12
96	4	0.737	0.737	0.62	0.991	0.991	0.84	1.321	1.321	1.12

ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN										
PENETRACION		MOLDE N° 6			MOLDE N° 5			MOLDE N° 4		
(mm)	(in.)	CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO	
			kg/cm <sup>2</sup>	lb/in. <sup>2</sup>		kg/cm <sup>2</sup>	lb/in. <sup>2</sup>		kg/cm <sup>2</sup>	lb/in. <sup>2</sup>
0.00	0.000	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.64	0.025	54.0	2.75	39.03	19.7	1.00	14.24	16.0	0.81	11.57
1.27	0.050	166.1	8.46	120.07	68.9	3.51	49.81	52.9	2.69	38.24
1.91	0.075	294.0	14.97	212.52	154.1	7.85	111.39	97.5	4.97	70.48
2.54	0.100	396.8	20.21	286.83	235.1	11.97	169.95	138.7	7.06	100.26
3.81	0.150	511.1	26.03	369.46	338.7	17.25	244.84	197.9	10.08	143.06
5.08	0.200	587.7	29.93	424.83	401.5	20.45	290.23	233.4	11.89	168.72
6.35	0.250	645.5	32.88	466.61	449.0	22.87	324.57	259.8	13.23	187.80
7.62	0.300	698.5	35.57	504.92	483.0	24.60	349.15	282.9	14.41	204.50
10.16	0.400	776.6	39.55	561.38	540.3	27.52	390.57	315.2	16.05	227.85
12.70	0.500	850.1	43.30	614.51	602.0	30.66	435.17	330.2	16.82	238.69



GRÁFICAS



PENETRACIÓN	Densidad	0.1 (*)	0.2 (*)	CBR(0.1)	CBR(0.2)
MOLDE 6	1.858	285.00	420.00	28.5	28.0
MOLDE 5	1.726	170.00	290.00	17.0	19.3
MOLDE 4	1.653	100.00	170.00	10.0	11.3

Datos de ensayo próctor: ASTM D 1557      Densidad máxima seca = 1.850 g/cm³  
 Humedad óptima = 13.5 %

C.B.R. Para el 100% de la M.D.S.	0.1" = 27.8 %	0.2" = 27.5 %
C.B.R. Para el 95% de la M.D.S.	0.1" = 19.8 %	0.2" = 21.7 %

**Tabla 49**

*Ensayo de CBR del suelo con 3% de cal y 11% de melaza (Calicata 1)*

**RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)**

(NORMA AASHTO T-193, ASTM D 1883)

**DATOS DE LA MUESTRA**

<b>Calicata</b>	: C-1	<b>Fecha muestreo</b>	: 26/10/2020
<b>Progresiva</b>	: Km 0+033	<b>Muestreo:</b>	: YSIS
<b>Tipo de material</b>	: SUELO NATURAL+3%CAL+11%MELAZA	<b>Descripción:</b>	: COLOR AMARILLO

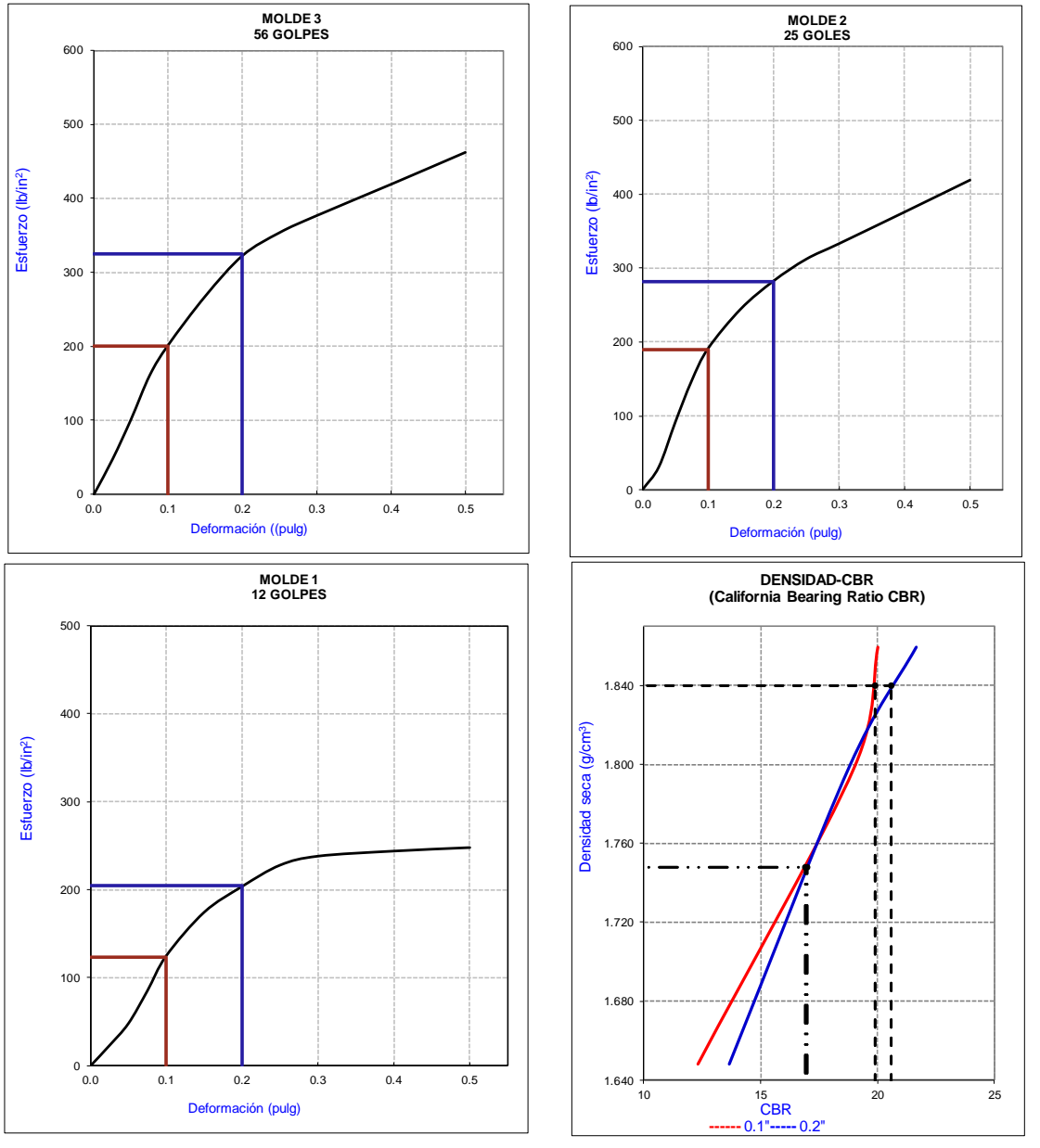
COMPACTACION CBR						
<b>MOLDE</b>	<b>3</b>		<b>2</b>		<b>1</b>	
Altura Molde mm.	118		118		118	
N° Capas	<b>5</b>		<b>5</b>		<b>5</b>	
N°Golp x Capa	<b>56</b>		<b>25</b>		<b>12</b>	
<b>Condición de la muestra</b>	<b>NO SATURADO</b>	<b>SATURADO</b>	<b>NO SATURADO</b>	<b>SATURADO</b>	<b>NO SATURADO</b>	<b>SATURADO</b>
Masa de molde + Suelo húmedo (g)	13084.00	13102.00	12884.00	13007.00	12522.50	12922.50
Masa de molde (g)	8632.00	8632.00	8554.00	8554.00	8561.00	8561.00
Masa del suelo húmedo (g)	4452.00	4470.00	4330.00	4453.00	3961.50	4361.50
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2121.38	2121.38	2134.31	2134.31	2131.49	2131.49
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2.099</b>	<b>2.107</b>	<b>2.029</b>	<b>2.086</b>	<b>1.859</b>	<b>2.046</b>

HUMEDADES						
Masa suelo húmedo + tara (g)	447.80	358.40	481.90	395.20	462.50	340.10
Masa suelo seco + tara (g)	400.60	317.20	431.00	346.40	413.90	298.40
Masa de tara (g)	33.80	32.20	33.00	32.90	33.20	28.60
Masa de agua (g)	47.20	41.20	50.90	48.80	48.60	41.70
Masa de suelo seco (g)	366.80	285.00	398.00	313.50	380.70	269.80
Contenido de humedad (%)	12.87%	14.46%	12.79%	15.57%	12.77%	15.46%
<b>Contenido de humedad promedio</b>	<b>12.87%</b>	<b>14.46%</b>	<b>12.79%</b>	<b>15.57%</b>	<b>12.77%</b>	<b>15.46%</b>
<b>Densidad seca (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.859</b>	<b>1.841</b>	<b>1.799</b>	<b>1.805</b>	<b>1.648</b>	<b>1.772</b>

HINCHAMIENTO										
TIEMPO ACUMULADO		MOLDE N°		3	MOLDE N°		2	MOLDE N°		1
		LECTURA	HINCHAMIENTO		LECTURA	HINCHAMIENTO		LECTURA	HINCHAMIENTO	
Horas	Días	DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	0.051	0.051	0.04	0.076	0.076	0.06	0.102	0.102	0.09
48	2	0.051	0.051	0.04	0.127	0.127	0.11	0.127	0.127	0.11
72	3	0.076	0.076	0.06	0.152	0.152	0.13	0.203	0.203	0.17
96	4	0.152	0.152	0.13	0.203	0.203	0.17	0.229	0.229	0.19

ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN										
PENETRACION		MOLDE N° 3			MOLDE N° 2			MOLDE N° 1		
(mm)	(in.)	CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO	
			kg/cm <sup>2</sup>	lb/in. <sup>2</sup>		kg/cm <sup>2</sup>	lb/in. <sup>2</sup>		kg/cm <sup>2</sup>	lb/in. <sup>2</sup>
0.00	0.000	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.64	0.025	65.6	3.34	47.42	42.7	2.17	30.87	32.1	1.63	23.20
1.27	0.050	140.7	7.17	101.71	126.2	6.43	91.23	66.7	3.40	48.22
1.91	0.075	222.6	11.34	160.91	203.8	10.38	147.32	118.1	6.01	85.37
2.54	0.100	279.5	14.23	202.04	264.2	13.46	190.98	173.4	8.83	125.35
3.81	0.150	371.1	18.90	268.26	338.5	17.24	244.69	241.9	12.32	174.86
5.08	0.200	446.8	22.76	322.98	390.9	19.91	282.57	282.4	14.38	204.14
6.35	0.250	489.9	24.95	354.13	431.9	22.00	312.21	315.9	16.09	228.35
7.62	0.300	521.7	26.57	377.12	460.9	23.47	333.17	330.0	16.81	238.55
10.16	0.400	580.3	29.55	419.48	520.1	26.49	375.96	338.0	17.21	244.33
12.70	0.500	640.1	32.60	462.71	580.0	29.54	419.26	343.5	17.49	248.31

GRÁFICAS



PENETRACIÓN	Densidad	0.1 (*)	0.2 (*)	CBR(0.1)	CBR(0.2)
<b>MOLDE 3</b>	1.859	200.00	325.00	<b>20.0</b>	<b>21.7</b>
<b>MOLDE 2</b>	1.799	190.00	282.00	<b>19.0</b>	<b>18.8</b>
<b>MOLDE 1</b>	1.648	123.00	205.00	<b>12.3</b>	<b>13.7</b>

Datos de ensayo próctor: ASTM D 1557      Densidad máxima seca = 1.840 g/cm<sup>3</sup>  
 Humedad óptima = 12.8 %

C.B.R. Para el 100% de la M.D.S.	0.1" = 19.9 %	0.2" = 20.6 %
C.B.R. Para el 95% de la M.D.S.	0.1" = 16.9 %	0.2" = 17.0 %

- Calicata 2

**Tabla 50**

*Ensayo Proctor del suelo con 3% de cal (Calicata 2)*

Relación Densidad Vs Humedad (Próctor Modificado)  
ASTM D 698 / 1557

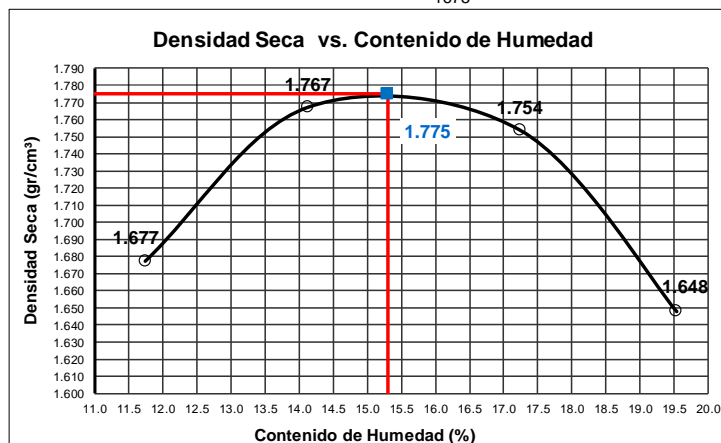
Calicata	C-2	Fecha de Muestreo	02-Feb-19
Coordenadas	N: 9203014.828 E: 778307.445	Fecha de Ensayo	21-Feb-19 al 25-Feb-19
Progresiva	KM 0+986	Ensayado por	Ysis y Luis
Tipo de Material	Suelo + 3%cal	Descripción del suelo	Color marron

DETERMINACIÓN	1	2	3	4
Contenido de agua (%)	10%	12%	14%	16%
Peso Molde + material húmedo (g)	5529	5663	5700	5619
Peso del molde (g)	3765.0	3765.0	3765.0	3765.0
Peso de material húmedo (g)	1764	1898	1935	1854
Volumen del molde molde (cm3)	941.1	941.1	941.1	941.1
Densidad húmeda (g/cm3)	1.874	2.017	2.056	1.970

Numero de cápsula	T-19	T-12	T-22	T-18
Cápsula + material húmedo (g)	768.0	731.0	748.0	756.0
Cápsula + material seco (g)	698.0	653.0	653.0	646.0
Peso del agua (g)	70.0	78.0	95.0	110.0
Peso de la cápsula (g)	102.0	101.0	102.0	83.0
Peso de suelo seco (g)	596.0	552.0	551.0	563.0
Contenido de agua (%)	11.7	14.1	17.2	19.5
Densidad seca (g/cm3)	1.677	1.767	1.754	1.648

Método	A	Molde	4"	Pisón Próctor	Estándar	T° Secado	60°C	Norma ASTM
	B		6"		Modificado		110°C	
	C		Otro		Otro		Estufa	
Clasificación SUCS :	0.00	Volumen Molde(CC)	941.1	Peso molde(g)	3765.0			

1675



DENSIDAD MAXIMA (gr/cm3)	1.775
HUMEDAD OPTIMA %	15.3

Tabla 51

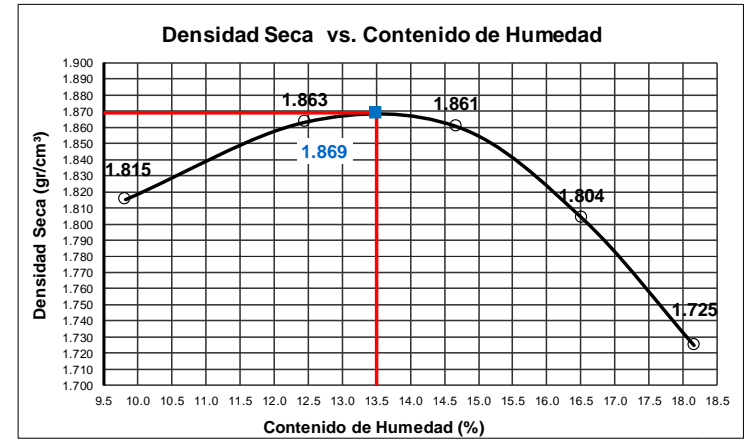
Ensayo Proctor del suelo con 3% de cal y 5% de melaza (Calicata 2)

Relación Densidad Vs Humedad (Próctor Modificado)  
ASTM D 698 / 1557

Calicata	C-2		Fecha de Muestreo	02-Feb-19	
Coordenadas	N: 9203014.828	E: 778307.445	Fecha de Ensayo	22-Feb-19	al 25-Feb-19
Progresiva	KM 0+986		Ensayado por	Ysis y Luis	
Tipo de Material	Suelo + 3%Cal + 5%Melaza		Descripción del suelo	Color marron	

DETERMINACIÓN	1	2	3	4	5
Contenido de agua (%)	8%	10%	12%	14%	16%
Peso Molde + material húmedo (g)	5641	5737	5773	5743	5683
Peso del molde (g)	3765.0	3765.0	3765.0	3765.0	3765.0
Peso de material húmedo (g)	1876	1972	2008	1978	1918
Volumen del molde (cm3)	941.1	941.1	941.1	941.1	941.1
Densidad húmeda (g/cm3)	1.993	2.095	2.134	2.102	2.038

Numero de cápsula			T-11	T-22	T-18	T-22	T-19	
Cápsula + material húmedo (g)			757.0	742.0	747.0	751.0	759.0	
Cápsula + material seco (g)			699.0	671.0	662.0	659.0	658.0	
Peso del agua (g)			58.0	71.0	85.0	92.0	101.0	
Peso de la cápsula (g)			108.0	101.0	83.0	102.0	102.0	
Peso de suelo seco (g)			591.0	570.0	579.0	557.0	556.0	
Contenido de agua (%)			9.8	12.5	14.7	16.5	18.2	
Densidad seca (g/cm3)			1.815	1.863	1.861	1.804	1.725	
Método	A	Molde	4"	Pisón Próctor	Estándar	T° Secado	60°C	Norma ASTM
	B		6"		Modificado		110°C	
	C		Otro		Otro		Estufa	
Clasificación SUCS :		CL	Volumen Molde(CC)		941.1	Peso molde(g)		



DENSIDAD MAXIMA (gr/cm3)	1.869
HUMEDAD OPTIMA %	13.5

Tabla 52

Ensayo Proctor del suelo con 3% de cal y 8% de melaza (Calicata 2)

Relación Densidad Vs Humedad (Próctor Modificado)

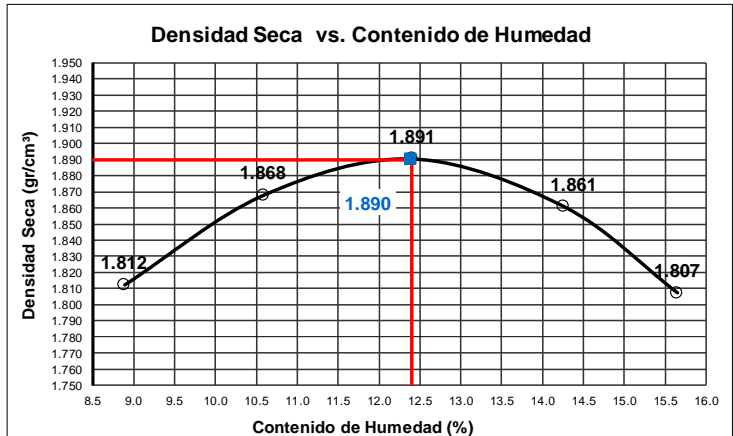
ASTM D 698 / 1557

Calicata	C-2		Fecha de Muestreo	02-Feb-19	
Coordenadas	N: 9203014.828	E: 778307.445	Fecha de Ensayo	24-Feb-19 al 27-Feb-19	
Progresiva	KM 0+986		Ensayado por	Ysis y Luis	
Tipo de Material	Suelo + 3%Cal + 8%Melaza		Descripción del suelo	Color marron	

DETERMINACIÓN	1	2	3	4	5
Contenido de agua (%)	6%	8%	10%	12%	14%
Peso Molde + material húmedo (g)	5622	5709	5765	5766	5732
Peso del molde (g)	3765.0	3765.0	3765.0	3765.0	3765.0
Peso de material húmedo (g)	1857	1944	2000	2001	1967
Volumen del molde (cm3)	941.1	941.1	941.1	941.1	941.1
Densidad húmeda (g/cm3)	1.973	2.066	2.125	2.126	2.090

Numero de cápsula			T-09	T-16	T-19	T-102	T-12	
Cápsula + material húmedo (g)			780.0	712.0	736.0	764.0	744.0	
Cápsula + material seco (g)			725.0	654.0	666.0	682.0	657.0	
Peso del agua (g)			55.0	58.0	70.0	82.0	87.0	
Peso de la cápsula (g)			106.0	106.0	102.0	107.0	101.0	
Peso de suelo seco (g)			619.0	548.0	564.0	575.0	556.0	
Contenido de agua (%)			8.9	10.6	12.4	14.3	15.6	
Densidad seca (g/cm3)			1.812	1.868	1.891	1.861	1.807	
Método	A	Molde	4"	Pisón Próctor	Estándar	T° Secado	60°C	Norma ASTM
	B		6"		Modificado		110°C	
	C		Otro		Otro		Estufa	
Clasificación SUCS :		0.00	Volumen Molde(CC)		941.1	Peso molde(g)		3765.0

1675



DENSIDAD MAXIMA (gr/cm3)
1.890
HUMEDAD OPTIMA %
12.4

Tabla 53

Ensayo Proctor del suelo con 3% de cal y 11% de melaza (Calicata 2)

Relación Densidad Vs Humedad (Próctor Modificado)

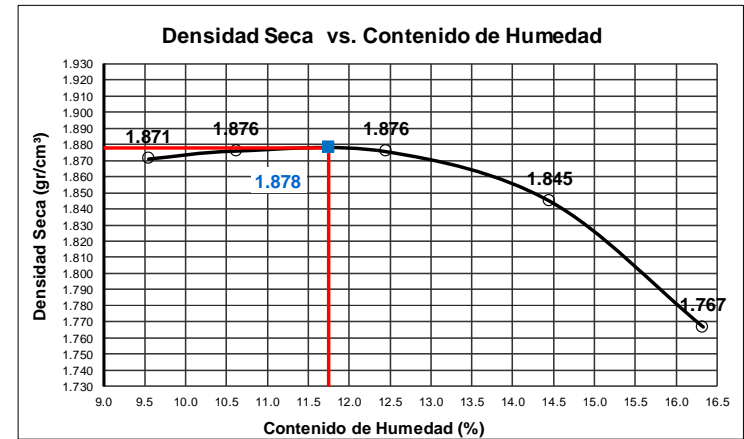
ASTM D 698 / 1557

Calicata	C-2		Fecha de Muestreo	02-Feb-19	
Coordenadas	N: 9203014.828	E: 778307.445	Fecha de Ensayo	26-Feb-19	al 28-Feb-19
Progresiva	KM 0+986		Ensayado por	Ysis y Luis	
Tipo de Material	Suelo + 3%Cal + 11%Melaza		Descripción del suelo	Color marron	

DETERMINACIÓN	1	2	3	4	5
Contenido de agua (%)	4%	6%	8%	10%	12%
Peso Molde + material húmedo (g)	5694	5718	5750	5752	5699
Peso del molde (g)	3765.0	3765.0	3765.0	3765.0	3765.0
Peso de material húmedo (g)	1929	1953	1985	1987	1934
Volumen del molde molde (cm3)	941.1	941.1	941.1	941.1	941.1
Densidad húmeda (g/cm3)	2.050	2.075	2.109	2.111	2.055

Numero de cápsula	T-17	T-05	T-02	T-06	T-08
Cápsula + material húmedo (g)	839.0	762.0	770.0	781.0	782.0
Cápsula + material seco (g)	775.0	697.0	696.0	697.0	685.0
Peso del agua (g)	64.0	65.0	74.0	84.0	97.0
Peso de la cápsula (g)	105.0	85.0	102.0	116.0	91.0
Peso de suelo seco (g)	670.0	612.0	594.0	581.0	594.0
Contenido de agua (%)	9.6	10.6	12.5	14.5	16.3
Densidad seca (g/cm3)	1.871	1.876	1.876	1.845	1.767

Método	A	Molde	4"	Pisón Próctor	Estándar	T° Secado	60°C	Norma ASTM
	B		6"		Modificado		110°C	
	C		Otro		Otro		Estufa	
Clasificación SUCS :		0.00	Volumen Molde(CC)		941.1	Peso molde(g)		



DENSIDAD MAXIMA (gr/cm3)
1.878
HUMEDAD OPTIMA %
11.8

**Tabla 54**

*Ensayo de CBR del suelo con 3% de cal (Calicata 2)*

**RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)**  
(NORMA AASHTO T-193, ASTM D 1883)

**DATOS DE LA MUESTRA**

<b>Calicata</b>	: C-2	<b>Fecha muestreo</b>	: 07/09/2020
<b>Progresiva</b>	: Km 0+986	<b>Muestreo</b>	: YSIS
<b>Tipo de material</b>	: SUELO NATURAL+3%CAL	<b>Descripción</b>	: COLOR MARRÓN

COMPACTACION CBR						
MOLDE	<b>3</b>		<b>2</b>		<b>1</b>	
Altura Molde mm.	118		118		118	
N° Capas	<b>5</b>		<b>5</b>		<b>5</b>	
N°Golp x Capa	<b>56</b>		<b>25</b>		<b>12</b>	
<b>Condición de la muestra</b>	<b>NO SATURADO</b>	<b>SATURADO</b>	<b>NO SATURADO</b>	<b>SATURADO</b>	<b>NO SATURADO</b>	<b>SATURADO</b>
Masa de molde + Suelo húmedo (g)	12932.00	13050.00	12634.00	13015.00	12498.50	12906.00
Masa de molde (g)	8632.00	8632.00	8554.00	8554.00	8561.00	8561.00
Masa del suelo húmedo (g)	4300.00	4418.00	4080.00	4461.00	3937.50	4345.00
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2121.38	2121.38	2134.31	2134.31	2132.49	2132.49
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2.027</b>	<b>2.083</b>	<b>1.912</b>	<b>2.090</b>	<b>1.846</b>	<b>2.038</b>

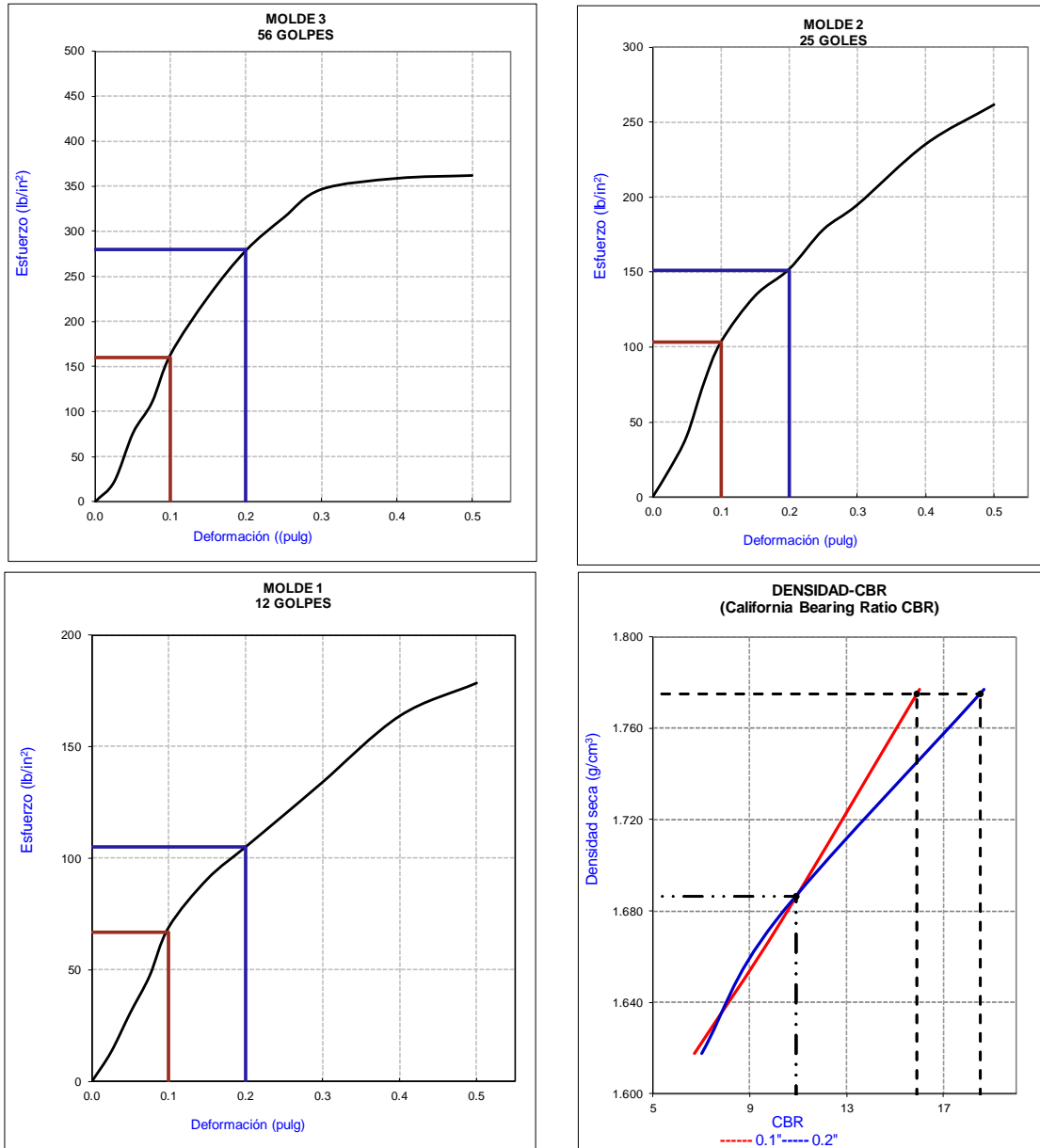
HUMEDADES						
Masa suelo húmedo + tara (g)	503.60	512.30	462.00	526.50	472.30	602.00
Masa suelo seco + tara (g)	445.10	445.10	408.50	449.00	417.30	510.30
Masa de tara (g)	29.20	33.00	28.30	33.00	28.50	32.50
Masa de agua (g)	58.50	67.20	53.50	77.50	55.00	91.70
Masa de suelo seco (g)	415.90	412.10	380.20	416.00	388.80	477.80
Contenido de humedad (%)	14.07%	16.31%	14.07%	18.63%	14.15%	19.19%
<b>Contenido de humedad promedio</b>	<b>14.07%</b>	<b>16.31%</b>	<b>14.07%</b>	<b>18.63%</b>	<b>14.15%</b>	<b>19.19%</b>
<b>Densidad seca (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.777</b>	<b>1.791</b>	<b>1.676</b>	<b>1.762</b>	<b>1.618</b>	<b>1.709</b>

HINCHAMIENTO										
TIEMPO ACUMULADO		MOLDE N°		3	MOLDE N°		2	MOLDE N°		1
		LECTURA	HINCHAMIENTO		LECTURA	HINCHAMIENTO		LECTURA	HINCHAMIENTO	
Horas	Días	DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	8.128	8.128	6.89	8.509	8.509	7.21	8.636	8.636	7.32
48	2	8.433	8.433	7.15	8.687	8.687	7.36	8.839	8.839	7.49
72	3	8.534	8.534	7.23	8.814	8.814	7.47	9.042	9.042	7.66
96	4	8.585	8.585	7.28	8.865	8.865	7.51	9.042	9.042	7.66

ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN										
PENETRACION		MOLDE N° 3			MOLDE N° 2			MOLDE N° 1		
(mm)	(in.)	CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO	
			kg/cm <sup>2</sup>	lb/in. <sup>2</sup>		kg/cm <sup>2</sup>	lb/in. <sup>2</sup>		kg/cm <sup>2</sup>	lb/in. <sup>2</sup>
0.00	0.000	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.64	0.025	30.5	1.55	22.05	25.9	1.32	18.72	18.3	0.93	13.23
1.27	0.050	105.4	5.37	76.19	56.3	2.87	40.70	42.6	2.17	30.79
1.91	0.075	152.0	7.74	109.88	105.1	5.35	75.97	65.3	3.33	47.20
2.54	0.100	226.5	11.54	163.73	143.0	7.28	103.37	95.6	4.87	69.11
3.81	0.150	315.0	16.04	227.70	185.6	9.45	134.16	125.3	6.38	90.58
5.08	0.200	386.0	19.66	279.03	210.3	10.71	152.02	145.3	7.40	105.03
6.35	0.250	436.3	22.22	315.39	246.8	12.57	178.40	165.2	8.41	119.42
7.62	0.300	479.7	24.43	346.76	269.7	13.74	194.96	185.4	9.44	134.02
10.16	0.400	496.6	25.29	358.98	325.6	16.58	235.37	226.3	11.53	163.59
12.70	0.500	501.0	25.52	362.16	362.0	18.44	261.68	246.7	12.56	178.33



GRÁFICAS



PENETRACIÓN	Densidad	0.1 (*)	0.2 (*)	CBR(0.1)	CBR(0.2)
MOLDE 3	1.777	160.00	280.00	16.0	18.7
MOLDE 2	1.676	103.00	151.00	10.3	10.1
MOLDE 1	1.618	67.00	105.00	6.7	7.0

Datos de ensayo próctor: ASTM D 1557      Densidad máxima seca = 1.775 g/cm³  
 Humedad óptima = 15.3 %

C.B.R. Para el 100% de la M.D.S.	0.1" = 15.9 %	0.2" = 18.5 %
C.B.R. Para el 95% de la M.D.S.	0.1" = 10.9 %	0.2" = 10.9 %

**Tabla 55**

**Ensayo de CBR del suelo con 3% de cal y 5% de melaza (Calicata 2)**

**RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)**  
(NORMA AASHTO T-193, ASTM D 1883)

**DATOS DE LA MUESTRA**

<b>Calicata</b>	: C-2	<b>Fecha muestreo</b>	: 17/06/2020
<b>Progresiva</b>	: Km 0+986	<b>Muestreo</b>	: YSIS
<b>Tipo de material</b>	: SUELO NATURAL + 3% CAL + 5% MELAZA	<b>Descripción</b>	: COLOR MARRÓN

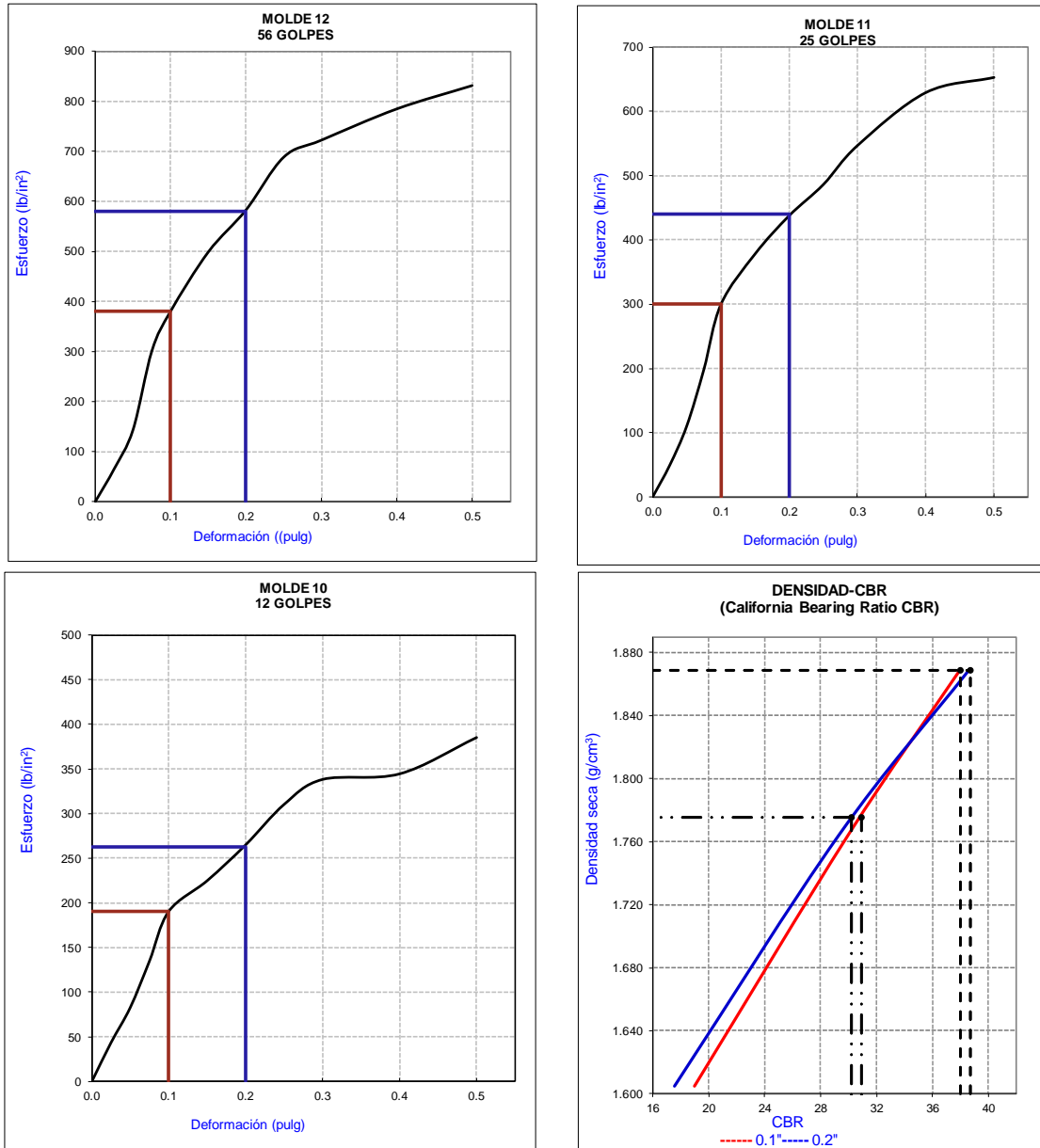
COMPACTACION CBR						
MOLDE	12		11		10	
Altura Molde mm.	118		118		118	
N° Capas	5		5		5	
N°Golp x Capa	56		25		12	
<b>Condición de la muestra</b>	<b>NO SATURADO</b>	<b>SATURADO</b>	<b>NO SATURADO</b>	<b>SATURADO</b>	<b>NO SATURADO</b>	<b>SATURADO</b>
Masa de molde + Suelo húmedo (g)	12914.00	13032.50	12908.00	13071.50	12715.50	12976.00
Masa de molde (g)	8404.50	8404.50	8628.50	8628.50	8811.00	8811.00
Masa del suelo húmedo (g)	4509.50	4628.00	4279.50	4443.00	3904.50	4165.00
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2140.13	2140.13	2140.94	2140.94	2154.20	2154.20
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2.107</b>	<b>2.162</b>	<b>1.999</b>	<b>2.075</b>	<b>1.813</b>	<b>1.933</b>

HUMEDADES						
Masa suelo húmedo + tara (g)	344.00	321.00	358.20	365.30	398.70	368.30
Masa suelo seco + tara (g)	308.40	275.50	319.50	308.70	356.30	305.30
Masa de tara (g)	28.20	29.60	27.90	27.90	28.30	28.80
Masa de agua (g)	35.60	45.50	38.70	56.60	42.40	63.00
Masa de suelo seco (g)	280.20	245.90	291.60	280.80	328.00	276.50
Contenido de humedad (%)	12.71%	18.50%	13.27%	20.16%	12.93%	22.78%
<b>Contenido de humedad promedio</b>	<b>12.71%</b>	<b>18.50%</b>	<b>13.27%</b>	<b>20.16%</b>	<b>12.93%</b>	<b>22.78%</b>
<b>Densidad seca (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.870</b>	<b>1.825</b>	<b>1.765</b>	<b>1.727</b>	<b>1.605</b>	<b>1.575</b>

HINCHAMIENTO										
TIEMPO ACUMULADO		MOLDE N°		12	MOLDE N°		11	MOLDE N°		10
		LECTURA	HINCHAMIENTO		LECTURA	HINCHAMIENTO		LECTURA	HINCHAMIENTO	
Horas	Días	DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	0.305	0.305	0.26	1.016	1.016	0.86	1.575	1.575	1.33
48	2	0.330	0.330	0.28	1.168	1.168	0.99	1.626	1.626	1.38
72	3	0.356	0.356	0.30	1.219	1.219	1.03	1.676	1.676	1.42
96	4	0.406	0.406	0.34	1.295	1.295	1.10	1.702	1.702	1.44

ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN										
PENETRACION		MOLDE N° 12			MOLDE N° 11			MOLDE N° 10		
		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO	
(mm)	(in.)		kg/cm <sup>2</sup>	lb/in. <sup>2</sup>		kg/cm <sup>2</sup>	lb/in. <sup>2</sup>		kg/cm <sup>2</sup>	lb/in. <sup>2</sup>
0.00	0.000	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.64	0.025	90.4	4.60	65.35	68.4	3.48	49.44	60.4	3.08	43.66
1.27	0.050	198.6	10.11	143.56	153.3	7.81	110.82	114.8	5.85	82.99
1.91	0.075	416.6	21.22	301.15	274.7	13.99	198.57	186.9	9.52	135.10
2.54	0.100	526.6	26.82	380.66	415.0	21.14	299.99	263.7	13.43	190.62
3.81	0.150	690.3	35.16	499.00	523.5	26.66	378.42	311.3	15.85	225.03
5.08	0.200	806.5	41.07	582.99	606.0	30.86	438.06	366.8	18.68	265.15
6.35	0.250	952.3	48.50	688.39	673.0	34.28	486.49	429.5	21.87	310.47
7.62	0.300	999.2	50.89	722.29	757.0	38.55	547.21	468.1	23.84	338.38
10.16	0.400	1085.6	55.29	784.75	871.0	44.36	629.62	476.7	24.28	344.59
12.70	0.500	1150.1	58.57	831.37	903.8	46.03	653.33	533.0	27.15	385.29

GRÁFICAS



PENETRACIÓN	Densidad	0.1 (*)	0.2 (*)	CBR(0.1)	CBR(0.2)
MOLDE 12	1.870	380.00	580.00	38.0	38.7
MOLDE 11	1.765	300.00	440.00	30.0	29.3
MOLDE 10	1.605	190.00	263.00	19.0	17.5

Datos de ensayo próctor: ASTM D 1557

Densidad máxima seca = 1.869 g/cm<sup>3</sup>

Humedad óptima = 13.5 %

C.B.R. Para el 100% de la M.D.S.	0.1" = 38.0 %	0.2" = 38.7 %
C.B.R. Para el 95% de la M.D.S.	0.1" = 30.9 %	0.2" = 30.2 %

**Tabla 56**

*Ensayo de CBR del suelo con 3% de cal y 8% de melaza (Calicata 2)*

**RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)**  
(NORMA AASHTO T-193, ASTM D 1883)

**DATOS DE LA MUESTRA**

<b>Calicata</b>	: C-2	<b>Fecha muestreo</b>	: 24/06/2020
<b>Progresiva</b>	: KM 0+986	<b>Muestreo</b>	: YSIS
<b>Tipo de material</b>	: SUELO NATURAL + 3% CAL + 8% MELAZA	<b>Descripción</b>	: COLOR MARRÓN

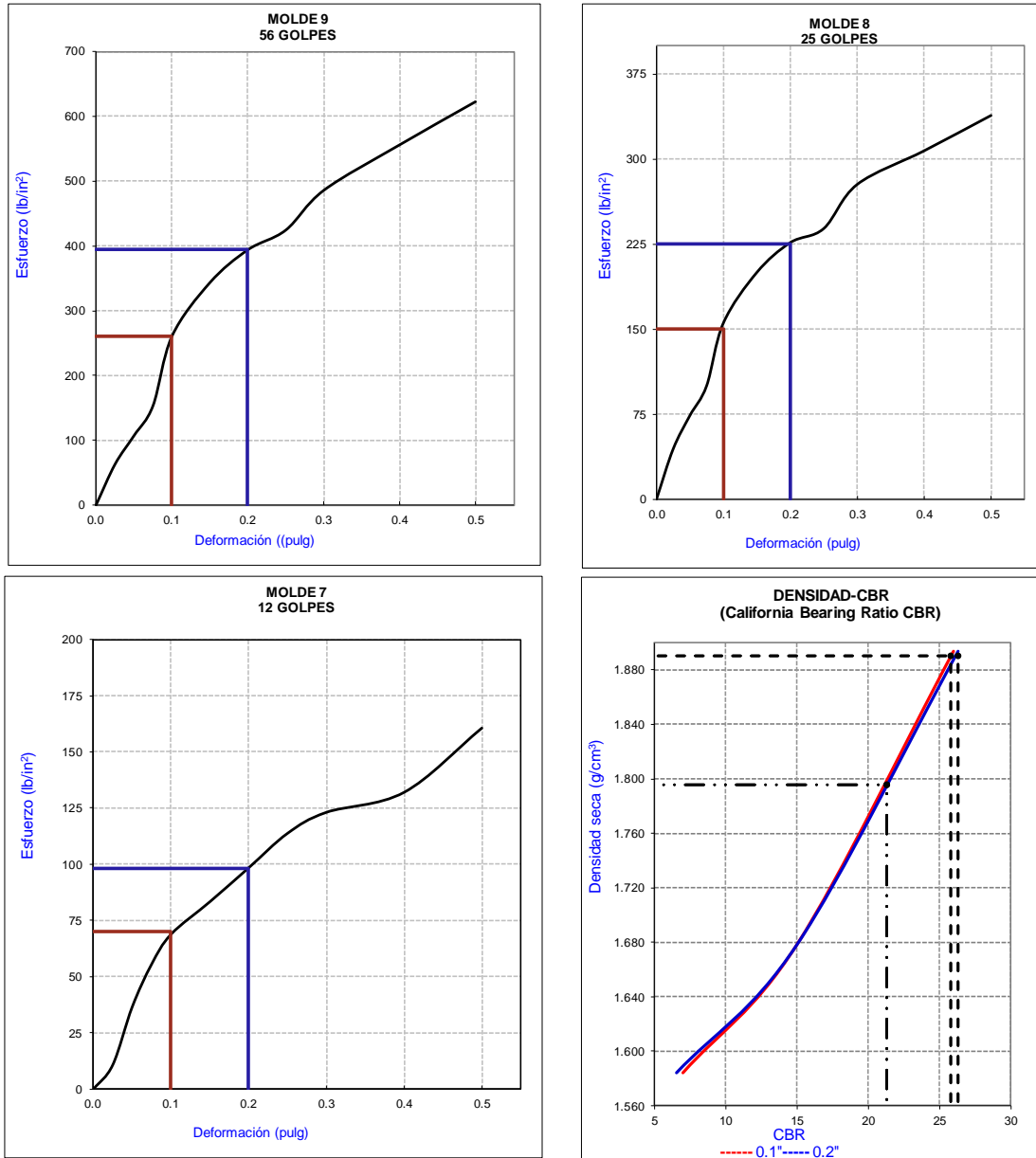
COMPACTACION CBR						
MOLDE	9		8		7	
Altura Molde mm.	118		118		118	
N° Capas	5		5		5	
N°Golg x Capa	56		25		12	
<b>Condición de la muestra</b>	<b>NO SATURADO</b>	<b>SATURADO</b>	<b>NO SATURADO</b>	<b>SATURADO</b>	<b>NO SATURADO</b>	<b>SATURADO</b>
Masa de molde + Suelo húmedo (g)	13109.00	13344.00	12563.50	12856.00	12353.00	12536.00
Masa de molde (g)	8618.50	8618.50	8543.00	8543.00	8552.00	8552.00
Masa del suelo húmedo (g)	4490.50	4725.50	4020.50	4313.00	3801.00	3984.00
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2127.01	2127.01	2151.95	2151.95	2139.86	2139.86
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2.111</b>	<b>2.222</b>	<b>1.868</b>	<b>2.004</b>	<b>1.776</b>	<b>1.862</b>

HUMEDADES						
Masa suelo húmedo + tara (g)	402.7	446.00	411.0	463.10	439.2	444.10
Masa suelo seco + tara (g)	364.1	376.80	372.1	388.60	394.9	372.90
Masa de tara (g)	28.5	30.50	28.6	30.90	29.2	31.40
Masa de agua (g)	38.60	69.20	38.90	74.50	44.30	71.20
Masa de suelo seco (g)	335.60	346.30	343.50	357.70	365.70	341.50
Contenido de humedad (%)	11.50%	19.98%	11.32%	20.83%	12.11%	20.85%
<b>Contenido de humedad promedio</b>	<b>11.50%</b>	<b>19.98%</b>	<b>11.32%</b>	<b>20.83%</b>	<b>12.11%</b>	<b>20.85%</b>
<b>Densidad seca (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.893</b>	<b>1.852</b>	<b>1.678</b>	<b>1.659</b>	<b>1.584</b>	<b>1.541</b>

HINCHAMIENTO										
TIEMPO ACUMULADO		MOLDE N° 9			MOLDE N° 8			MOLDE N° 7		
		LECTURA	HINCHAMIENTO		LECTURA	HINCHAMIENTO		LECTURA	HINCHAMIENTO	
Horas	Días	DEFORM. (mm)	(%)		DEFORM. (mm)	(%)		DEFORM. (mm)	(%)	
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	0.838	0.838	0.71	0.838	0.838	0.71	0.914	0.914	0.77
48	2	0.889	0.889	0.75	0.889	0.889	0.75	0.991	0.991	0.84
72	3	1.168	1.168	0.99	1.168	1.168	0.99	1.219	1.219	1.03
96	4	1.270	1.270	1.08	1.270	1.270	1.08	1.422	1.422	1.21

ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN										
PENETRACION		MOLDE N° 9			MOLDE N° 8			MOLDE N° 7		
(mm)	(in.)	CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO	
			kg/cm <sup>2</sup>	lb/in. <sup>2</sup>		kg/cm <sup>2</sup>	lb/in. <sup>2</sup>		kg/cm <sup>2</sup>	lb/in. <sup>2</sup>
0.00	0.000	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.64	0.025	87.1	4.44	62.96	61.5	3.13	44.46	15.0	0.76	10.84
1.27	0.050	148.1	7.54	107.06	102.3	5.21	73.95	50.6	2.58	36.58
1.91	0.075	211.8	10.79	153.10	138.5	7.05	100.12	76.9	3.92	55.59
2.54	0.100	360.3	18.35	260.45	215.0	10.95	155.42	95.3	4.85	68.89
3.81	0.150	474.7	24.18	343.15	276.7	14.09	200.02	115.3	5.87	83.35
5.08	0.200	544.8	27.75	393.82	313.1	15.95	226.33	136.2	6.94	98.45
6.35	0.250	586.9	29.89	424.25	330.2	16.82	238.69	157.4	8.02	113.78
7.62	0.300	671.7	34.21	485.55	384.0	19.56	277.58	170.3	8.67	123.10
10.16	0.400	768.9	39.16	555.81	425.0	21.65	307.22	182.6	9.30	132.00
12.70	0.500	861.0	43.85	622.39	468.1	23.84	338.38	222.1	11.31	160.55

GRÁFICAS



PENETRACIÓN	Densidad	0.1 (*)	0.2 (*)	CBR(0.1)	CBR(0.2)
MOLDE 9	1.893	260.00	395.00	26.0	26.3
MOLDE 8	1.678	150.00	225.00	15.0	15.0
MOLDE 7	1.584	70.00	98.00	7.0	6.5

Datos de ensayo próctor: ASTM D 1557

Densidad máxima seca = 1.890 g/cm<sup>3</sup>

Humedad óptima = 12.4 %

C.B.R. Para el 100% de la M.D.S.	0.1" = 25.8 %	0.2" = 26.3 %
C.B.R. Para el 95% de la M.D.S.	0.1" = 21.3 %	0.2" = 21.3 %

**Tabla 57**

*Ensayo de CBR del suelo con 3% de cal y 11% de melaza (Calicata 2)*

**RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)**  
(NORMA AASHTO T-193, ASTM D 1883)

**DATOS DE LA MUESTRA**

<b>Calicata</b>	: C-2	<b>Fecha muestreo</b>	: 24/06/2020
<b>Progresiva</b>	: Km 0+986	<b>Muestreo</b>	: YSIS
<b>Tipo de material</b>	: SUELO NATURAL + 3% CAL + 11% MELAZA	<b>Descripción</b>	: COLOR MARRÓN

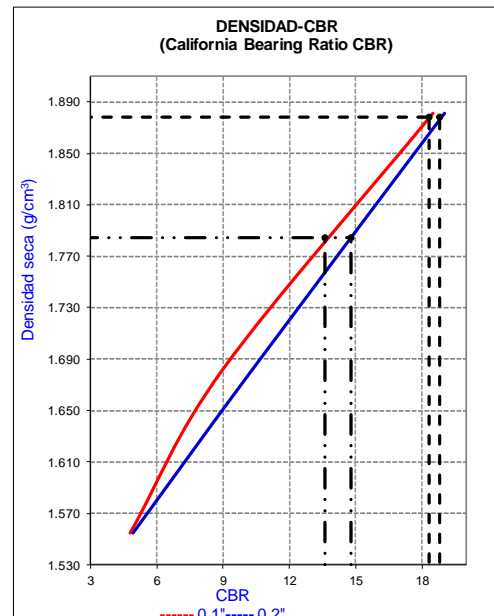
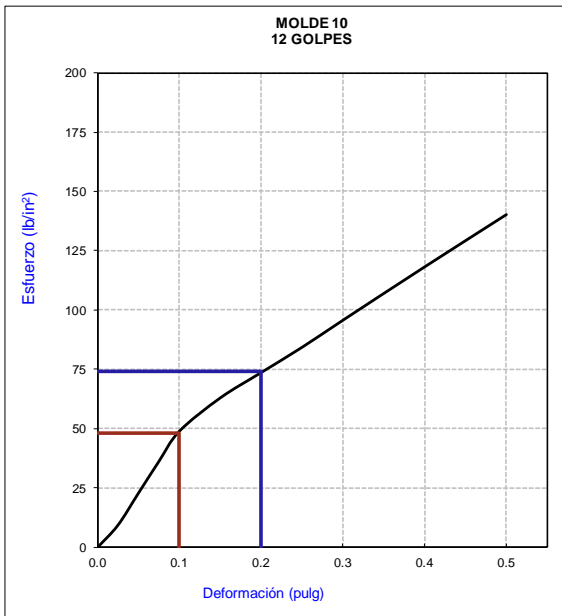
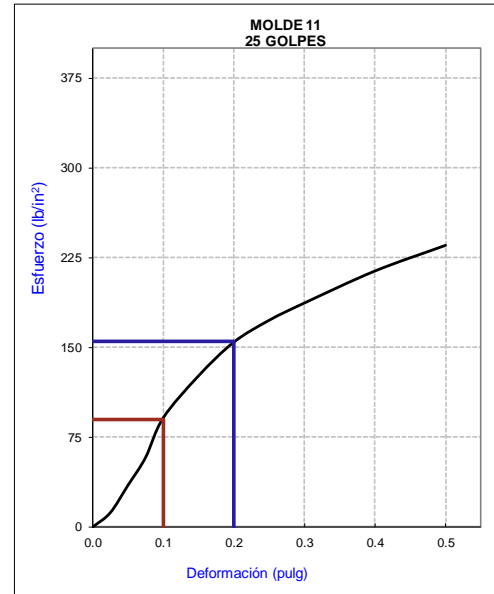
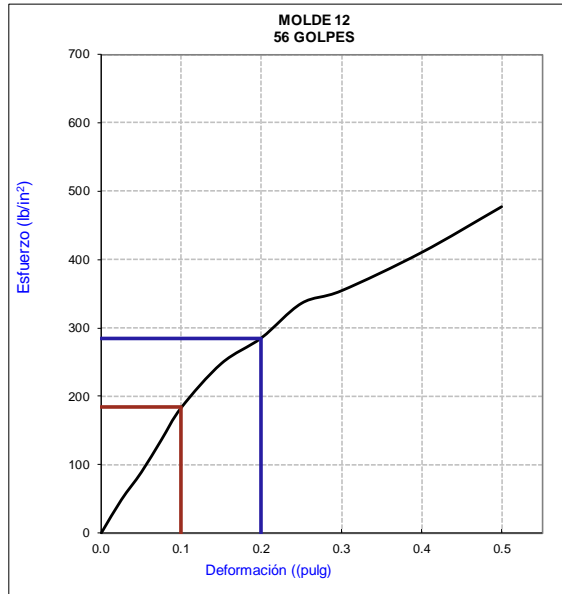
COMPACTACION CBR						
MOLDE	12		11		10	
Altura Molde mm.	118		118		118	
N° Capas	5		5		5	
N°Golp x Capa	56		25		12	
<b>Condición de la muestra</b>	<b>NO SATURADO</b>	<b>SATURADO</b>	<b>NO SATURADO</b>	<b>SATURADO</b>	<b>NO SATURADO</b>	<b>SATURADO</b>
Masa de molde + Suelo húmedo (g)	12879.50	13116.00	12634.00	12956.00	12532.50	12913.00
Masa de molde (g)	8404.50	8404.50	8628.50	8628.50	8811.00	8811.00
Masa del suelo húmedo (g)	4475.00	4711.50	4005.50	4327.50	3721.50	4102.00
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2140.13	2140.13	2140.94	2140.94	2154.20	2154.20
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2.091</b>	<b>2.202</b>	<b>1.871</b>	<b>2.021</b>	<b>1.728</b>	<b>1.904</b>

HUMEDADES						
Masa suelo húmedo + tara (g)	304.70	452.50	392.10	520.70	328.40	496.50
Masa suelo seco + tara (g)	277.00	383.10	355.40	430.40	298.50	407.90
Masa de tara (g)	28.20	35.20	27.80	34.40	29.00	28.80
Masa de agua (g)	27.70	69.40	36.70	90.30	29.90	88.60
Masa de suelo seco (g)	248.80	347.90	327.60	396.00	269.50	379.10
Contenido de humedad (%)	11.13%	19.95%	11.20%	22.80%	11.09%	23.37%
<b>Contenido de humedad promedio</b>	<b>11.13%</b>	<b>19.95%</b>	<b>11.20%</b>	<b>22.80%</b>	<b>11.09%</b>	<b>23.37%</b>
<b>Densidad seca (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.882</b>	<b>1.835</b>	<b>1.682</b>	<b>1.646</b>	<b>1.555</b>	<b>1.543</b>

HINCHAMIENTO										
TIEMPO ACUMULADO		MOLDE N°		12	MOLDE N°		11	MOLDE N°		10
		LECTURA	HINCHAMIENTO		LECTURA	HINCHAMIENTO		LECTURA	HINCHAMIENTO	
Horas	Días	DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	0.838	0.838	0.71	1.143	1.143	0.97	2.184	2.184	1.85
48	2	1.067	1.067	0.90	1.422	1.422	1.21	2.438	2.438	2.07
72	3	1.295	1.295	1.10	1.600	1.600	1.36	2.540	2.540	2.15
96	4	1.473	1.473	1.25	1.651	1.651	1.40	2.591	2.591	2.20

ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN										
PENETRACION		MOLDE N° 12			MOLDE N° 11			MOLDE N° 10		
(mm)	(in.)	CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO	
			kg/cm <sup>2</sup>	lb/in. <sup>2</sup>		kg/cm <sup>2</sup>	lb/in. <sup>2</sup>		kg/cm <sup>2</sup>	lb/in. <sup>2</sup>
0.00	0.000	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.64	0.025	67.0	3.41	48.43	16.5	0.84	11.93	13.0	0.66	9.40
1.27	0.050	122.9	6.26	88.84	48.1	2.45	34.77	31.6	1.61	22.84
1.91	0.075	188.4	9.60	136.19	80.3	4.09	58.05	50.1	2.55	36.22
2.54	0.100	253.9	12.93	183.54	126.1	6.42	91.15	67.7	3.45	48.94
3.81	0.150	343.0	17.47	247.94	174.7	8.90	126.29	87.1	4.44	62.96
5.08	0.200	394.8	20.11	285.39	213.7	10.88	154.48	101.9	5.19	73.66
6.35	0.250	464.7	23.67	335.92	239.0	12.17	172.77	116.6	5.94	84.29
7.62	0.300	490.2	24.97	354.35	259.0	13.19	187.22	132.4	6.74	95.71
10.16	0.400	567.6	28.91	410.30	296.0	15.08	213.97	163.5	8.33	118.19
12.70	0.500	660.2	33.62	477.24	325.7	16.59	235.44	194.0	9.88	140.24

GRÁFICAS



PENETRACIÓN	Densidad	0.1 (*)	0.2 (*)	CBR(0.1)	CBR(0.2)
<b>MOLDE 12</b>	1.882	185.00	285.00	<b>18.5</b>	<b>19.0</b>
<b>MOLDE 11</b>	1.682	90.00	155.00	<b>9.0</b>	<b>10.3</b>
<b>MOLDE 10</b>	1.555	48.00	74.00	<b>4.8</b>	<b>4.9</b>

Datos de ensayo próctor: **ASTM D 1557**      Densidad máxima seca = **1.878 g/cm³**  
 Humedad óptima = **11.8 %**

C.B.R. Para el 100% de la M.D.S.	0.1" = <b>18.3 %</b>	0.2" = <b>18.8 %</b>
C.B.R. Para el 95% de la M.D.S.	0.1" = <b>13.6 %</b>	0.2" = <b>14.8 %</b>

- Calicata 3

**Tabla 58**

*Ensayo Proctor del suelo con 3% de cal (Calicata 3)*

Relación Densidad Vs Humedad (Próctor Modificado)

ASTM D 698 / 1557

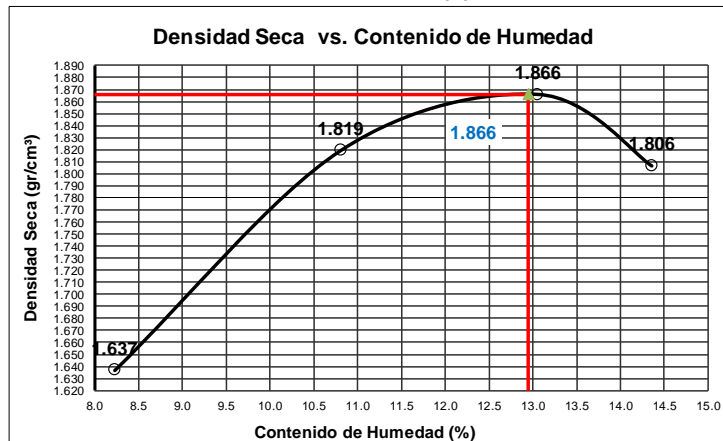
Calicata	C-3		Fecha de Muestreo	08-Feb-19	
Coordenadas	N: 9206300.563	E: 778821.729	Fecha de Ensayo	27-Feb-19	al 01-Mar-19
Progresiva	KM 1+873		Ensayado por	Ysis y Luis	
Tipo de Material	Suelo+3%cal		Descripción del suelo	color marron claro	

DETERMINACIÓN	1	2	3	4
Contenido de agua (%)	10%	12%	14%	16%
Peso Molde + material húmedo (g)	5432	5662	5750	5709
Peso del molde (g)	3765.0	3765.0	3765.0	3765.0
Peso de material húmedo (g)	1667	1897	1985	1944
Volumen del molde molde (cm3)	941.1	941.1	941.1	941.1
Densidad húmeda (g/cm3)	1.771	2.016	2.109	2.066

Numero de cápsula	T-17	T-13	T-14	T-18
Cápsula + material húmedo (g)	682.5	720.0	725.0	748.0
Cápsula + material seco (g)	638.0	660.0	652.0	666.0
Peso del agua (g)	44.5	60.0	73.0	82.0
Peso de la cápsula (g)	97.3	105.0	93.0	95.0
Peso de suelo seco (g)	540.7	555.0	559.0	571.0
Contenido de agua (%)	8.2	10.8	13.1	14.4
Densidad seca (g/cm3)	1.637	1.819	1.866	1.806

Método	A	Molde	4"	Pisón Próctor	Estándar	T° Secado	60°C	Norma ASTM
	B		6"		Modificado		110°C	
	C		Otro		Otro		Estufa	
Clasificación SUCS :		0.00	Volumen Molde(CC)		941.1	Peso molde(g)		3765.0

1675



DENSIDAD MAXIMA (gr/cm3)	1.866
HUMEDAD OPTIMA %	13.0
DENSIDAD MAX. CORREGIDA (gr/cm3)	1.885
HUMEDAD OPTIMA CORREGIDA%	12.5



Tabla 59

Ensayo Proctor del suelo con 3% de cal y 5% de melaza (Calicata 3)

Relación Densidad Vs Humedad (Próctor Modificado)  
ASTM D 698 / 1557

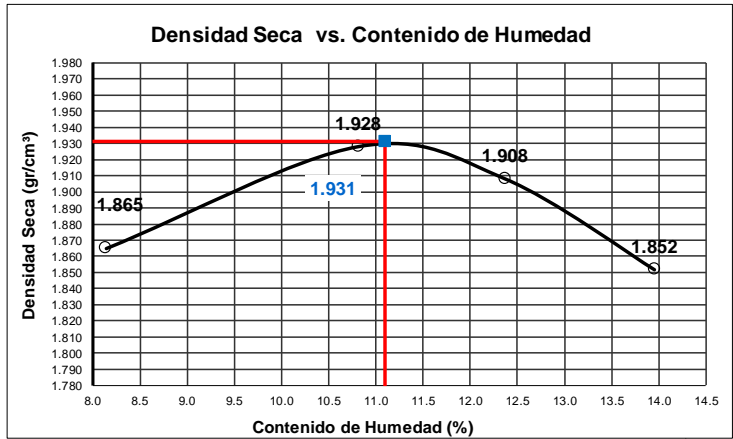
Calicata	C-3		Fecha de Muestreo	08-Feb-19	
Coordenadas	N: 9206300.563	E: 778821.729	Fecha de Ensayo	1-Mar-19	al 03-Mar-19
Progresiva	KM 1+873		Ensayado por	Ysis y Luis	
Tipo de Material	Suelo + 3%cal + 5%Melaza		Descripción del suelo	Color marron claro	

DETERMINACIÓN	1	2	3	4
Contenido de agua (%)	6%	8%	10%	12%
Peso Molde + material húmedo (g)	5663	5776	5783	5751
Peso del molde (g)	3765.0	3765.0	3765.0	3765.0
Peso de material húmedo (g)	1898	2011	2018	1986
Volumen del molde (cm3)	941.1	941.1	941.1	941.1
Densidad húmeda (g/cm3)	2.017	2.137	2.144	2.110

Numero de cápsula	T-18	T-16	T-01	T-09
Cápsula + material húmedo (g)	774.0	772.0	736.0	743.0
Cápsula + material seco (g)	722.0	707.0	665.0	665.0
Peso del agua (g)	52.0	65.0	71.0	78.0
Peso de la cápsula (g)	83.0	106.0	91.0	106.0
Peso de suelo seco (g)	639.0	601.0	574.0	559.0
Contenido de agua (%)	8.1	10.8	12.4	14.0
Densidad seca (g/cm3)	1.865	1.928	1.908	1.852

Método	A	Molde	4"	Pisón Próctor	Estándar	T° Secado	60°C	Norma ASTM
	B		6"		Modificado		110°C	
	C		Otro		Otro		Estufa	
Clasificación SUCS :		0.00	Volumen Molde(CC)		941.1	Peso molde(g)		

1675



DENSIDAD MAXIMA (gr/cm3)	1.931
HUMEDAD OPTIMA %	11.1
DENSIDAD MAX. CORREGIDA (gr/cm3)	1.949
HUMEDAD OPTIMA CORREGIDA%	10.7

Tabla 60

Ensayo Proctor del suelo con 3% de cal y 8% de melaza (Calicata 3)

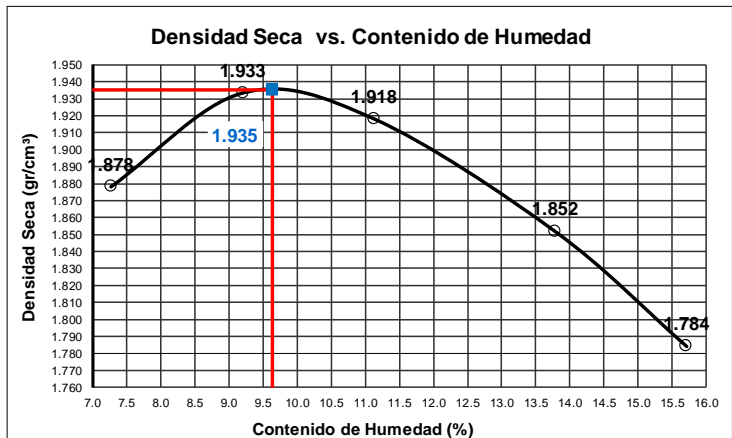
Relación Densidad Vs Humedad (Próctor Modificado)

ASTM D 698 / 1557

Calicata	C-3		Fecha de Muestreo	08-Feb-19	
Coordenadas	N: 9206300.563	E: 778821.729	Fecha de Ensayo	2-Mar-19	al 04-Mar-19
Progresiva	KM 1+873		Ensayado por	Ysis y Luis	
Tipo de Material	Suelo + 3%cal + 8%Melaza		Descripción del suelo	Color marron claro	

DETERMINACIÓN	1	2	3	4	5
Contenido de agua (%)	4%	6%	8%	10%	12%
Peso Molde + material húmedo (g)	5661	5752	5771	5748	5708
Peso del molde (g)	3765.0	3765.0	3765.0	3765.0	3765.0
Peso de material húmedo (g)	1896	1987	2006	1983	1943
Volumen del molde (cm3)	941.1	941.1	941.1	941.1	941.1
Densidad húmeda (g/cm3)	2.015	2.111	2.132	2.107	2.065

Numero de cápsula		T-23	T-01	T-02	T-04	T-05		
Cápsula + material húmedo (g)		743.0	779.0	780.0	780.0	813.0		
Cápsula + material seco (g)		698.0	721.0	712.0	697.0	714.0		
Peso del agua (g)		45.0	58.0	68.0	83.0	99.0		
Peso de la cápsula (g)		79.0	91.0	101.0	95.0	84.0		
Peso de suelo seco (g)		619.0	630.0	611.0	602.0	630.0		
Contenido de agua (%)		7.3	9.2	11.1	13.8	15.7		
Densidad seca (g/cm3)		1.878	1.933	1.918	1.852	1.784		
Método	A	Molde	4"	Pisón Próctor	Estándar	T° Secado	60°C	Norma ASTM
	B		6"		Modificado		110°C	
	C		Otro		Otro		Estufa	
Clasificación SUCS :		0.00	Volumen Molde(CC)	941.1	Peso molde(g)		3765.0	



DENSIDAD MAXIMA (gr/cm3)	1.935
HUMEDAD OPTIMA %	9.6
DENSIDAD MAX. CORREGIDA (gr/cm3)	1.953
HUMEDAD OPTIMA CORREGIDA%	9.3

Tabla 61

Ensayo Proctor del suelo con 3% de cal y 11% de melaza (Calicata 3)

Relación Densidad Vs Humedad (Próctor Modificado)

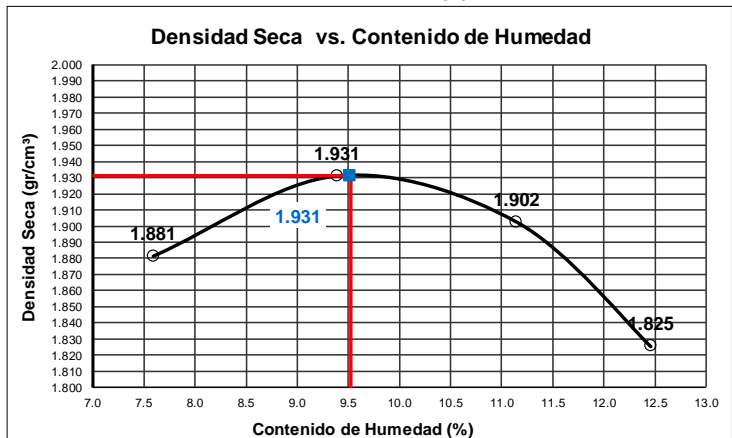
ASTM D 698 / 1557

Calicata	C-3		Fecha de Muestreo	08-Feb-19	
Coordenadas	N: 9206300.563	E: 778821.729	Fecha de Ensayo	6-Mar-19	al 08-Mar-19
Progresiva	KM 1+873		Ensayado por	Ysis y Luis	
Tipo de Material	Suelo + 3%cal + 11%Melaza		Descripción del suelo	Color marron claro	

DETERMINACIÓN	1	2	3	4	
Contenido de agua (%)	4%	6%	8%	10%	
Peso Molde + material húmedo (g)	5670	5753	5755	5697	
Peso del molde (g)	3765.0	3765.0	3765.0	3765.0	
Peso de material húmedo (g)	1905	1988	1990	1932	
Volumen del molde (cm3)	941.1	941.1	941.1	941.1	
Densidad húmeda (g/cm3)	2.024	2.112	2.115	2.053	

Número de cápsula				T-16	T-13	T-14	T-15	
Cápsula + material húmedo (g)				786.0	745.0	763.0	781.0	
Cápsula + material seco (g)				738.0	689.0	696.0	702.0	
Peso del agua (g)				48.0	56.0	67.0	79.0	
Peso de la cápsula (g)				106.0	93.0	95.0	68.0	
Peso de suelo seco (g)				632.0	596.0	601.0	634.0	
Contenido de agua (%)				7.6	9.4	11.1	12.5	
Densidad seca (g/cm3)				1.881	1.931	1.902	1.825	
Método	A	Molde	4"	Pisón Próctor	Estándar	T° Secado	60°C	Norma ASTM
	B		6"		Modificado		110°C	
	C		Otro		Otro		Estufa	
Clasificación SUCS :		0.00	Volumen Molde(CC)		941.1	Peso molde(g)		3765.0

1675



DENSIDAD MAXIMA (gr/cm3)	1.931
HUMEDAD OPTIMA %	9.5
DENSIDAD MAX. CORREGIDA (gr/cm3)	1.949
HUMEDAD OPTIMA CORREGIDA%	9.2

**Tabla 62**

*Ensayo de CBR del suelo con 3% de cal (Calicata 3)*

**RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)**  
(NORMA AASHTO T-193, ASTM D 1883)

**DATOS DE LA MUESTRA**

<b>Calicata</b>	: C-3	<b>Fecha muestreo</b>	: 31/08/2020
<b>Progresiva</b>	: Km 1+873	<b>Muestreo</b>	: YSIS
<b>Tipo de material</b>	: SUELO NATURAL+3%CAL	<b>Descripción</b>	: COLOR MARRÓN CLARO

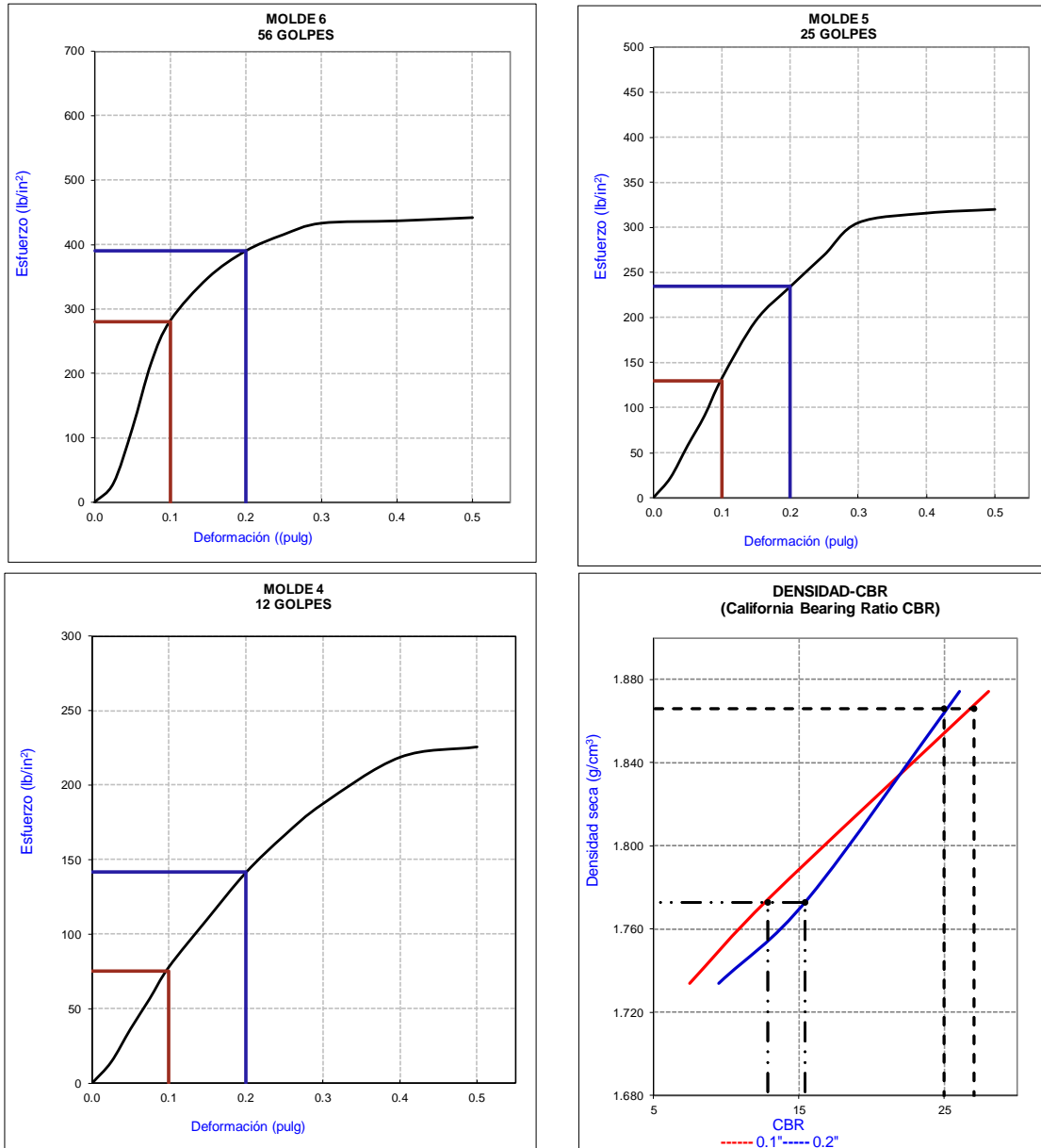
COMPACTACION CBR						
MOLDE	6		5		4	
Altura Molde mm.	118		118		118	
N° Capas	5		5		5	
N°Golg x Capa	56		25		12	
<b>Condición de la muestra</b>	<b>NO SATURADO</b>	<b>SATURADO</b>	<b>NO SATURADO</b>	<b>SATURADO</b>	<b>NO SATURADO</b>	<b>SATURADO</b>
Masa de molde + Suelo húmedo (g)	12913.50	13054.00	13041.00	13394.50	12800.00	13136.50
Masa de molde (g)	8395.00	8395.00	8799.50	8799.50	8646.00	8646.00
Masa del suelo húmedo (g)	4518.50	4659.00	4241.50	4595.00	4154.00	4490.50
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2150.18	2150.18	2122.61	2122.61	2130.82	2130.82
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2.101</b>	<b>2.167</b>	<b>1.998</b>	<b>2.165</b>	<b>1.949</b>	<b>2.107</b>

HUMEDADES						
Masa suelo húmedo + tara (g)	512.70	561.10	460.60	603.00	452.20	523.80
Masa suelo seco + tara (g)	460.80	495.60	413.00	518.10	405.30	447.40
Masa de tara (g)	33.00	31.50	34.40	32.30	28.30	28.10
Masa de agua (g)	51.90	65.50	47.60	84.90	46.90	76.40
Masa de suelo seco (g)	427.80	464.10	378.60	485.80	377.00	419.30
Contenido de humedad (%)	12.13%	14.11%	12.57%	17.48%	12.44%	18.22%
<b>Contenido de humedad promedio</b>	<b>12.13%</b>	<b>14.11%</b>	<b>12.57%</b>	<b>17.48%</b>	<b>12.44%</b>	<b>18.22%</b>
<b>Densidad seca (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.874</b>	<b>1.899</b>	<b>1.775</b>	<b>1.843</b>	<b>1.734</b>	<b>1.783</b>

HINCHAMIENTO										
TIEMPO ACUMULADO		MOLDE N° 6			MOLDE N° 5			MOLDE N° 4		
		LECTURA	HINCHAMIENTO		LECTURA	HINCHAMIENTO		LECTURA	HINCHAMIENTO	
Horas	Días	DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	0.889	0.889	0.75	1.321	1.321	1.12	2.235	2.235	1.89
48	2	1.473	1.473	1.25	2.261	2.261	1.92	2.845	2.845	2.41
72	3	2.057	2.057	1.74	2.946	2.946	2.50	3.353	3.353	2.84
96	4	2.235	2.235	1.89	3.099	3.099	2.63	3.581	3.581	3.04

ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN										
PENETRACION		MOLDE N° 6			MOLDE N° 5			MOLDE N° 4		
(mm)	(in.)	CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO	
			kg/cm <sup>2</sup>	lb/in. <sup>2</sup>		kg/cm <sup>2</sup>	lb/in. <sup>2</sup>		kg/cm <sup>2</sup>	lb/in. <sup>2</sup>
0.00	0.000	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.64	0.025	41.1	2.09	29.71	30.6	1.56	22.12	19.8	1.01	14.31
1.27	0.050	159.1	8.10	115.01	79.5	4.05	57.47	50.3	2.56	36.36
1.91	0.075	300.2	15.29	217.01	125.9	6.41	91.01	78.5	4.00	56.75
2.54	0.100	390.2	19.87	282.06	182.5	9.29	131.92	108.0	5.50	78.07
3.81	0.150	482.5	24.57	348.78	271.4	13.82	196.19	152.5	7.77	110.24
5.08	0.200	540.4	27.52	390.64	323.2	16.46	233.63	195.6	9.96	141.39
6.35	0.250	575.6	29.32	416.08	372.0	18.95	268.91	230.1	11.72	166.33
7.62	0.300	600.0	30.56	433.72	421.6	21.47	304.76	259.4	13.21	187.51
10.16	0.400	605.0	30.81	437.34	436.3	22.22	315.39	302.5	15.41	218.67
12.70	0.500	612.0	31.17	442.40	442.0	22.51	319.51	312.1	15.90	225.61

GRÁFICAS



PENETRACIÓN	Densidad	0.1 (*)	0.2 (*)	CBR(0.1)	CBR(0.2)
MOLDE 6	1.874	280.00	390.00	28.0	26.0
MOLDE 5	1.775	130.00	235.00	13.0	15.7
MOLDE 4	1.734	75.00	142.00	7.5	9.5

Datos de ensayo próctor: ASTM D 1557

Densidad máxima seca = 1.866 g/cm<sup>3</sup>

Humedad óptima = 13.0 %

C.B.R. Para el 100% de la M.D.S.	0.1" = 25.0 %	0.2" = 27.0 %
C.B.R. Para el 95% de la M.D.S.	0.1" = 12.9 %	0.2" = 15.4 %

**Tabla 63**

*Ensayo de CBR del suelo con 3% de cal y 5% de melaza (Calicata 3)*

**RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)**  
(NORMA AASHTO T-193, ASTM D 1883)

**DATOS DE LA MUESTRA**

<b>Calicata</b>	: C-3	<b>Fecha muestreo</b>	: 09/11/2020
<b>Progresiva</b>	: Km 1+873	<b>Muestreo</b>	: YSIS
<b>Tipo de material</b>	: SUELO NATURAL+3%CAL+5%MELAZA	<b>Descripción</b>	: COLOR MARRÓN CLARO

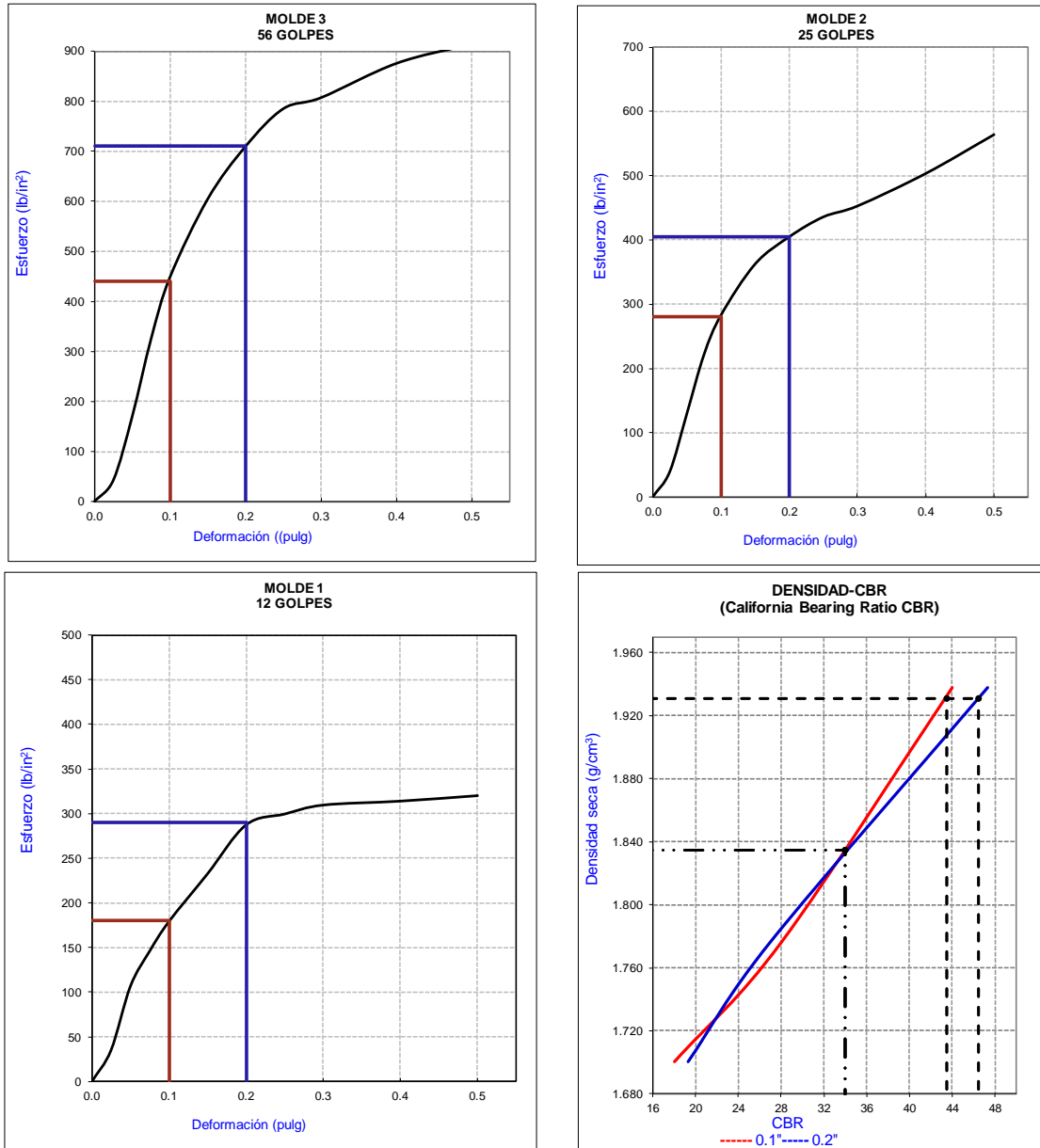
COMPACTACION CBR						
MOLDE	<b>3</b>		<b>2</b>		<b>1</b>	
Altura Molde mm.	118		118		118	
N° Capas	<b>5</b>		<b>5</b>		<b>5</b>	
N°Golp x Capa	<b>56</b>		<b>25</b>		<b>12</b>	
<b>Condición de la muestra</b>	<b>NO SATURADO</b>	<b>SATURADO</b>	<b>NO SATURADO</b>	<b>SATURADO</b>	<b>NO SATURADO</b>	<b>SATURADO</b>
Masa de molde + Suelo húmedo (g)	13197.00	13256.50	12764.50	13057.50	12585.50	12889.00
Masa de molde (g)	8632.00	8632.00	8554.00	8554.00	8561.00	8561.00
Masa del suelo húmedo (g)	4565.00	4624.50	4210.50	4503.50	4024.50	4328.00
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2121.38	2121.38	2134.31	2134.31	2132.49	2132.49
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2.152</b>	<b>2.180</b>	<b>1.973</b>	<b>2.110</b>	<b>1.887</b>	<b>2.030</b>

HUMEDADES						
Masa suelo húmedo + tara (g)	416.30	475.90	424.80	455.30	433.60	463.80
Masa suelo seco + tara (g)	378.00	425.40	385.70	399.60	393.90	401.80
Masa de tara (g)	31.40	32.40	32.90	31.50	33.20	33.00
Masa de agua (g)	38.30	50.50	39.10	55.70	39.70	62.00
Masa de suelo seco (g)	346.60	393.00	352.80	368.10	360.70	368.80
Contenido de humedad (%)	11.05%	12.85%	11.08%	15.13%	11.01%	16.81%
<b>Contenido de humedad promedio</b>	<b>11.05%</b>	<b>12.85%</b>	<b>11.08%</b>	<b>15.13%</b>	<b>11.01%</b>	<b>16.81%</b>
<b>Densidad seca (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.938</b>	<b>1.932</b>	<b>1.776</b>	<b>1.833</b>	<b>1.700</b>	<b>1.737</b>

HINCHAMIENTO										
TIEMPO ACUMULADO		MOLDE N° 3			MOLDE N° 2			MOLDE N° 1		
		LECTURA	HINCHAMIENTO		LECTURA	HINCHAMIENTO		LECTURA	HINCHAMIENTO	
Horas	Días	DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	0.114	0.114	0.10	0.389	0.389	0.33	0.648	0.648	0.55
48	2	0.127	0.127	0.11	0.432	0.432	0.37	0.660	0.660	0.56
72	3	0.127	0.127	0.11	0.432	0.432	0.37	0.660	0.660	0.56
96	4	0.127	0.127	0.11	0.432	0.432	0.37	0.660	0.660	0.56

ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN										
PENETRACION		MOLDE N° 3			MOLDE N° 2			MOLDE N° 1		
(mm)	(in.)	CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO	
			kg/cm <sup>2</sup>	lb/in. <sup>2</sup>		kg/cm <sup>2</sup>	lb/in. <sup>2</sup>		kg/cm <sup>2</sup>	lb/in. <sup>2</sup>
0.00	0.000	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.64	0.025	59.2	3.02	42.79	54.4	2.77	39.32	49.0	2.50	35.42
1.27	0.050	235.4	11.99	170.16	179.2	9.13	129.54	147.8	7.53	106.84
1.91	0.075	450.0	22.92	325.29	306.0	15.58	221.20	202.4	10.31	146.31
2.54	0.100	620.1	31.58	448.25	391.5	19.94	283.00	248.3	12.65	179.49
3.81	0.150	836.0	42.58	604.32	501.6	25.55	362.59	322.3	16.41	232.98
5.08	0.200	981.0	49.96	709.14	560.3	28.54	405.02	398.2	20.28	287.85
6.35	0.250	1085.1	55.26	784.39	603.2	30.72	436.04	415.0	21.14	299.99
7.62	0.300	1115.6	56.82	806.43	626.7	31.92	453.02	428.9	21.84	310.04
10.16	0.400	1210.5	61.65	875.03	696.7	35.48	503.62	435.0	22.15	314.45
12.70	0.500	1264.3	64.39	913.92	780.4	39.75	564.13	443.5	22.59	320.59

GRÁFICAS



PENETRACIÓN	Densidad	0.1 (*)	0.2 (*)	CBR(0.1)	CBR(0.2)
<b>MOLDE 3</b>	1.938	440.00	710.00	<b>44.0</b>	<b>47.3</b>
<b>MOLDE 2</b>	1.776	280.00	405.00	<b>28.0</b>	<b>27.0</b>
<b>MOLDE 1</b>	1.700	180.00	290.00	<b>18.0</b>	<b>19.3</b>

Datos de ensayo próctor: **ASTM D 1557**

Densidad máxima seca = **1.931 g/cm³**

Humedad óptima = **11.1 %**

C.B.R. Para el 100% de la M.D.S.	0.1" = <b>43.5 %</b>	0.2" = <b>46.5 %</b>
C.B.R. Para el 95% de la M.D.S.	0.1" = <b>34.0 %</b>	0.2" = <b>34.0 %</b>

**Tabla 64**

*Ensayo de CBR del suelo con 3% de cal y 8% de melaza (Calicata 3)*

**RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)**  
(NORMA AASHTO T-193, ASTM D 1883)

**DATOS DE LA MUESTRA**

<b>Calicata</b>	: C-3	<b>Fecha muestreo</b>	: 09/11/2020
<b>Progresiva</b>	: Km 1+873	<b>Muestreo</b>	: YSIS
<b>Tipo de material</b>	: SUELO NATURAL+3%CAL+8%MELAZA	<b>Descripción</b>	: COLOR MARRÓN CLARO

COMPACTACION CBR						
MOLDE	6		5		4	
Altura Molde mm.	118		118		118	
N° Capas	5		5		5	
N°Golg x Capa	56		25		12	
<b>Condición de la muestra</b>	<b>NO SATURADO</b>	<b>SATURADO</b>	<b>NO SATURADO</b>	<b>SATURADO</b>	<b>NO SATURADO</b>	<b>SATURADO</b>
Masa de molde + Suelo húmedo (g)	12958.00	13127.50	13005.00	13195.00	12805.50	13230.50
Masa de molde (g)	8395.00	8395.00	8646.00	8646.00	8799.50	8799.50
Masa del suelo húmedo (g)	4563.00	4732.50	4359.00	4549.00	4006.00	4431.00
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2150.18	2150.18	2130.82	2130.82	2122.61	2122.61
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2.122</b>	<b>2.201</b>	<b>2.046</b>	<b>2.135</b>	<b>1.887</b>	<b>2.088</b>

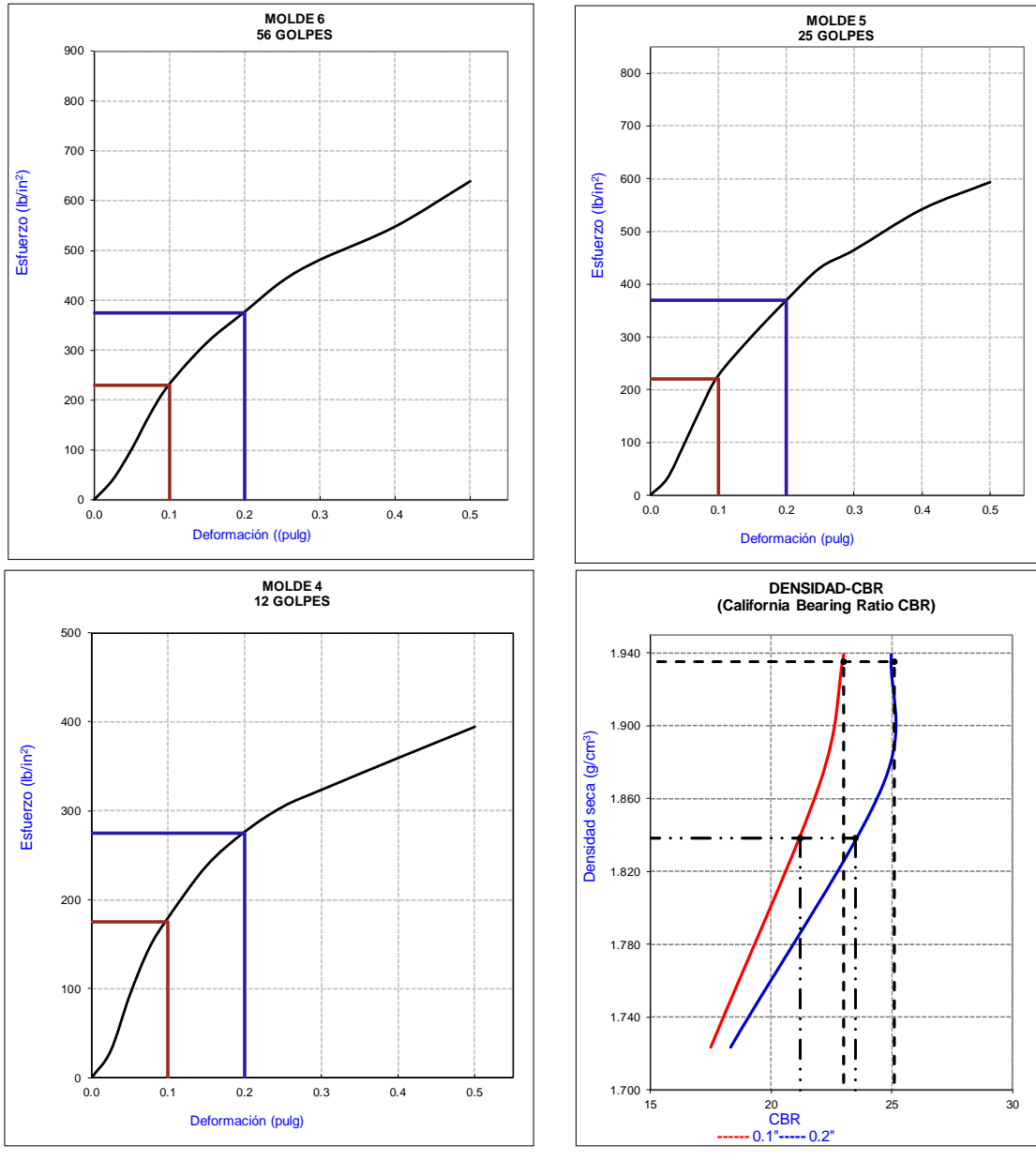
HUMEDADES						
Masa suelo húmedo + tara (g)	429.10	445.10	442.80	464.60	429.10	445.10
Masa suelo seco + tara (g)	395.00	396.80	407.20	416.20	394.80	396.80
Masa de tara (g)	33.60	32.70	33.10	32.40	33.60	32.70
Masa de agua (g)	34.10	48.30	35.60	48.40	34.30	48.30
Masa de suelo seco (g)	361.40	364.10	374.10	383.80	361.20	364.10
Contenido de humedad (%)	9.44%	13.27%	9.52%	12.61%	9.50%	13.27%
<b>Contenido de humedad promedio</b>	<b>9.44%</b>	<b>13.27%</b>	<b>9.52%</b>	<b>12.61%</b>	<b>9.50%</b>	<b>13.27%</b>
<b>Densidad seca (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.939</b>	<b>1.943</b>	<b>1.868</b>	<b>1.896</b>	<b>1.724</b>	<b>1.843</b>

HINCHAMIENTO										
TIEMPO ACUMULADO		MOLDE N° 6			MOLDE N° 5			MOLDE N° 4		
		LECTURA	HINCHAMIENTO		LECTURA	HINCHAMIENTO		LECTURA	HINCHAMIENTO	
Horas	Días	DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	0.043	0.043	0.04	0.165	0.165	0.14	0.241	0.241	0.20
48	2	0.048	0.048	0.04	0.203	0.203	0.17	0.279	0.279	0.24
72	3	0.051	0.051	0.04	0.203	0.203	0.17	0.279	0.279	0.24
96	4	0.051	0.051	0.04	0.203	0.203	0.17	0.279	0.279	0.24

ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN										
PENETRACION		MOLDE N° 6			MOLDE N° 5			MOLDE N° 4		
(mm)	(in.)	CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO	
			kg/cm <sup>2</sup>	lb/in. <sup>2</sup>		kg/cm <sup>2</sup>	lb/in. <sup>2</sup>		kg/cm <sup>2</sup>	lb/in. <sup>2</sup>
0.00	0.000	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.64	0.025	56.3	2.87	40.70	43.9	2.24	31.73	41.7	2.12	30.14
1.27	0.050	140.7	7.17	101.71	133.9	6.82	96.79	128.5	6.54	92.89
1.91	0.075	239.3	12.19	172.98	229.4	11.68	165.83	200.6	10.22	145.01
2.54	0.100	320.6	16.33	231.75	313.5	15.97	226.62	248.7	12.67	179.78
3.81	0.150	435.7	22.19	314.95	417.4	21.26	301.73	329.0	16.76	237.82
5.08	0.200	520.8	26.52	376.47	510.5	26.00	369.03	382.0	19.46	276.14
6.35	0.250	605.9	30.86	437.99	596.3	30.37	431.05	421.1	21.45	304.40
7.62	0.300	665.0	33.87	480.71	642.8	32.74	464.66	447.1	22.77	323.20
10.16	0.400	757.2	38.56	547.36	749.7	38.18	541.94	496.5	25.29	358.90
12.70	0.500	883.0	44.97	638.29	820.6	41.79	593.19	544.8	27.75	393.82



GRÁFICAS



PENETRACIÓN	Densidad	0.1 (*)	0.2 (*)	CBR(0.1)	CBR(0.2)
MOLDE 6	1.939	230.00	375.00	23.0	25.0
MOLDE 5	1.868	220.00	370.00	22.0	24.7
MOLDE 4	1.724	175.00	275.00	17.5	18.3

Datos de ensayo próctor: ASTM D 1557

Densidad máxima seca = 1.935 g/cm<sup>3</sup>

Humedad óptima = 9.6 %

C.B.R. Para el 100% de la M.D.S.	0.1" = 23.0 %	0.2" = 25.1 %
C.B.R. Para el 95% de la M.D.S.	0.1" = 21.2 %	0.2" = 23.5 %

**Tabla 65**

*Ensayo de CBR del suelo con 3% de cal y 11% de melaza (Calicata 3)*

**RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)**  
(NORMA AASHTO T-193, ASTM D 1883)

**DATOS DE LA MUESTRA**

<b>Calicata</b>	: C-3	<b>Fecha muestreo</b>	: 16/11/2020
<b>Progresiva</b>	: Km 1+987	<b>Muestreo</b>	: YSIS
<b>Tipo de material</b>	: SUELO NATURAL+3%CAL+11%MELAZA	<b>Descripción</b>	: COLOR MARRÓN CLARO

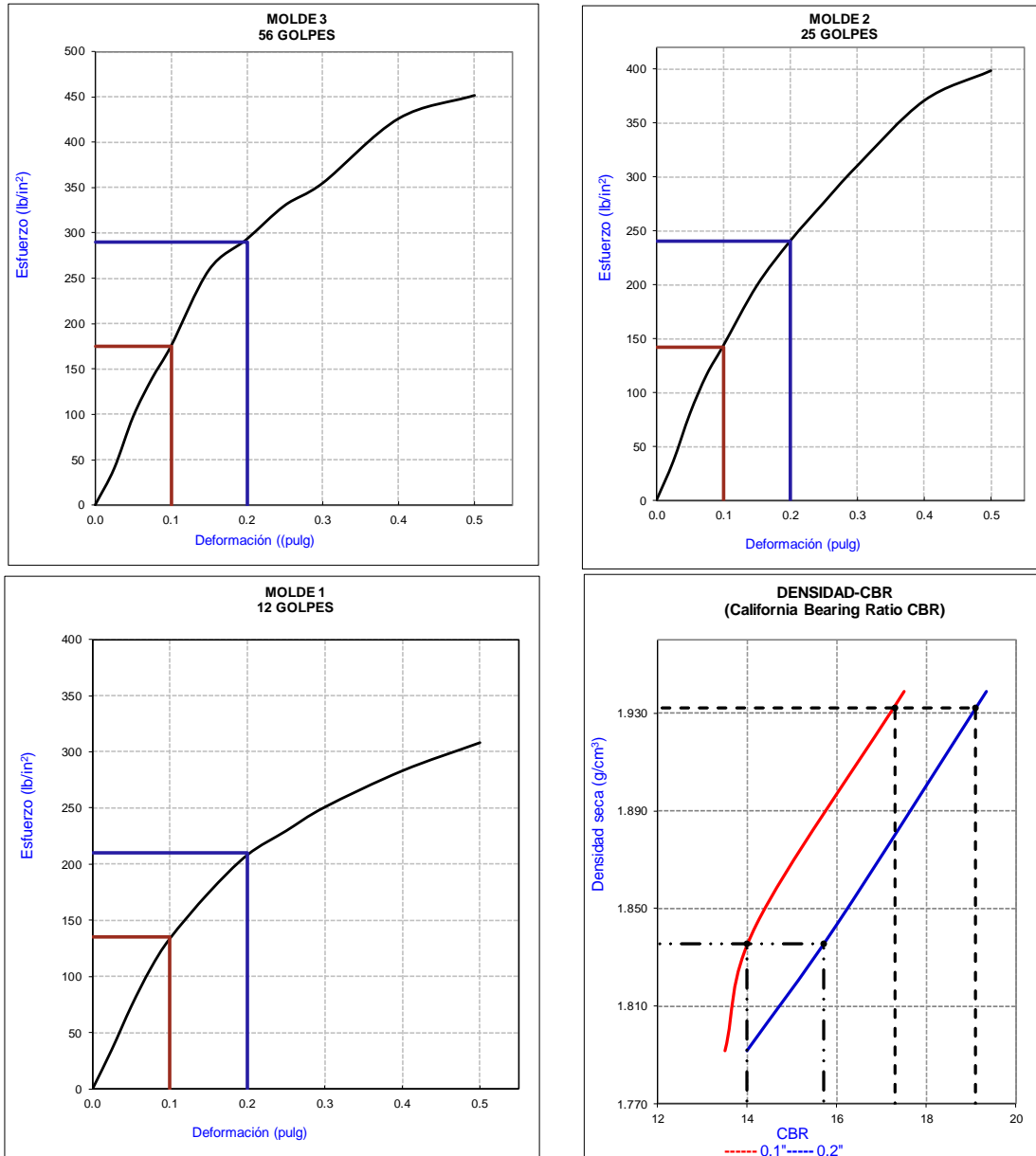
COMPACTACION CBR						
MOLDE	<b>3</b>		<b>2</b>		<b>1</b>	
Altura Molde mm.	118		118		118	
N° Capas	<b>5</b>		<b>5</b>		<b>5</b>	
N°Golg x Capa	<b>56</b>		<b>25</b>		<b>12</b>	
<b>Condición de la muestra</b>	<b>NO SATURADO</b>	<b>SATURADO</b>	<b>NO SATURADO</b>	<b>SATURADO</b>	<b>NO SATURADO</b>	<b>SATURADO</b>
Masa de molde + Suelo húmedo (g)	13134.50	13164.50	12860.50	13062.50	12741.50	12955.50
Masa de molde (g)	8632.00	8632.00	8554.00	8554.00	8561.00	8561.00
Masa del suelo húmedo (g)	4502.50	4532.50	4306.50	4508.50	4180.50	4394.50
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2121.38	2121.38	2134.31	2134.31	2132.49	2132.49
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2.122</b>	<b>2.137</b>	<b>2.018</b>	<b>2.112</b>	<b>1.960</b>	<b>2.061</b>

HUMEDADES						
Masa suelo húmedo + tara (g)	480.20	448.60	471.70	475.50	483.70	489.10
Masa suelo seco + tara (g)	441.50	397.70	433.80	403.60	444.90	425.10
Masa de tara (g)	33.10	34.40	33.60	31.50	33.20	32.40
Masa de agua (g)	38.70	50.90	37.90	71.90	38.80	64.00
Masa de suelo seco (g)	408.40	363.30	400.20	372.10	411.70	392.70
Contenido de humedad (%)	9.48%	14.01%	9.47%	19.32%	9.42%	16.30%
<b>Contenido de humedad promedio</b>	<b>9.48%</b>	<b>14.01%</b>	<b>9.47%</b>	<b>19.32%</b>	<b>9.42%</b>	<b>16.30%</b>
<b>Densidad seca (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.939</b>	<b>1.874</b>	<b>1.843</b>	<b>1.770</b>	<b>1.792</b>	<b>1.772</b>

HINCHAMIENTO										
TIEMPO ACUMULADO		MOLDE N° 3			MOLDE N° 2			MOLDE N° 1		
		LECTURA	HINCHAMIENTO		LECTURA	HINCHAMIENTO		LECTURA	HINCHAMIENTO	
Horas	Días	DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
24	1	0.025	0.025	0.02	0.152	0.152	0.13	0.254	0.254	0.22
48	2	0.076	0.076	0.06	0.203	0.203	0.17	0.330	0.330	0.28
72	3	0.076	0.076	0.06	0.203	0.203	0.17	0.330	0.330	0.28
96	4	0.076	0.076	0.06	0.203	0.203	0.17	0.330	0.330	0.28

ENSAYO CARGA - PENETRACIÓN										
PENETRACION		MOLDE N° 3			MOLDE N° 2			MOLDE N° 1		
(mm)	(in.)	CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO	
			kg/cm <sup>2</sup>	lb/in. <sup>2</sup>		kg/cm <sup>2</sup>	lb/in. <sup>2</sup>		kg/cm <sup>2</sup>	lb/in. <sup>2</sup>
0.00	0.000	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.64	0.025	55.5	2.83	40.12	49.7	2.53	35.93	48.8	2.49	35.28
1.27	0.050	134.6	6.86	97.30	111.1	5.66	80.31	101.8	5.18	73.59
1.91	0.075	193.2	9.84	139.66	161.0	8.20	116.38	148.4	7.56	107.27
2.54	0.100	242.5	12.35	175.30	198.4	10.10	143.42	185.6	9.45	134.16
3.81	0.150	358.6	18.26	259.22	275.2	14.02	198.93	241.9	12.32	174.86
5.08	0.200	405.7	20.66	293.27	332.6	16.94	240.43	288.6	14.70	208.62
6.35	0.250	457.1	23.28	330.42	381.6	19.43	275.85	318.2	16.21	230.02
7.62	0.300	491.2	25.02	355.07	428.8	21.84	309.97	347.5	17.70	251.20
10.16	0.400	589.6	30.03	426.20	512.4	26.10	370.40	392.2	19.97	283.51
12.70	0.500	625.0	31.83	451.79	550.9	28.06	398.23	426.8	21.74	308.52

GRÁFICAS



PENETRACIÓN	Densidad	0.1 (*)	0.2 (*)	CBR(0.1)	CBR(0.2)
MOLDE 9	1.939	175.00	290.00	17.5	19.3
MOLDE 8	1.843	142.00	240.00	14.2	16.0
MOLDE 7	1.792	135.00	210.00	13.5	14.0

Datos de ensayo próctor: ASTM D 1557

Densidad máxima seca = 1.932 g/cm<sup>3</sup>


Humedad óptima = 9.5 %

C.B.R. Para el 100% de la M.D.S.	0.1" = 17.3 %	0.2" = 19.1 %
C.B.R. Para el 95% de la M.D.S.	0.1" = 14.0 %	0.2" = 15.7 %

## Apéndice 3: Constancias de realización de ensayos de laboratorio

**Figura 34**

*Constancias de uso de laboratorio*

**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y GEOTECNICA**

---

La que suscribe, gerente de la empresa OSMA ENGINEERING SRL con RUC N° 20491604701, expide la siguiente:

**CONSTANCIA**


A nombre de la Bach. **LEIDY YSIS YASODARA SÁNCHEZ HIDALGO**, ex alumna de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Nacional de Cajamarca, con cual se da constancia que ha realizado las siguientes actividades:

ITEM	DETALLE
01	Análisis granulométrico por tamizado
02	Contenido de humedad
03	Límites de atterberg
04	Gravedad específica y absorción del agregado grueso
05	Relación densidad vs humedad (Proctor modificado)

Para la Tesis Titulada: **"EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE MELAZA Y CAL EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS DE LA CIUDAD DE CAJAMARCA, PARA SUBRASANTE DE PAVIMENTOS"**. Las actividades se desarrollaron desde febrero del 2019 hasta marzo 2019, cuyos resultados obran en este laboratorio.

Se expide el presente, para los fines que estime por conveniente.

Cajamarca, 17 de abril de 2019

  
Ing. MIRIAM MAGALUCA ROMERO  
GERENTE GENERAL  
OSMA ENGINEERING S.R.L.

El que suscribe, gerente general la empresa Geysing EIRL con RUC N° 20491782049, expide la siguiente:

## **CONSTANCIA**

A nombre de la Bach. **LEIDY YSIS YASODARA SÁNCHEZ HIDALGO**, ex alumna de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Nacional de Cajamarca, con cual se da constancia que ha realizado las siguientes actividades:

ITEM	DETALLE
01	Ensayos de Relación de Soporte de California (CBR)

Para la Tesis Titulada: **"EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE MELAZA Y CAL EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS DE LA CIUDAD DE CAJAMARCA, PARA SUBRASANTE DE PAVIMENTOS"**. Las actividades se desarrollaron desde junio de 2020 hasta noviembre 2020, cuyos resultados obran en este laboratorio.

Se expide el presente, para los fines que estime por conveniente.

Cajamarca, 1 de diciembre de 2020



**GEYSING**  
Geomecánica y Servicios de Ingeniería EIRL

INDECOPI N° 90069979-2011  
-GEOTECNIA-SUELOS-CONCRETO-PAVIMENTOS-  
CONTROL DE CALIDAD/  
REC: 20491782049

**GERENTE GENERAL**

#### Apéndice 4: Panel fotográfico

**Figura 35**

*Realización de la excavación (Calicata 1)*



**Figura 36** *Realización de la excavación (Calicata 2)*





**Figura 37**

*Realización de la excavación (Calicata 3)*



**Figura 38**

*Selección de la muestra por Método de Cuarteo*



**Figura 39**

*Realización del ensayo de granulometría*



**Figura 40**

*Ensayo de porcentaje que pasa la malla número 200*



**Figura 41**

*Pesaje de muestras para la obtención del contenido de humedad*





**Figura 42**

*Ensayos de límites de plasticidad*



**Figura 43**

*Preparación de las muestras para saturar previo al ensayo de proctor*



**Figura 44**

*Ensayo de proctor*



**Figura 45**

*Preparación de muestras para ensayo de CBR*



**Figura 46**

*Ensayo de CBR*



## ANEXOS

### Anexo 1

*Símbolos de grupo SUCS*

TIPO DE SUELO	PREFIJO	SUBGRUPO	SUFIJO
Grava	G	Bien graduado	W
Arena	S	Pobrementemente graduado	P
Limo	H	Limoso	M
Arcilla	C	Arcilloso	C
Orgánico	O	Limite liquido alto (>50)	L
Turba	Pt	Limite liquido bajo (<50)	H

**Nota:** *Obtenido de Bañón y Beviá, 2000*

### Anexo 2

*Tipología de suelos SUCS*

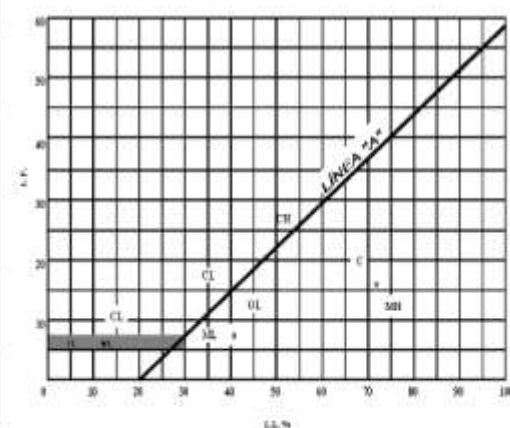
SÍMBOLO	CARACTERÍSTICAS GENERALES		
GW GP GM GC	GRAVAS (>50% en tamiz #4 ASTM)	Limpias (Fino<5%)	Bien graduadas
			Pobrementemente graduadas
		Con Finos (Fino>12%)	Componente limoso
			Componente arcilloso
SM SP SM SC	ARENAS (<50% en tamiz #4 ASTM)	Limpias (Fino<5%)	Bien graduadas
			Pobrementemente graduadas
		Con Finos (Fino>12%)	Componente limoso
			Componente arcilloso
ML MH	LIMOS	Baja plasticidad (LL<50)	
		Alta plasticidad (LL>50)	
CL CH	ARCILLAS	Baja plasticidad (LL<50)	
		Alta plasticidad (LL>50)	
OL OH	SUELOS INORGÁNICOS	Baja plasticidad (LL<50)	
		Alta plasticidad (LL>50)	
Pt	TURBA	Suelos altamente orgánicos	

**Nota:** *Obtenido de Guerra, 2018*



## Anexo 3

### Sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S.) incluyendo identificación y descripción

DIVISIÓN MAYOR				SÍMBOLO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN EL LABORATORIO
SUELOS DE PARTICULAS GRUESAS Más de la mitad del material es retenido en la malla número 200 (Ø)	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por la malla No. 4	ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por la malla No. 4	PARA CLASIFICACION VISUAL, PUEDE USARSE ½ cm. COMO EQUIVALENTE A LA ABERTURA DE LA MALLA No. 4	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD Cu: mayor de 4. COEFICIENTE DE CURVATURA Cc: entre 1 y 3. $Cu = D_{60} / D_{10}$ $Cc = (D_{30})^2 / (D_{10}(D_{60}))$
				GP	Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos	
				* GM d	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo	LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P. MENOR QUE 4.
				GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla	
		ARENAS Poco o nada de partículas finas	SW	SW	Arenas bien graduadas, arena con gravas, con poco o nada de finos.	Cu = $D_{60} / D_{10}$ mayor de 6 ; Cc = $(D_{30})^2 / (D_{10}(D_{60}))$ entre 1 y 3.
				SP	Arenas mal graduadas, arena con gravas, con poco o nada de finos.	
	ARENAS CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas	SM d	SC	SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.	LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P. MENOR QUE 4.
				SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.	
		LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido menor de 50	ML	ML	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.	G - Grava, S - Arena, O - Suelo Orgánico, P - Turba, M - Limo C - Arcilla, W - Bien Graduado, P - Mal Graduado, L - Baja Compresibilidad, H - Alta Compresibilidad
				CL	Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.	
SUELOS DE PARTICULAS FINAS Más de la mitad del material pasa por la malla número 200 (Ø) Las partículas de 0.075 mm de diámetro (la malla No. 200) son, aproximadamente, las más pequeñas visibles a simple vista.	LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido Mayor de 50	MH	CH	MH	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.	<b>CARTA DE PLASTICIDAD (S.U.C.S.)</b> 
				OH	Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.	
		SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS	P	P	Turbas y otros suelos altamente orgánicos.	
	LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido Mayor de 50	MH	CH	CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas.	
				OH	Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.	
		SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS	P	P	Turbas y otros suelos altamente orgánicos.	
				P	Turbas y otros suelos altamente orgánicos.	

**Nota:** Obtenido de Crespo, 2017

Asimismo, existen dentro de esta tipología caso intermedios donde se emplea doble nomenclatura, como es el caso de las gravas bien graduada que contenga un porcentaje de finos entre 5 y 12% se clasificará como GW-GM.

## Anexo 4

### Clasificación de suelos AASHTO

CLASIFICACIÓN GENERAL	MATERIALES GRANULARES							MATERIALES LIMOSO ARCILLOSO				
	(35% o menos pasa por el tamiz ASTM #200)							(más del 35% pasa el tamiz ASTM #200)				
GRUPO	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
SUBGRUPO	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO: % que pasa por cada tamiz												
ASTM #10 (2mm)	≤ 50	-	-	-				-				
ASTM #40 (0,425mm)	≤ 30	≤ 50	≥ 51	-				-				
ASTM #200 (0,075mm)	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35				≥ 36				
ESTADO DE CONSISTENCIA: de la fracción que pasa por el tamiz ASTM # 40												
Límite líquido	-	-	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41 IP<LL-30	≥ 41 IP>LL-30	
Índice de plasticidad	≤ 6	NP (No plástico)	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≥ 11	
ÍNDICE DE GRUPO	0	0	0	≤ 4			≤ 8	≤ 12	≤ 20	≤ 20		
TIPOLOGÍA	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Grava y arena arcillosa o limosa				Suelos limosos		Suelos arcillosos		
CALIDAD	Excelente a bueno							Aceptable a malo				

**Nota:** Obtenido de Das, 2018

## Anexo 5

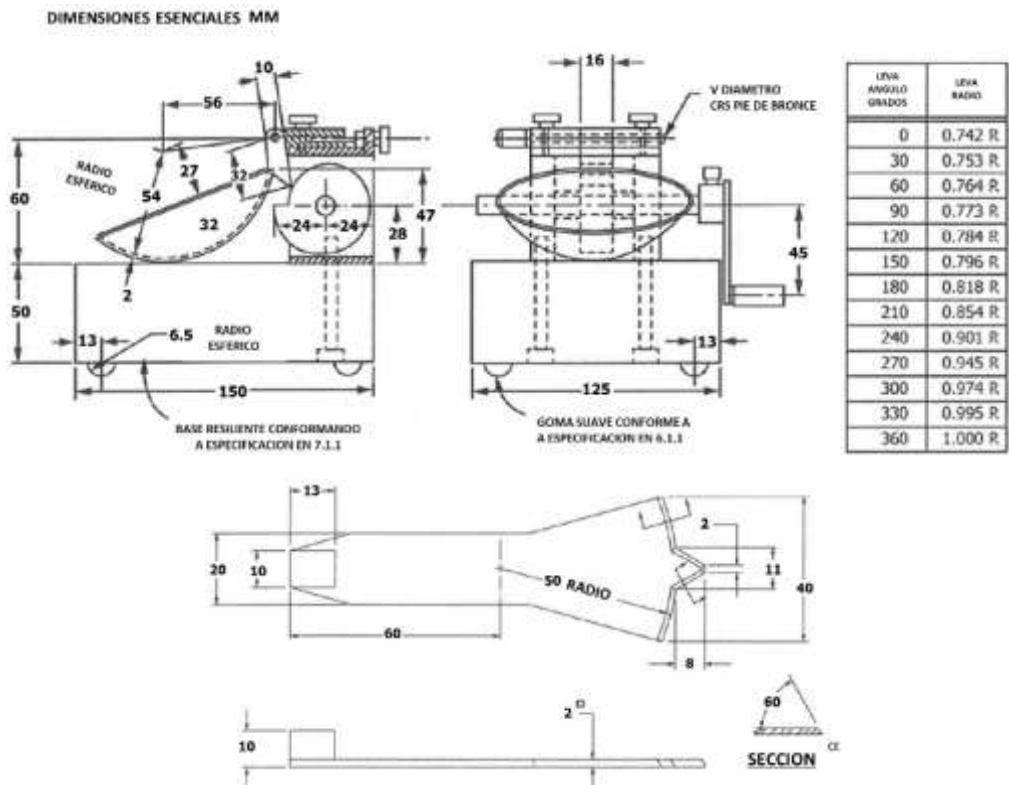
### Límites de separación de tamaño de suelo

Nombre de la organización	Tamaño de grano (mm)			
	Grava	Arena	Limo	Arcilla
Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT)	>2	2 a 0.06	0.06 a 0.002	<0.002
Departamento de Agricultura de E.U. (USDA)	>2	2 a 0.05	0.05 a 0.002	<0.002
Asociación Americana de Carreteras Estatales y Oficiales del Transporte (AASHTO)	76.2 a 2	2 a 0.075	0.078 a 0.002	<0.002
Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (Cuerpo de Ingenieros del Ejército de E.U., Oficina de Reclamación de E.U., Sociedad Americana para Pruebas y Materiales)	76.2 a 4.75	4.75 a 0.075	Finos (p.ej., linos y arcillas) 0.075	

**Nota:** Obtenido de Das, 2018

Anexo 6

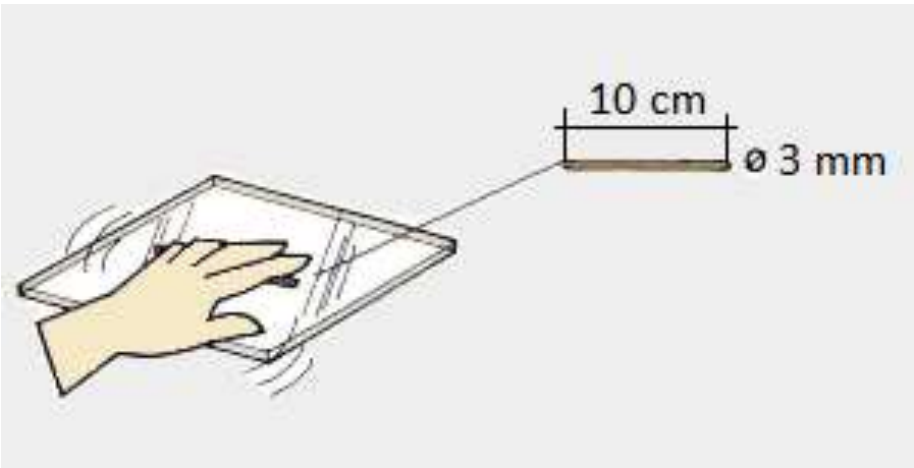
Detalles de la Cuchara de Casagrande



**Nota:** Obtenido de ASTM D4318, 2017

Anexo 7

Elaboración de cilindros de material



**Nota:** Obtenido de Elaboración de cilindros de material (FAO, 2022)



## Anexo 8

*Valores típicos de consistencia de un suelo plástico*

PARÁMETRO		TIPO DE SUELO		
		Arena	Limo	Arcilla
LL	Límite líquido	15-20	30-40	40-150
LP	Límite Plástico	15-20	20-25	25-50
LR	Límite de retracción	12-18	14-25	8-35
IP	Índice de plasticidad	0-3	10-15	10-100

**Nota:** *Obtenido de Guerra, 2018.*

## Anexo 9

*Clasificación de suelos según Índice de Plasticidad*

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

**Nota:** *Obtenido del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), 2014.*

## Anexo 10

*Equipos empleados en el ensayo Proctor estándar y Proctor modificado*



**Nota:** *Obtenido de Das, 2018.*

## Anexo 11

### Especificaciones del Proctor modificado (Norma ASTM Prueba 1577)

<b>Elemento</b>	<b>Método A</b>	<b>Método B</b>	<b>Método C</b>
<i>Diámetro de molde</i>	4" (101.6 mm)	4" (101.6 mm)	6" (152.4 mm)
<i>Volumen del molde</i>	943.3 cm <sup>3</sup>	943.3 cm <sup>3</sup>	2124 cm <sup>3</sup>
<i>Peso del martillo</i>	44.5 N	44.5 N	44.5 N
<i>Altura de caída del martillo</i>	18" (457.2 mm)	18" (457.2 mm)	18" (457.2 mm)
<i>Número de golpes del martillo por capa</i>	25	25	56
<i>Número de capas de compactación</i>	5	5	5
<i>Energía de compactación</i>	2700 KN-m/m <sup>3</sup>	2700 KN-m/m <sup>3</sup>	2700 KN-m/m <sup>3</sup>
<i>Suelo utilizado</i>	<i>Se usa el material que pasa el tamiz N°4 (4.75mm)</i>	<i>Se usa el material que pasa el tamiz 3/8" (9.5mm)</i>	<i>Se usa el material que pasa el tamiz 3/4" (19.0mm)</i>
	<i>Si ≤25% de material es retenido en el tamiz N°4 (4.75mm)</i>	<i>Si ≤25% del material es retenido en el tamiz 3/8" (9.5mm)</i>	<i>Si ≤30% del material es retenido en el tamiz 3/4" (19.0mm)</i>
<i>Uso</i>	<i>Si se retiene de 5 al 25% en el tamiz N°4 (4.75mm) se requiriera corrección de gran tamaño</i>	<i>Si se retiene de 5 al 25% en el tamiz 3/8" (9.5mm) se requiriera corrección de gran tamaño</i>	
<i>Otros usos</i>	<i>Si este requisito de graduación no puede ser cumplido, entonces se pueden usar los Métodos B o C.</i>	<i>Si este requisito de graduación no puede ser cumplido, entonces se pueden usar los Métodos C.</i>	

**Nota:** Obtenido de ASTM 1577, 2021.

## Anexo 12

*Categorías de subrasante según su CBR*

CATEGORÍAS DE SUBRASANTE	CBR
S0: Subrasante Inadecuada	$\text{CBR} < 3\%$
S1: Subrasante Pobre	$3\% \leq \text{CBR} < 6\%$
S2: Subrasante Regular	$6\% \leq \text{CBR} < 10\%$
S3: Subrasante Buena	$10\% \leq \text{CBR} < 20\%$
S4: Subrasante Muy Buena	$20\% \leq \text{CBR} < 30\%$
S5: Subrasante Excelente	$\text{CBR} \geq 30\%$

**Nota:** *Obtenido del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014.*

## Anexo 13

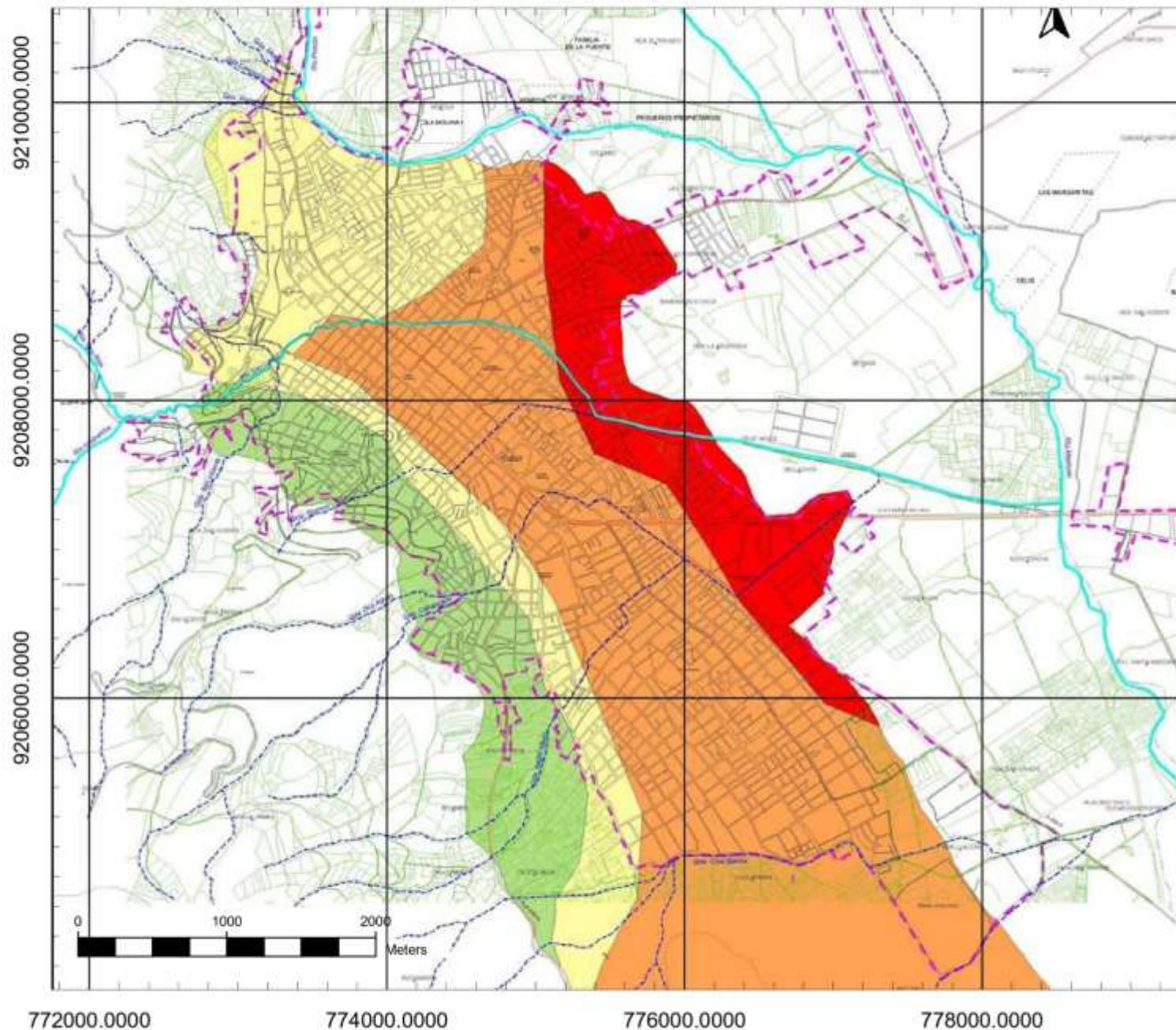
### Mapa de peligros ante fenómeno de origen geológico

772000.0000

774000.0000

776000.0000

778000.0000



**INSTITUTO  
NACIONAL DE  
DEFENSA CIVIL**

PNUD PER/02/051 00014426 CIUDADES SOSTENIBLES

ESTUDIO:

**PROGRAMA DE PREVENCIÓN Y  
MEDIDA DE MITIGACIÓN ANTE DESASTRES  
"CIUDAD DE CAJAMARCA"**

**MAPA DE PELIGROS ANTE  
FENOMENOS DE ORIGEN GEOLOGICO**

ESCALA:

1: 40 000

DATUM HORIZONTAL WGS84

ZONA: 17S

LAMINA

**22**

FUENTE:

ESTUDIO MAPA DE PELIGROS  
DE LA CIUDAD DE CAJAMARCA  
INDECI-PNUD PER/02/051

FECHA:

DICIEMBRE 2005

**NIVELES DE PELIGRO**

**MUY ALTO**



**ALTO**



**MEDIO**



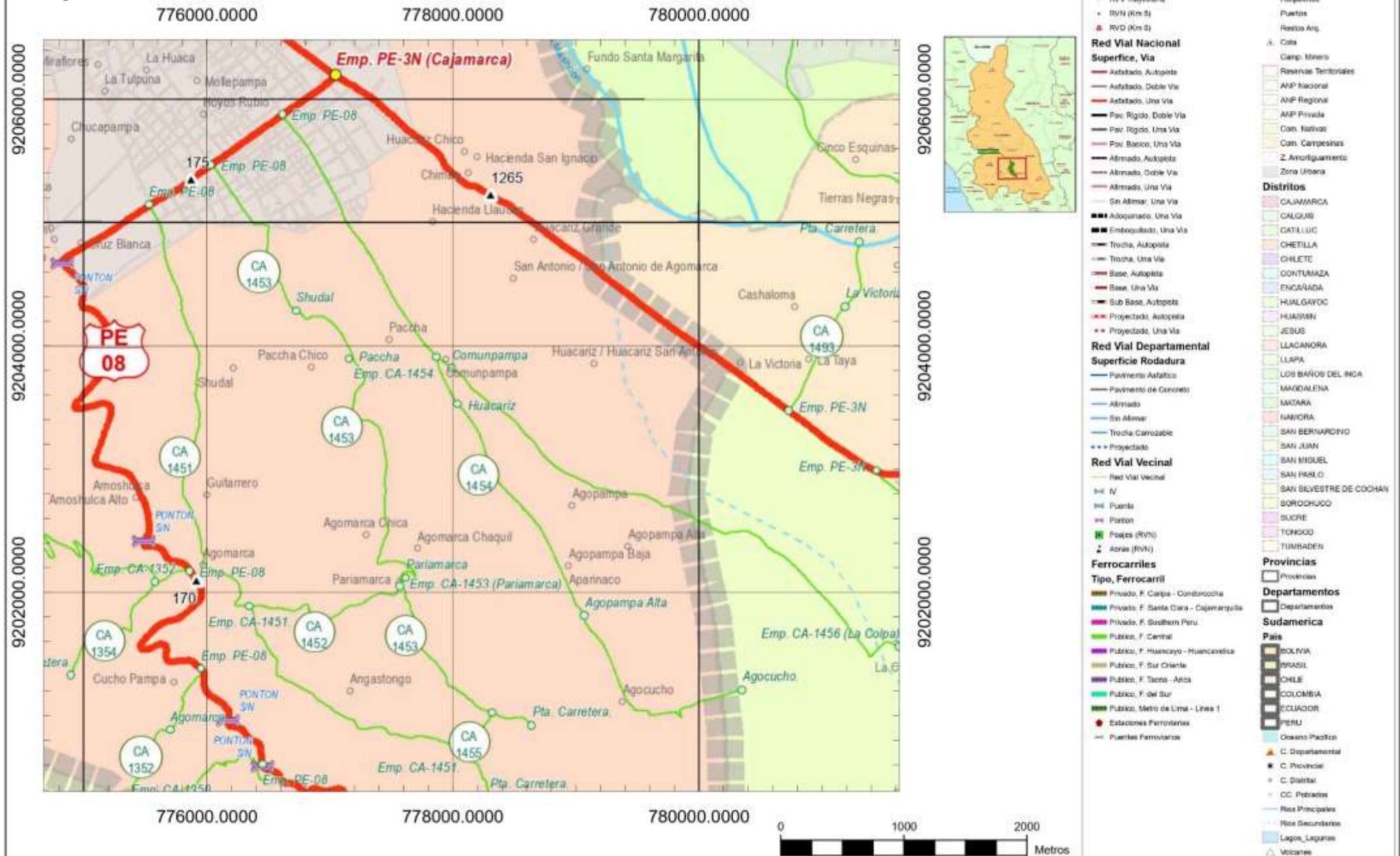
**BAJO**



**Nota.** Obtenido de Instituto Nacional de Defensa Civil, 2005



*Mapa vial de distritos*



**Nota.** Obtenido del Decreto Supremo N°011-2016-MTC, 2016

## Anexo 15

### Certificados de Calibración

Edición 03 - Noviembre 2018  
Pag 1 de 3


**MULTI  
SERVICE GROUP**

**MULTI SERVICE GROUP E.I.R.L.**

---

## Certificado de Calibración

### LMA19-0033

---

ORDEN DE TRABAJO	: OT19-0034	<p>El presente Certificado de Calibración evidencia la trazabilidad del proceso de calibración con patrones Nacionales e Internacionales, los cuales representan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI) y no debe utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto.</p> <p>MULTI SERVICE GROUP E.I.R.L. como organismo de evaluación de la conformidad de tercera parte ejecuta servicios de calibración a la vez que calibra y mantiene sus patrones de referencia con la finalidad de garantizar la trazabilidad de las mediciones.</p> <p>Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones, el usuario debería recibir sus instrumentos a intervalos apropiados.</p> <p>La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición, que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura <math>k=2</math>. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la Incertidumbre de la Medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95%.</p> <p>Los resultados reportados son válidos para las condiciones y momento en que se realizó la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la recalibración.</p> <p>MULTI SERVICE GROUP E.I.R.L. no es responsable por cualquier daño derivado del uso inadecuado del equipo calibrado, así como de una incorrecta interpretación de los resultados del presente certificado.</p>
CLIENTE	: CSAM ENGINEERING S.R.L.	
DIRECCIÓN	: Jr. MAYTA CAPAC 378 BALNEARIO 1 - CAJAMARCA - LOS BAÑOS DEL INCA	
LUGAR DE CALIBRACIÓN	: LABORATORIO	
INSTRUMENTO CALIBRADO	: BALANZA	
CLASIFICACIÓN	: NO AUTOMÁTICA	
TIPO	: ELECTRÓNICA	
MARCA / FABRICANTE	: CHAUS	
MODELO	: SPJ402	
NÚMERO DE SERIE	: B218805283	
PROCEDENCIA	: NO INDICA	
IDENTIFICACIÓN	: NO INDICA	
CAPACIDAD MÁXIMA	: 400 g	
CAPACIDAD MÍNIMA	: NO INDICA	
DIV. DE ESCALA (d)	: 0,01 g	
DIV. DE VERIFICACIÓN (e)	: 0,01 g	
CLASE DE EXACTITUD	: NO INDICA	
ΔT LOCAL	: 5 °C	
COEF. DERIVA TÉRMICA	: 1E-05 °C <sup>-1</sup>	
FECHA DE CALIBRACIÓN	: 2019-01-31	
FECHA DE EMISIÓN	: 2019-02-02	

---

Sello	Fecha	Responsable Técnico	Metrólogo a cargo
			
	2019-02-02	Dante Abelino Pérez	Leonardo Chepoñan Osonio

---

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN DE ESTE DOCUMENTO SALVO AUTORIZACIÓN EXPRESA DE MSG.  
 Jr. Las Granas Nro. 1853 Urb. Flores 78 - Lima 35 Tel: 01 682 47 29 / RFC: 952 06 7 203 / 992 079 054  
 operacion@msgperu.com / metrologia@msgperu.com / www.msgperu.com / www.msgperu.com

## Certificado de Calibración LMA19-0033

### DESCRIPCIÓN DEL PATRÓN UTILIZADO

Trazabilidad	Nombre del Patrón	Certificado de Calibración
INACAL	Juego de pesas de 1 mg hasta 500 g clase E2	LMC043-2018

### METODO - PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN

Comparación directa de las indicaciones de la balanza contra cargas aplicadas de valor conocido según el PC-011 - Procedimiento de calibración de balanzas de funcionamiento no automático clase I y clase II - SNM - INDECOP Edición 04 Abril 2010

### INSPECCIÓN VISUAL

Ajuste de cero	: CONFORME	Escala	: NO TIENE
Oscilación libre	: CONFORME	Cursor	: NO TIENE
Plataforma	: CONFORME	Nivelación	: CONFORME
Sistema de traba	: NO TIENE	Función de ajuste (CAL)	: Interna: <input type="checkbox"/> Externa: <input checked="" type="checkbox"/> No tiene: <input type="checkbox"/>

### ENSAYO DE REPETIBILIDAD

Temp. Ambiente	Inicial = 24,3 °C	Humedad (%)	Inicial = 56,4 %
	Final = 24,5 °C		Final = 56,4 %

Medición N°	Carga L <sub>1</sub> = 200,00013 g			Carga L <sub>2</sub> = 400,00021 g		
	I g	ΔL g	E <sub>1</sub> g	I g	ΔL g	E <sub>2</sub> g
1	200,00	0,007	-0,002	399,99	0,007	-0,012
2	200,00	0,007	-0,002	399,99	0,007	-0,012
3	200,00	0,006	-0,001	399,99	0,007	-0,012
4	200,00	0,007	-0,002	399,99	0,006	-0,011
5	200,00	0,006	-0,001	399,99	0,007	-0,012
6	200,00	0,007	-0,002	399,99	0,006	-0,011
7	200,00	0,006	-0,001	399,99	0,007	-0,012
8	200,00	0,006	-0,001	399,99	0,007	-0,012
9	200,00	0,007	-0,002	399,99	0,007	-0,012
10	200,00	0,006	-0,001	399,99	0,007	-0,012
ΔE <sub>1</sub> = Max E <sub>1</sub> - Min E <sub>1</sub> =			0,001 g	ΔE <sub>2</sub> = Max E <sub>2</sub> - Min E <sub>2</sub> =		
EMP para L <sub>1</sub> =			± 0,02 g	EMP para L <sub>2</sub> =		
				± 0,03 g		

### ENSAYO DE EXCENTRICIDAD

Temperatura Ambiente	Inicial = 24,5 °C	Humedad (%)	Inicial = 56,4 %
	Final = 24,8 °C		Final = 56,4 %

Posición de la carga	Determinación de $E_0$				Determinación de error corregido $E_c$				
	Carga mínima g	I	$\Delta L$	$E_0$	Carga L g	I	$\Delta L$	E	$E_c$
		g	g	g		g	g	g	g
1	0,10000	0,10	0,007	-0,002	130,00008	129,99	0,003	-0,008	-0,006
2		0,10	0,008	-0,001		129,99	0,002	-0,007	-0,006
3		0,10	0,007	-0,002		129,99	0,003	-0,008	-0,006
4		0,10	0,008	-0,001		129,98	0,002	-0,017	-0,018
5		0,10	0,005	0,000		129,98	0,002	-0,017	-0,017
Posición de las cargas					EMP para carga $E_0$ en excentricidad = $\pm$ 0,02 g				

Posición de las cargas



Vista Frontal

### NOMENCLATURA

- I: Indicación de la balanza
- E<sub>1</sub>: Error en ensayo de repetibilidad carga L<sub>1</sub>
- E<sub>2</sub>: Error en ensayo de repetibilidad carga L<sub>2</sub>

*Certificado de Calibración*

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN DE ESTE DOCUMENTO SALVO AUTORIZACIÓN EXPRESA DE MSG

Jr. Las Gravas N°6, 1853 Urb. Flores 7° - Lima 36 Perú. Tel: 01 692 4729 / RPS: 992 367 293, 992 019 094  
operaciones@msgperu.com / metrologia@msgperu.com / ventas@msgperu.com / www.msgperu.com





**MULTI  
SERVICE GROUP**

MULTI SERVICE GROUP E.I.R.L.

*LM19-0033*

ENSAYO DE PESAJE

Temperatura Ambiente Inicial = 24,6 °C Humedad (%) Inicial = 56,4 %  
Final = 24,6 °C Final = 56,4 %

Carga L g	Cargas crecientes				Cargas decrecientes				EMP ± g
	I g	ΔL g	E g	E <sub>c</sub> g	I g	ΔL g	E g	E <sub>c</sub> g	
0,10000	0,10	0,007	-0,002	0,002	0,20	0,007	-0,002	0,000	0,01
0,20000	0,20	0,005	0,000	0,002	0,20	0,005	0,000	0,002	0,01
50,00003	50,00	0,006	-0,001	0,001	50,00	0,006	-0,001	0,001	0,02
80,00009	80,00	0,005	0,000	0,002	80,00	0,006	-0,001	0,001	0,02
100,00002	100,00	0,007	-0,002	0,000	100,00	0,006	-0,001	0,001	0,02
130,00008	129,99	0,002	-0,007	-0,005	129,99	0,002	-0,007	-0,005	0,02
140,00005	149,99	0,005	-0,010	-0,008	149,99	0,004	-0,009	-0,007	0,02
200,00013	200,00	0,005	0,000	0,002	200,00	0,005	0,000	0,002	0,02
250,00016	249,99	0,002	-0,007	-0,005	249,99	0,007	-0,012	-0,010	0,03
300,00015	300,00	0,004	0,001	0,003	300,00	0,005	0,000	0,002	0,03
400,00021	399,99	0,002	-0,007	-0,005	399,99	0,005	-0,010	-0,008	0,03

NOMENCLATURA

L: Carga aplicada utilizando pesas patrón.

I: Indicación de la balanza.

E: Error obtenido de calcular  $I + \frac{1}{2} d - \Delta L - L$ .

ΔL: Carga incrementada

E<sub>c</sub>: Error corregido resultante de calcular  $E - E_0$

E<sub>0</sub>: Error en cero

EMP: Error Máximo Permisible

LECTURA CORREGIDA E INCERTIDUMBRE EXPANDIDA DEL RESULTADO DE UNA PESADA

$$R_{\text{CORREGIDA}} = R + 9,443E-08 \cdot R$$

$$U_R = 2 \times \sqrt{1,903E-05 + 8,251E-10 \times R^2} \text{ g}$$

NOMENCLATURA

R: Lectura obtenida de la indicación de la balanza en las unidades que se visualiza.

R<sub>CORREGIDA</sub>: Lectura corregida de la balanza.

U<sub>R</sub>: Incertidumbre expandida del resultado de una pesada.

INDICACIONES ADICIONALES

- Con fines de identificación se ha colocado una etiqueta autoadhesiva que indica el estado de la calibración.
- La capacidad mínima para esta clase de balanza según la NMP-003-2009 es de **0,2 g**
- La clase de exactitud de esta balanza según la NMP-003-2009 es **Alta //**
- El valor de división de verificación [ e ] se escogió de acuerdo a la consideración del **PC-011: Ed. 04; Apéndice 10.2**
- Previo al inicio de la calibración se realizó una verificación obteniéndose:

Carga aplicada g	I g	E g	EMP g
400	400,08	0,08	0,03

Debido a los errores obtenidos en la verificación, se hizo el ajuste con la función:

CAL interna ☐ No se hizo ajuste ☐  
CAL externa ☒ Indicador pesa utilizada ☐ 200 y 400 g

FIN DEL CERTIFICADO DE CALIBRACION

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN DE ESTE DOCUMENTO, SALVO AUTORIZACIÓN EXPRESA DE MSG.  
Jr. Las Gravas Nro. 1953 Urb. Flores 78 - Lima 36. Tel: 01 622 4729 / RPC: 992 367 263, 992 019 094  
operaciones@msgperu.com / mes@oper@msgperu.com / ventas@msgperu.com / www.msgperu.com





**MULTI  
SERVICE GROUP**

**MULTI SERVICE GROUP E.I.R.L.**

## Certificado de Calibración LMA19-0034

ORDEN DE TRABAJO : OT19-0034  
CLIENTE : CSMA ENGINEERING S.R.L.

DIRECCIÓN : Jr. MAYTA CAPAC 378 BALNEARIO 1 -  
CAJAMARCA - LOS BAÑOS DEL INCA

LUGAR DE CALIBRACIÓN : LABORATORIO

INSTRUMENTO CALIBRADO : BALANZA  
CLASIFICACIÓN : NO AUTOMÁTICA

TIPO : ELECTRÓNICA

MARCA / FABRICANTE : CHAUS

MODELO : R31P30

NÚMERO DE SERIE : 8335090326

PROCEDENCIA : NO INDICA

IDENTIFICACIÓN : BM-082-14

CAPACIDAD MÁXIMA : 30 000 g

CAPACIDAD MÍNIMA : NO INDICA

DIV. DE ESCALA (d) : 1 g

DIV. DE VERIFICACIÓN (e) : 1 g

CLASE DE EXACTITUD : NO INDICA

ΔT LOCAL : 5 °C

COEF. DERIVA TÉRMICA : 1E-05 °C<sup>-1</sup>

FECHA DE CALIBRACIÓN : 2019-01-31

FECHA DE EMISIÓN : 2019-02-02

El presente Certificado de Calibración evidencia la trazabilidad del proceso de calibración con patrones Nacionales o Internacionales, los cuales representan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI) y no debe utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto.

MULTI SERVICE GROUP E.I.R.L. como organismo de evaluación de la conformidad de tercera parte ejecuta servicios de calibración a la vez que calibra y mantiene sus patrones de referencia con la finalidad de garantizar la trazabilidad de las mediciones.

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones, el usuario debería recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados.

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición, que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura  $k=2$ . La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la Incertidumbre de la Medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95%.

Los resultados reportados son válidos para las condiciones y momento en que se realizó la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la recalibración.

MULTI SERVICE GROUP E.I.R.L. no es responsable por cualquier daño derivado del uso inadecuado del equipo calibrado, así como de una incorrecta interpretación de los resultados del presente certificado.

Sello

Fecha

Responsable Técnico

Metrólogo a cargo



2019-02-02

Dante Abelino Perez

Leonardo Chapoñan Osorio

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN DE ESTE DOCUMENTO SALVO AUTORIZACIÓN EXPRESA DE MSG.  
37, Las Garzas Nro. 1853 Urb. Flores 78 - Lima 36 Perú Tel: 01 682 4729 / RPD: 992 367 283, 992 019 094  
operaciones@msgperu.com / metrologia@msgperu.com / ventas@msgperu.com / www.msgperu.com

## Certificado de Calibración LMA19-0034

### DESCRIPCIÓN DEL PATRÓN UTILIZADO

Trasibilidad	Nombre del Patrón	Certificado de Calibración
KOSSCOO	Juego de pesas de 1 mg hasta 1 kg clase M1	PE18C-1434
INACAL	Juego de pesas de 1 kg hasta 5 kg clase F1	LM049-2018
INACAL	Pesa de 10 kg clase F2	LM098-2018
INACAL	Pesa de 20 kg clase F2	LM163-2018

### METODO - PROCEDIMIENTO DE CALIBRACION

Comparación directa de las indicaciones de la balanza contra cargas aplicadas de valor conocido según el FC-011 - Procedimiento de calibración de balanzas de funcionamiento no automático clase I y clase II - SNM - INDECOPI Edición 04 Abril 2010.

### INSPECCIÓN VISUAL

Ajuste de cero	: CONFORME	Escala	: NO TIENE
Oscilación libre	: CONFORME	Cursor	: NO TIENE
Plataformas	: CONFORME	Nivelación	: CONFORME
Sistema de traba	: NO TIENE	Función de ajuste [CAL]	: Interna: <input type="checkbox"/> Externa: <input checked="" type="checkbox"/> No tiene: <input type="checkbox"/>

### ENSAYO DE REPETIBILIDAD

Temp. Ambiente	Inicial = 24,2 °C	Humedad (%)	Inicial = 51,8 %
	Final = 24,3 °C		Final = 51,8 %

Medición N°	Carga L <sub>1</sub> = 15000,11870 g			Carga L <sub>2</sub> = 30000,21900 g		
	I	ΔL	E <sub>1</sub>	I	ΔL	E <sub>2</sub>
	g	g	g	g	g	g
1	15000	0,7	-0,3	30000	0,8	-0,3
2	15000	0,7	-0,3	30000	0,8	-0,3
3	15000	0,7	-0,3	30000	0,7	-0,4
4	15000	0,6	-0,2	30000	0,7	-0,4
5	15000	0,6	-0,2	30000	0,7	-0,4
6	15000	0,7	-0,3	30000	0,7	-0,4
7	15000	0,7	-0,3	30000	0,6	-0,3
8	15000	0,6	-0,2	30000	0,6	-0,3
9	15000	0,7	-0,3	30000	0,7	-0,4
10	15000	0,6	-0,2	30000	0,7	-0,4
	ΔE <sub>1</sub> =Max E <sub>1</sub> - Min E <sub>1</sub> =		0,1 g	ΔE <sub>2</sub> =Max E <sub>2</sub> - Min E <sub>2</sub> =		0,1 g
	EMP para L <sub>1</sub> =		± 2,0 g	EMP para L <sub>2</sub> =		± 3,0 g

### ENSAYO DE EXCENTRICIDAD

Temperatura Ambiente	Inicial = 24,3 °C	Humedad (%)	Inicial = 51,8 %
	Final = 24,4 °C		Final = 51,8 %

Posición de la carga	Determinación de $E_0$				Determinación de error corregido $E_c$				
	Carga mínima g	I	$\Delta L$	$E_0$	Carga L g	I	$\Delta L$	E	$E_c$
	g	g	g	g	g	g	g	g	g
1	10,00080	10	0,7	-0,2	10000,0800	10000	0,6	-0,2	0,0
2		10	0,7	-0,2		10000	0,7	-0,3	-0,1
3		10	0,6	-0,1		10000	0,6	-0,2	-0,1
4		10	0,6	-0,1		10000	0,6	-0,2	-0,1
5		10	0,7	-0,2		10000	0,7	-0,3	-0,1
Posición de las cargas					EMP para carga $E_c$ en excentricidad = $\pm$ 2,0 g				

Posición de las cargas



Vista Frontal

### NOMENCLATURA

- I : Indicación de la balanza
- E<sub>1</sub> : Error en ensayo de repetibilidad carga L<sub>1</sub>
- E<sub>2</sub> : Error en ensayo de repetibilidad carga L<sub>2</sub>



**MULTI  
SERVICE GROUP**

MULTI SERVICE GROUP E.I.R.L.

## Certificado de Calibración LMA19-0034

### ENSAYO DE PESAJE

Temperatura Ambiente Inicial = 24,4 °C Humedad (%) Inicial = 51,8 %  
Final = 24,5 °C Final = 52,7 %

Carga L g	Cargas crecientes				Cargas decrecientes				EMP ± g
	I g	ΔL g	E g	E <sub>c</sub> g	I g	ΔL g	E g	E <sub>c</sub> g	
10,00080	10	0,7	-0,2						
50,00110	50	0,8	-0,1	0,1	50	0,7	-0,2	0,0	1
3000,00040	3000	0,7	-0,2	0,0	3000	0,5	0,0	0,2	1
5000,02970	5000	0,6	-0,1	0,1	5000	0,7	-0,2	0,0	1
7500,16370	7500	0,7	-0,4	-0,2	7500	0,5	-0,2	0,0	2
10000,08900	10000	0,6	-0,2	0,0	10000	0,5	-0,1	0,1	2
12000,09050	12000	0,7	-0,3	-0,1	12000	0,5	-0,1	0,1	2
15000,11670	15000	0,6	-0,2	0,0	15000	0,6	-0,2	0,0	2
20000,13000	20000	0,7	-0,3	-0,1	20000	0,7	-0,3	-0,1	2
25000,15970	25000	0,7	-0,4	-0,2	25000	0,5	-0,2	0,0	3
30000,21900	30000	0,6	-0,3	-0,1	30000	0,6	-0,3	-0,1	3

#### NOMENCLATURA

L: Carga aplicada utilizando pesas patrón

I: Indicación de la balanza

E: Error obtenido de calcular  $I + \frac{1}{2} d - \Delta L - L$

ΔL: Carga incrementada

E<sub>c</sub>: Error corregido resultante de calcular  $E - E_0$

E<sub>0</sub>: Error en cero

EMP: Error Máximo Permisible

#### LECTURA CORREGIDA E INCERTIDUMBRE EXPANDIDA DEL RESULTADO DE UNA PESADA

$$R_{\text{CORREGIDA}} = R + 4,953E-06 R$$

$$U_R = 2 \times \sqrt{1,727E-01 + 2,205E-10 \times R^2} \text{ g}$$

#### NOMENCLATURA

R: Lectura obtenida de la indicación de la balanza en las unidades que se visualiza.

R<sub>CORREGIDA</sub>: Lectura corregida de la balanza.

U<sub>R</sub>: Incertidumbre expandida del resultado de una pesada.

#### INDICACIONES ADICIONALES

- Con fines de identificación se ha colocado una etiqueta autoadhesiva que indica el estado de la calibración.
- La capacidad mínima para esta clase de balanza según la NMP-003-2009 es de **50 g**
- La clase de exactitud de esta balanza según la NMP-003-2009 es **Alta II**
- El valor de división de verificación (e) se escogió de acuerdo a la consideración del **PC-011: Ed. 04; Apéndice 10.2**
- Previo al inicio de la calibración se realizó una verificación obteniéndose:

Carga aplicada g	I g	E g	EMP g
30000	30002	2	3

Debido a los errores obtenidos en la verificación, se hizo el ajuste con la función:

CAL interna ☐ No se hizo ajuste ☐  
CAL externa ☒ Indicar pesa utilizada

FIN DEL CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN DE ESTE DOCUMENTO SALVO AUTORIZACIÓN EXPRESA DE MSG.

Jr. Los Grupos N° 1853 Urb. Flores 28 - Lima Sur Perú. Tel: 882 4724 / R.P.C. 992 367 263, 992 016 104  
operaciones@msgperu.com / info@msgperu.com / www.msgperu.com





**MULTI  
SERVICE GROUP**

**MULTI SERVICE GROUP E.I.R.L.**

# Certificado de Calibración

## CIT19-0025

ORDEN DE TRABAJO	: OT19-0034
CLIENTE	: OSMA ENGINEERING S.R.L.
DIRECCIÓN	: JR. MAYTA CAPAC NRO. 378 BAL BALNEARIO 1 - CAJAMARCA - LOS BAÑOS DEL INCA
EQUIPO CALIBRADO	: HORNO
MARCA / FABRICANTE	: METROTEST
MODELO	: PS-H1
SERIE	: 418
PROCEDENCIA	: NO INDICA
IDENTIFICACIÓN	: NO INDICA
VENTILACIÓN	: NATURAL
UBICACIÓN	: INSTALACIONES DEL CLIENTE - OSMA ENGINEERING
LUGAR DE CALIBRACIÓN	: INSTALACIONES DEL CLIENTE - OSMA ENGINEERING S.R.L.
FECHA DE CALIBRACIÓN	: 2019-01-31
FECHA DE EMISIÓN	: 2019-02-04

El presente Certificado de Calibración evidencia la trazabilidad del proceso de calibración con patrones Nacionales o Internacionales, los cuales representan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

MULTI SERVICE GROUP E.I.R.L. como organismo de evaluación de la conformidad de tercera parte ejecuta servicios de calibración a la vez que calibra y mantiene sus patrones de referencia con la finalidad de garantizar la trazabilidad de las mediciones.

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones, el usuario debería recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados.

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición, que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura  $k=2$ . La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la Incertidumbre de la Medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95%.

Los resultados reportados son válidos para las condiciones y momento en que se realizó la calibración. Al solicitante le corresponde deponer en su momento la recalibración.

MULTI SERVICE GROUP E.I.R.L. no se responsabiliza por cualquier daño derivado del uso inadecuado del equipo calibrado, así como de una incorrecta interpretación de los resultados del presente certificado.

Sello	Fecha	Responsable Técnico	Metrólogo a cargo
	2019-02-04	 Dante Abelino Perez	 Brando Guispe Castañeda

*Certificado de calibración CIT19-0025*

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL OBJETO CALIBRADO

PARÁMETROS	INDICADOR	SELECTOR
Tipo	DIGITAL	DIGITAL
Alcance de Escala	[0 a 999] °C	[0 a 999] °C
División de Escala	1 °C	0.1 °C
Tipo de agitación	NATURAL	
Capacidad de tanque	250 L	
Porcentaje de carga	40%	
Temperaturas de calibración	110 °C ± 10 °C	

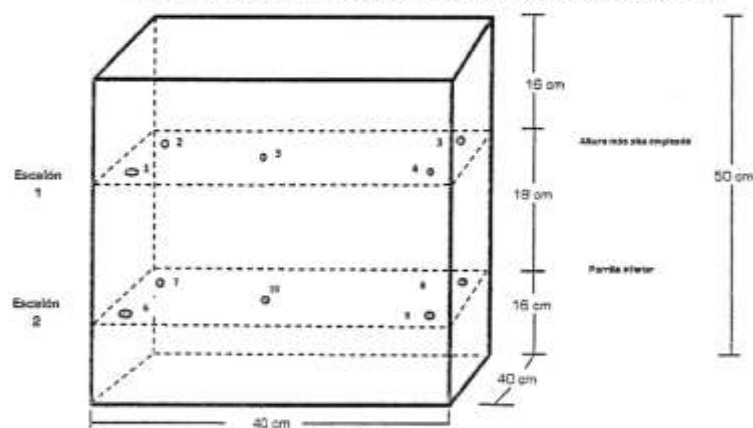
PROCEDIMIENTO Y/O MÉTODO DE CALIBRACIÓN

PC-018. "PROCEDIMIENTO PARA LA CALIBRACIÓN O CARACTERIZACIÓN DE MEDIOS ISOTERMOS CON AIRE COMO MEDIO TERMOSTÁTICO". EDICIÓN 02 - JUNIO, 2008.

DESCRIPCIÓN DE LOS PATRONES UTILIZADOS

Trazabilidad	Nombre del patrón	Certificado de Calibración N°
INACAL	TERMOMETRO MULTI CANAL FLUKE 2620 A	LT-238-2018

UBICACIÓN DE LOS TERMOPARES DENTRO DE LA CAMARA DEL MEDIO ISOTERMIO



- Los termopares 5 y 10 se ubicaron sobre el centro de sus respectivos niveles.
- Los termopares en los extremos de los niveles superior e inferior respectivamente, se ubicaron a 4 cm de las paredes laterales: a 4 cm del fondo del equipo y a 4 cm del frente del equipo.
- Los termopares del nivel inferior se ubicaron a 1,5 cm de la parrilla más baja empleada por el usuario.
- Los termopares del nivel superior se ubicaron a 1,5 cm de la altura más alta empleada por el usuario.

OBSERVACIONES

- Se adjunta una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO".
- Antes de la calibración no se realizó ningún tipo de ajuste.
- La calibración se efectuó 2 días después de que se cerró la puerta y se anochizó el equipo.
- Durante la calibración y bajo las condiciones en las que se llevó a cabo, el medio isoterma cumple con las especificaciones del usuario.
- La incertidumbre expandida de la medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura k=2 que, para una distribución normal corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente 95 %.



**MULTI  
SERVICE GROUP**

**MULTI SERVICE GROUP E.I.R.L.**

### Certificado de calibración CIT19-0025

TEMPERATURA DE CALIBRACIÓN : 110 °C ± 10 °C

CONDICIONES AMBIENTALES REGISTRADAS

	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD (%)
INICIAL	22.8	58.2
FINAL	22.8	58.2

Tiempo (min)	T ind. [°C] CÁMARA	TEMPERATURAS EN LAS POSICIONES DE MEDICIÓN [°C]										T.PROM °C	T <sub>max</sub> T <sub>min</sub> °C
		NIVEL SUPERIOR					NIVEL INFERIOR						
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10		
12:00	110.0	109.9	109.9	109.8	109.8	109.9	109.9	110.0	110.0	110.1	110.2	109.9	0.5
12:02	110.0	110.1	110.0	109.9	109.9	109.9	110.1	110.2	110.2	110.3	110.2	110.0	0.6
12:04	110.0	109.9	110.0	109.9	109.9	109.9	109.9	110.0	110.1	110.1	110.3	110.0	0.4
12:06	110.0	110.0	110.1	109.9	109.8	109.8	110.2	110.3	110.0	110.1	110.5	110.0	0.8
12:08	110.0	110.1	110.0	110.0	109.8	109.8	109.9	110.3	110.3	110.1	110.2	110.0	0.6
12:10	110.0	110.1	109.9	110.0	109.7	109.7	109.9	110.0	110.1	110.1	110.3	110.0	0.5
12:12	110.0	110.0	110.2	110.1	109.6	109.6	110.1	110.0	110.1	110.4	110.3	110.1	0.7
12:14	110.0	110.1	109.9	109.3	109.9	109.8	109.9	110.3	110.0	110.2	110.2	110.0	0.6
12:16	110.0	109.9	109.9	109.8	109.6	109.9	110.1	110.2	110.2	110.2	110.3	110.0	0.8
12:18	110.0	110.0	109.9	110.1	109.8	109.9	110.1	110.2	110.2	110.1	110.5	110.0	0.8
12:20	110.0	110.2	110.1	109.8	109.6	109.9	110.1	110.0	110.0	110.2	110.3	110.0	0.6
12:22	110.0	110.1	110.1	110.0	109.9	109.8	110.0	110.2	110.3	110.2	110.2	110.0	0.6
12:24	110.0	109.9	109.9	109.8	109.9	109.8	109.9	110.2	110.0	110.2	110.2	109.9	0.5
12:26	110.0	110.0	110.0	109.9	109.7	109.6	109.9	110.0	110.0	110.1	110.5	110.0	0.8
12:28	110.0	110.1	110.2	109.8	109.7	109.7	110.2	110.2	110.1	110.2	110.5	110.1	0.7
12:30	110.0	109.9	109.9	110.1	109.6	109.6	110.2	110.2	110.0	110.4	110.4	110.0	0.7
12:32	110.0	110.1	110.1	110.0	109.8	109.8	110.0	110.3	110.0	110.1	110.4	110.0	0.7
12:34	110.0	110.2	109.9	109.8	109.6	109.6	109.9	110.3	110.0	110.3	110.5	110.0	0.8
12:36	110.0	109.9	109.9	109.9	109.6	109.6	109.9	110.0	110.3	110.3	110.2	109.9	0.6
12:38	110.0	110.0	109.9	109.8	109.9	109.7	110.2	110.1	110.3	110.1	110.2	110.0	0.5
12:40	110.0	109.9	110.0	109.8	109.9	109.7	110.2	110.1	110.3	110.3	110.4	110.0	0.6
12:42	110.0	110.1	110.0	109.8	109.6	109.7	110.2	110.0	110.0	110.3	110.4	110.0	0.7
12:44	110.0	110.0	110.1	110.1	109.6	109.7	109.9	110.0	110.0	110.3	110.5	110.0	0.8
12:46	110.0	110.2	110.0	109.8	109.8	109.9	109.9	110.0	110.0	110.1	110.5	110.0	0.7
12:48	110.0	109.9	110.2	109.9	109.8	109.9	109.9	110.2	110.0	110.4	110.5	110.1	0.6
12:50	110.0	110.0	110.0	109.9	109.9	109.6	109.9	110.3	110.1	110.4	110.2	110.0	0.7
12:52	110.0	109.9	109.9	110.1	109.8	109.8	110.2	110.0	110.1	110.3	110.4	110.0	0.7
12:54	110.0	110.2	109.9	110.1	109.7	109.8	110.1	110.0	110.3	110.3	110.4	110.0	0.7
12:56	110.0	110.0	110.2	110.0	109.6	109.6	110.1	110.0	110.3	110.2	110.5	110.0	0.8
12:58	110.0	109.9	109.9	109.9	109.6	109.9	109.9	110.0	110.0	110.1	110.5	109.9	0.8
13:00	110.0	110.1	110.0	109.9	109.6	109.8	110.1	110.1	110.0	110.3	110.4	110.0	0.7
T. PROM.	110.0	110.0	110.0	109.9	109.9	109.7	110.0	110.1	110.1	110.2	110.4	110.0	
T. MAX.	110.0	110.2	110.2	110.1	109.9	109.9	110.2	110.3	110.3	110.4	110.5		
T. MIN.	110.0	109.9	109.9	109.8	109.6	109.6	109.9	110.0	110.0	110.1	110.2		
DTT	0.0	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3		

Parámetros	Valor	Incertidumbre Expandida
Máxima temperatura registrada durante la calibración	110.5 °C	0.2 °C
Mínima temperatura registrada durante la calibración	109.6 °C	0.2 °C
Desviación de Temperatura en el Espacio (DTE)	0.8 °C	0.1 °C
Desviación de Temperatura en el Tiempo (DTT)	0.3 °C	0.1 °C
Uniformidad	0.8 °C	0.1 °C
Estabilidad ( ± )	0.2 °C	0.04 °C

#### TERMINOLOGÍA EMPLEADA

- T.PROM = Promedio de la temperatura en una posición de medición durante el tiempo de calibración.
- T.prom = Promedio de las temperaturas 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 está dada por la diferencia entre la máxima y la mínima temperatura registradas en dicha posición.

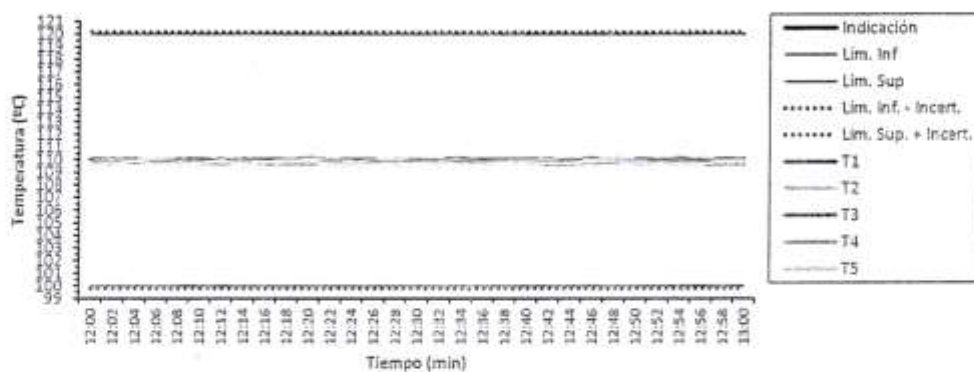
Entre dos posiciones de medición su "desviación de temperatura en el espacio" está dada por la diferencia entre los promedios de temperaturas registradas en ambas posiciones.

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN DE ESTE DOCUMENTO SALVO AUTORIZACIÓN EXPRESA DE MSG  
Jr. Las Gravas Nro. 1853 Urb. Flores 78 - Lima 36 Telf: 01 682 4729 / RPC: 992 367 283, 992 019 094  
operaciones@msgperu.com / metrologia@msgperu.com / ventas@msgperu.com / www.msgperu.com

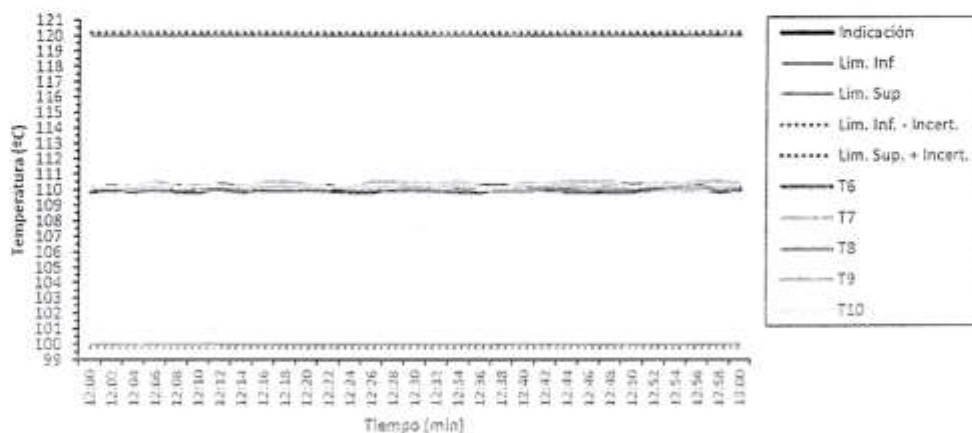
*Certificado de calibración CIT19-0025*

TEMPERATURA DE TRABAJO 110 °C

NIVEL SUPERIOR



NIVEL INFERIOR







**MULTI  
SERVICE GROUP**

**MULTI SERVICE GROUP E.I.R.L.**

*Certificado de calibración CIT19-0025*

Fotografía mostrando la ubicación de los sensores de temperatura y de las cargas en el medio isoterma



FIN DEL CERTIFICADO

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN DE ESTE DOCUMENTO SALVO AUTORIZACIÓN EXPRESA DE MSG.  
Jr. Las Gravas Nro. 1853 Urb. Flores 78 - Lima 36 Telf: 01 682 4729 / RPC: 992 367 283, 992 019 064  
operaciones@msgperu.com / metrologia@msgperu.com / ventas@msgperu.com / www.msgperu.com





**MULTI  
SERVICE GROUP**

**MULTI SERVICE GROUP E.I.R.L.**

Edición 00 - Febrero 2012  
Pag 1 de 3

## Certificado de Calibración

### LD A19 - 0009

ORDEN DE TRABAJO	:	OT19-0034	El presente Certificado de Calibración evidencia la trazabilidad del proceso de calibración con patrones Nacionales o Internacionales, los cuales representan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).
CLIENTE	:	OSMA ENGINEERING S.R.L.	MULTI SERVICE GROUP E.I.R.L. como organismo de evaluación de la conformidad de tercera parte ejecuta servicios de calibración a la vez que calibra y mantiene sus patrones de referencia con la finalidad de garantizar la trazabilidad de las mediciones.
DIRECCION	:	JR. MAYTA CAPAC NRO. 378 SAL BALNEARIO 1 - CAJAMARCA - LOS BAÑOS DEL INCA	Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones, el usuario debería recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados.
LUGAR DE CALIBRACION	:	INSTALACIONES DEL CLIENTE - OSMA ENGINEERING S.R.L.	La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición, que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura $k=2$ . La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la Incertidumbre de la Medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95%.
INSTRUMENTO DE MEDICION	:	EQUIPO DETERMINADOR DE LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO Y PLASTICIDAD - COPA CASA GRANDE	Los resultados reportados son válidos para las condiciones y momento en que se realizó la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la recalibración.
MARCA	:	PINZUAR	MULTI SERVICE GROUP E.I.R.L. no se responsabiliza por cualquier daño derivado del uso inadecuado del equipo calibrado, así como de una incorrecta interpretación de los resultados del presente certificado.
MODELO	:	PS-11	
NUMERO DE SERIE	:	1165	
IDENTIFICACION	:	NO INDICA	
FECHA DE CALIBRACION	:	2019-01-31	
FECHA DE EMISION	:	2019-02-04	

Sello

Fecha

Responsable Técnico

Metrólogo a cargo



2019-02-04

Dante Abelino Pérez

Leonardo Chapoñan Osorio

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN DE ESTE DOCUMENTO SALVO AUTORIZACIÓN EXPRESA DE MSG.  
Jr. Las Grayas Nro. 1853 Urb. Flores 78 - Lima 36 Tel: 01 682 4729 / RPC: 992 367 283, 992 019 094  
operaciones@msgperu.com / metrologia@msgperu.com / veritas@msgperu.com / www.msgperu.com



**MULTI**  
SERVICE GROUP

MULTI SERVICE GROUP E.I.R.L.

## Certificado de Calibración LDA19 - 0009

### DESCRIPCION DEL PATRON UTILIZADO

TRAZABILIDAD	NOMBRE DEL PATRON	CERTIFICADO DE CALIBRACION N°
METROIL	MICROMETRO DIGITAL CALIBRADO 25 mm x 0,001 mm	L-0180-2018
METROIL	VERNIER DIGITAL CALIBRADO 300 mm x 0,01 mm	L-0179-2018

### PROCEDIMIENTO DE CALIBRACION

Determinación de longitudes por medición directa con vernier y regla patrón calibrados.  
MTC E111 - 2000 / ASTM D 4318

### CONDICIONES AMBIENTALES REGISTRADAS

Temperatura:	22,8 °C ± 0,1 °C	Humedad Relativa:	58 % Hr ± 0,0 % Hr
--------------	------------------	-------------------	--------------------

### RESULTADOS DE CALIBRACION

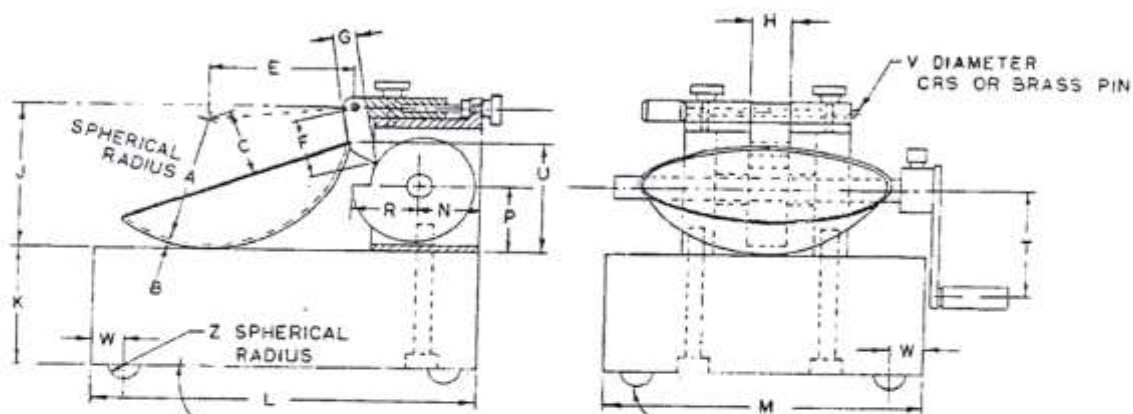
Variable a controlar		Especificación		Valor Verificado*	Resultado
		Valor	Tolerancias		
A	Longitud	54 mm	± 0,5 mm	54,12 mm ± 0,04 mm	Cumple
B	Longitud	2 mm	± 0,1 mm	2,02 mm ± 0,02 mm	Cumple
C	Longitud	27 mm	± 0,5 mm	26,87 mm ± 0,05 mm	Cumple
E	Longitud	56 mm	± 2,0 mm	55,68 mm ± 0,03 mm	Cumple
F	Longitud	32 mm	NO INDICADO	31,90 mm ± 0,03 mm	Cumple
G	Longitud	10 mm	NO INDICADO	9,83 mm ± 0,02 mm	Cumple
H	Longitud	16 mm	NO INDICADO	12,55 mm ± 0,02 mm	Cumple
J	Longitud	60 mm	± 1,0 mm	59,49 mm ± 0,02 mm	Cumple
K	Longitud	50 mm	± 2,0 mm	50,50 mm ± 0,02 mm	Cumple
L	Longitud	150 mm	± 2,0 mm	150,05 mm ± 0,05 mm	Cumple
M	Longitud	125 mm	± 2,0 mm	125,10 mm ± 0,05 mm	Cumple
N	Longitud	24 mm	NO INDICADO	19,06 mm ± 0,02 mm	Cumple
P	Longitud	26 mm	NO INDICADO	27,65 mm ± 0,02 mm	Cumple
R	Longitud	24 mm	NO INDICADO	23,01 mm ± 0,02 mm	Cumple
T	Longitud	45 mm	NO INDICADO	45,05 mm ± 0,03 mm	Cumple
U	Longitud	47 mm	± 1,0 mm	46,30 mm ± 0,03 mm	Cumple
V	Longitud	3,8 mm	NO INDICADO	3,13 mm ± 0,02 mm	Cumple
W	Longitud	13 mm	NO INDICADO	13,15 mm ± 0,02 mm	Cumple
Z	Longitud	6,5 mm	NO INDICADO	NO APLICA	—

\*Valores promedio obtenidos en base a 03 repeticiones por cada valor.

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN DE ESTE DOCUMENTO SALVO AUTORIZACIÓN EXPRESA DE MSG.  
Jr. Las Gravas Nro. 1853 Urb. Flores 78 - Lima 36. Telf: 01 682 4729 / R.P.C: 992 367 283, 992 019 094  
operaciones@msgperu.com / metrologia@msgperu.com / ventas@msgperu.com / www.msgperu.com

*Certificado de Calibración*  
**LDA19 - 0009**

GRAFICA DEL INSTRUMENTO VERIFICADO



FIN DEL CERTIFICADO DE CALIBRACION



**MULTI**  
SERVICE GROUP

MULTI SERVICE GROUP E.I.R.L.

# Certificado de Calibración

## LDA19 - 0019

ORDEN DE TRABAJO	: OT19-0034	El presente Certificado de Calibración evidencia la trazabilidad del proceso de calibración con patrones Nacionales o Internacionales, los cuales representan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).
CLIENTE	: OSMA ENGINEERING S.R.L.	MULTI SERVICE GROUP E.I.R.L. como organismo de evaluación de la conformidad de tercera parte ejecuta servicios de calibración a la vez que calibra y mantiene sus patrones de referencia con la finalidad de garantizar la trazabilidad de las mediciones.
DIRECCION	: JR. MAYTA CAPAC NRO. 378 BAL BALNEARIO 1 - CAJAMARCA - LOS BAÑOS DEL INCA	Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones, el usuario debería recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados.
LUGAR DE CALIBRACION	: INSTALACIONES DEL CLIENTE - OSMA ENGINEERING S.R.L.	La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición, que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura $k=2$ . La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la Incertidumbre de la Medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95%.
INSTRUMENTO DE MEDICION	: EQUIPO DETERMINADOR DE LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO Y PLASTICIDAD - COPA CASA GRANDE	Los resultados reportados son válidos para las condiciones y momento en que se realizó la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la recalibración.
MARCA	: ELE	MULTI SERVICE GROUP E.I.R.L. no se responsabiliza por cualquier daño derivado del uso inadecuado del equipo calibrado, así como de una incorrecta interpretación de los resultados del presente certificado.
MODELO	: LA-3700	
NUMERO DE SERIE	: 778	
IDENTIFICACION	: NO INDICA	
FECHA DE CALIBRACION	: 2019-01-31	
FECHA DE EMISION	: 2019-02-04	

Sello

Fecha

Responsable Técnico

Metrologo a cargo



2019-02-04

Dante Abelino Pérez

Leonardo Chapañan Usorio

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN DE ESTE DOCUMENTO SALVO AUTORIZACIÓN EXPRESA DE MSG.  
Jr. Las Gravas Nro. 1853 Urb. Flores 78 - Lima 36 / Tel: 01 682 4729 / RPC: 992 367 283, 992 019 094  
operaciones@msgperu.com / metrologia@msgperu.com / ventas@msgperu.com / www.msgperu.com



*Certificado de Calibración*  
**LDA19 - 0019**

**DESCRIPCION DEL PATRON UTILIZADO**

TRAZABILIDAD	NOMBRE DEL PATRON	CERTIFICADO DE CALIBRACION N°
METROIL	MICROMETRO DIGITAL CALBRADO 25 mm x 0,001 mm	L-0180-2018
METROIL	VERNIER DIGITAL CALBRADO 300 mm x 0,01 mm	L-0179-2018

**PROCEDIMIENTO DE CALIBRACION**

Determinación de longitudes por medición directa con vernier y regla patrón calibrados.  
MTC E111 - 2000 / ASTM D 4318

**CONDICIONES AMBIENTALES REGISTRADAS**

Temperatura:	23,0 °C ± 0,1 °C	Humedad Relativa:	57 % Hr ± 0,0 % Hr
--------------	------------------	-------------------	--------------------

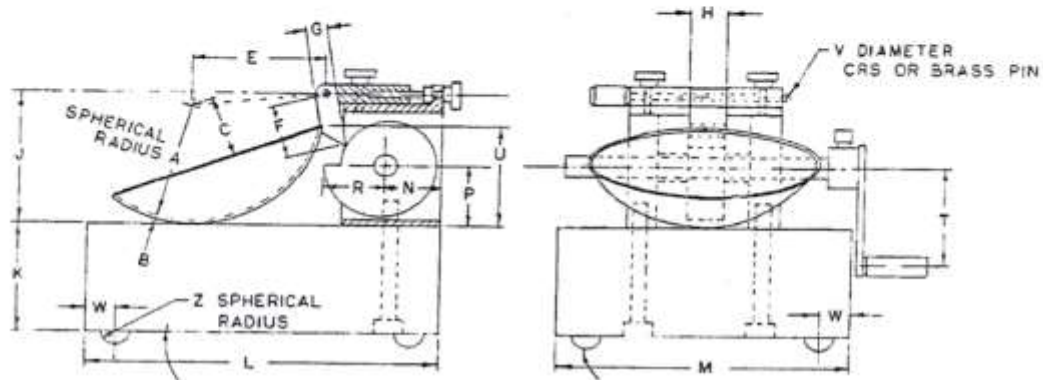
**RESULTADOS DE CALIBRACION**

Variable a controlar		Especificación		Valor Verificado*	Resultado
		Valor	Tolerancias		
A	Longitud	54 mm	± 0,5 mm	54,15 mm ± 0,04 mm	Cumple
B	Longitud	2 mm	± 0,1 mm	1,99 mm ± 0,02 mm	Cumple
C	Longitud	27 mm	± 0,5 mm	26,80 mm ± 0,05 mm	Cumple
E	Longitud	56 mm	± 2,0 mm	55,65 mm ± 0,03 mm	Cumple
F	Longitud	32 mm	NO INDICADO	31,87 mm ± 0,03 mm	Cumple
G	Longitud	10 mm	NO INDICADO	9,88 mm ± 0,02 mm	Cumple
H	Longitud	16 mm	NO INDICADO	12,80 mm ± 0,02 mm	Cumple
J	Longitud	60 mm	± 1,0 mm	59,52 mm ± 0,02 mm	Cumple
K	Longitud	50 mm	± 2,0 mm	50,42 mm ± 0,02 mm	Cumple
L	Longitud	150 mm	± 2,0 mm	150,00 mm ± 0,05 mm	Cumple
M	Longitud	125 mm	± 2,0 mm	125,04 mm ± 0,05 mm	Cumple
N	Longitud	24 mm	NO INDICADO	19,01 mm ± 0,02 mm	Cumple
P	Longitud	26 mm	NO INDICADO	27,69 mm ± 0,02 mm	Cumple
R	Longitud	24 mm	NO INDICADO	22,92 mm ± 0,02 mm	Cumple
T	Longitud	45 mm	NO INDICADO	45,01 mm ± 0,03 mm	Cumple
U	Longitud	47 mm	± 1,0 mm	46,27 mm ± 0,03 mm	Cumple
V	Longitud	38 mm	NO INDICADO	3,16 mm ± 0,02 mm	Cumple
W	Longitud	13 mm	NO INDICADO	13,18 mm ± 0,02 mm	Cumple
Z	Longitud	8,5 mm	NO INDICADO	NO APLICA	—

\*Valores promedio obtenidos en base a 03 repeticiones por cada valor.

*Certificado de Calibración*  
**LDA19 - 0019**

GRAFICA DEL INSTRUMENTO VERIFICADO



FIN DEL CERTIFICADO DE CALIBRACION



**MULTI  
SERVICE GROUP**

**MULTI SERVICE GROUP E.I.R.L.**

# Certificado de Calibración

## LDJ19-0011

ORDEN DE TRABAJO : OT19-0034

CLIENTE : OSMA ENGINEERING S.R.L.

DIRECCION : JR. MAYTA CAPAC NRO. 378 BAL BAÑEARIO 1 -  
CAJAMARCA - LOS BAÑOS DEL INCA

LUGAR DE CALIBRACION : INSTALACIONES DEL CLIENTE - OSMA  
ENGINEERING S.R.L.

INSTRUMENTO DE MEDICION : MARTILLO DE COMPACTACION MODIFICADO  
10 LB

MARCA : METROTEST

MODELO : MS-4

NUMERO DE SERIE : 741

IDENTIFICACION : NO INDICA

FECHA DE CALIBRACION : 2019-01-31

FECHA DE EMISION : 2019-02-04

El presente Certificado de Calibración evidencia la trazabilidad del proceso de calibración con patrones Nacionales o Internacionales, los cuales representan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades [SI].

MULTI SERVICE GROUP E.I.R.L. como organismo de evaluación de la conformidad de tercera parte ejecuta servicios de calibración a la vez que calibra y mantiene sus patrones de referencia con la finalidad de garantizar la trazabilidad de las mediciones.

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones, el usuario debería recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados.

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición, que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura  $k=2$ . La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la Incertidumbre de la Medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95%.

Los resultados reportados son válidos para las condiciones y momento en que se realizó la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la recalibración.

MULTI SERVICE GROUP E.I.R.L. no se responsabiliza por cualquier daño derivado del uso inadecuado del equipo calibrado, así como de una incorrecta interpretación de los resultados del presente certificado.

Sello

Fecha

Responsable Técnico

Metrologo a cargo



2019-02-04

Dante Abelino Pérez

Leonardo Chapoñan Osorio

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN DE ESTE DOCUMENTO SALVO AUTORIZACIÓN EXPRESA DE MSG.  
J. Las Grayas Nro. 1853 Urb. Flores 78 - Lima 36 Tel: 01 682 4723 / R.P.C. 992 367 283, 992 019 094  
operaciones@msgperu.com / metrologia@msgperu.com / ventas@msgperu.com / www.msgperu.com

## Certificado de Calibración

### LDA19-0011

#### DESCRIPCION DEL PATRON UTILIZADO

TRAZABILIDAD	NOMBRE DEL PATRON	CERTIFICADO DE CALIBRACION
METROIL	VERNIER DIGITAL PATRON INSIZE 300 mm x 0.01 mm	L-0179-2018
METROIL	REGLA PATRON SEMIFLEXIBLE MITUTOYO	LLA-050-2018
METROIL	BALANZA DE PRECISION SHIMADZU	MC0293-2018

#### PROCEDIMIENTO DE CALIBRACION

Determinación de longitudes por medición directa con vernier y regla patrón calibrados.  
MTC E 116 - 2000 / ASTM D 558 y ASTM D 1557

#### CONDICIONES AMBIENTALES REGISTRADAS

Temperatura:	22,7 °C ± 0,1 °C	Humedad Relativa:	58,0 % Hr ± 0,0 % Hr
--------------	------------------	-------------------	----------------------

#### RESULTADOS DE CALIBRACION

VARIABLE A CONTROLAR	Especificación		Valor Verificado *	Resultado
	Valor Nominal	Tolerancias		
LONGITUD	50,8 mm	± 0,13 mm	50,85 mm ± 0,04 mm	Cumple
LONGITUD	457,2 mm	± 1,8 mm	457,18 mm ± 0,06 mm	Cumple
MASA	4,50 kg	± 0,01 kg	4555,0 g ± 0,003 kg	Cumple

\* Valores promedio obtenidos en base a 05 repeticiones por cada valor.

FIN DEL CERTIFICADO DE CALIBRACION





**MULTI  
SERVICE GROUP**

**MULTI SERVICE GROUP E.I.R.L.**

# Certificado de Calibración

## LDJ19-0012

ORDEN DE TRABAJO : OT19-0034

CLIENTE : COSMA ENGINEERING S.R.L.

DIRECCION : JR. MAYTA CAPAC NRO. 378 EAL  
BALNEARIO 1 - CAJAMARCA - LOS BAÑOS

LUGAR DE CALIBRACION : INSTALACIONES DEL CLIENTE

INSTRUMENTO DE MEDICION : MARTILLO DE COMPACTACION ESTANDAR  
5,5 LB

MARCA : FORNEY

MODELO : LA-3100

NUMERO DE SERIE : 419

IDENTIFICACION : NO INDICA

FECHA DE CALIBRACION : 2019-01-31

FECHA DE EMISION : 2019-02-04

El presente Certificado de Calibración evidencia la trazabilidad del proceso de calibración con patrones Nacionales e Internacionales, los cuales representan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

MULTI SERVICE GROUP E.I.R.L. como organismo de evaluación de la conformidad de tercera parte ejecuta servicios de calibración a la vez que calibra y mantiene sus patrones de referencia con la finalidad de garantizar la trazabilidad de las mediciones.

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones, el usuario debería recibir sus instrumentos a intervalos apropiados.

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición, que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura  $k=2$ . La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la Incertidumbre de la Medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95%.

Los resultados reportados son válidos para las condiciones y momento en que se realizó la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la recalibración.

MULTI SERVICE GROUP E.I.R.L. no se responsabiliza por cualquier daño derivado del uso inadecuado del equipo calibrado, así como de una incorrecta interpretación de los resultados del presente certificado.

Selo

Fecha

Responsable Técnico

Metrologo a cargo



2019-02-04

Denia Abelino Pérez

Leonardo Chapoñan Osorio

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN DE ESTE DOCUMENTO SALVO AUTORIZACIÓN EXPRESA DE MSG.  
Jr. Las Gravas Nro. 1853 Urb. Flores 70 - Lima 36 Tel: 01 682 4729 / R.P.C. 992 367 283, 992 019 094  
operaciones@msgperu.com / metrologia@msgperu.com / ventas@msgperu.com / www.msgperu.com



**MULTI**  
SERVICE GROUP

Edición 00 - Febrero 2012  
Pag 2 de 2

MULTI SERVICE GROUP E.I.R.L.

*Certificado de Calibración*  
**LD A19-0012**

DESCRIPCION DEL PATRON UTILIZADO

TRAZABILIDAD	NOMBRE DEL PATRON	CERTIFICADO DE CALIBRACION
METROIL	VERNIER DIGITAL PATRON INSIZE 300 mm x 0,01 mm	LD179-2018
METROIL	REGLA PATRON SEMIFLEXIBLE MITUTOYO	LLA-050-2018
METROIL	BALANZA DE PRECISION SHIMADZU	MC-0293-2018

PROCEDIMIENTO DE CALIBRACION

Determinación de longitudes por medición directa con vernier y regla patrón calibrados.  
MTC E 116 - 2000 / ASTM D 558 y ASTM D 1557

CONDICIONES AMBIENTALES REGISTRADAS

Temperatura:	22,8 °C ± 0,1 °C	Humedad Relativa:	58,0 % Hr ± 1,0 % Hr
--------------	------------------	-------------------	----------------------

RESULTADOS DE CALIBRACION

VARIABLE A CONTROLAR	Especificación		Valor Verificado*	Resultado
	Valor Nominal	Tolerancias		
LONGITUD	50,8 mm	± 0,13 mm	50,54 mm ± 0,04 mm	Cumple
LONGITUD	304,8 mm	± 1,8 mm	304,75 mm ± 0,06 mm	Cumple
MASA	2,49 kg	± 0,01 kg	2486,8 g ± 0,003 kg	Cumple

\*Valores promedio obtenidos en base a 05 repeticiones por cada valor.

FIN DEL CERTIFICADO DE CALIBRACION

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN DE ESTE DOCUMENTO SALVO AUTORIZACIÓN EXPRESA DE MSG.  
Jr. Las Gravas Nro. 1853 Urb. Flores 78 - Lima 36 Telf: 01 882 4729 / RPC: 992 367 283; 992 019 004  
operaciones@msgperu.com / metrologia@msgperu.com / Ventas@msgperu.com / www.msgperu.com



**MULTI  
SERVICE GROUP**

**MULTI SERVICE GROUP E.I.R.L.**

# Certificado de Calibración

## LDA19-0013

ORDEN DE TRABAJO	: OT19-0034	El presente Certificado de Calibración evidencia la trazabilidad del proceso de calibración con patrones Nacionales o Internacionales, los cuales representan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades [SI].
CLIENTE	: OSMA ENGINEERING S.R.L.	MULTI SERVICE GROUP E.I.R.L. como organismo de evaluación de la conformidad de tercera parte ejecuta servicios de calibración a la vez que calibra y mantiene sus patrones de referencia con la finalidad de garantizar la trazabilidad de las mediciones.
DIRECCION	: JR. MAYTA CAPAC NRO. 378 SAL BALNEARIO 1 - CAJAMARCA - LOS BAÑOS DEL INCA	Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones, el usuario debería recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados.
LUGAR DE CALIBRACION	: INSTALACIONES DEL CLIENTE - OSMA ENGINEERING S.R.L.	La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición, que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura $k=2$ . La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la Incertidumbre de la Medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95%.
INSTRUMENTO DE MEDICION	: MOLDE DE PROCTOR ESTANDAR 4"	Los resultados reportados son válidos para las condiciones y momento en que se realizó la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la recalibración.
MARCA	: METROTEST	MULTI SERVICE GROUP E.I.R.L. no se responsabiliza por cualquier daño derivado del uso inadecuado del equipo calibrado, así como de una incorrecta interpretación de los resultados del presente certificado.
MODELO	: MS-6	
NUMERO DE SERIE	: 786	
IDENTIFICACION	: NO INDICA	
FECHA DE CALIBRACION	: 2019-01-31	
FECHA DE EMISION	: 2019-02-04	

Sello

Fecha

Responsable Técnico

Metrólogo a cargo



2019-02-04

Dante Abelino Pérez

Leonardo Chapañan Osorio

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN DE ESTE DOCUMENTO SALVO AUTORIZACIÓN EXPRESA DE MSG.  
J. Las Gravas Nro. 1853 Urb. Flores 78 - Lima 36 Tel: 01 682 4729 / RPC: 992 367 283, 992 019 094  
operaciones@msgperu.com / metrologia@msgperu.com / ventas@msgperu.com / www.msgperu.com

## Certificado de Calibración LDA19-0013

### DESCRIPCION DEL PATRON UTILIZADO

TRAZABILIDAD	NOMBRE DEL PATRON	CERTIFICADO DE CALIBRACION
METROIL	VERNER DIGITAL PATRON INSZE 300 mm x 0,01 mm	L-0179-2018
METROIL	BALANZA DE PRECISION SHIMADZU	MC-0293-2018

### PROCEDIMIENTO DE CALIBRACION

Determinación de longitudes por medición directa con vernier y regla patrón calibrados.  
MTC E 116 - 2000 / ASTM D 558 y ASTM D 1557

### CONDICIONES AMBIENTALES REGISTRADAS

Temperatura:	22,7 °C ± 0,1 °C	Humedad Relativa:	58,0 % Hr ± 0,0 % Hr
--------------	------------------	-------------------	----------------------

### RESULTADOS DE CALIBRACION

VARIABLE A CONTROLAR	Especificación		Valor Verificado*	Resultado
	Valor Nominal	Tolerancias		
LONGITUD DIAMETRO INTERNO	101,5 mm	± 0,41 mm	101,47 mm ± 0,06 mm	Cumple
LONGITUD ALTURA	116,4 mm	± 0,50 mm	116,41 mm ± 0,08 mm	Cumple
VOLUMEN	944 cm <sup>3</sup>	± 14 cm <sup>3</sup>	943,5 cm <sup>3</sup> ± 0,1 cm <sup>3</sup>	Cumple

\*Valores promedio obtenidos en base a 05 repeticiones por cada valor.

FIN DEL CERTIFICADO DE CALIBRACION





**MULTI  
SERVICE GROUP**

**MULTI SERVICE GROUP E.I.R.L.**

# Certificado de Calibración

## LD A19-0014

ORDEN DE TRABAJO : OT19-0034

CLIENTE : OSMA ENGINEERING S.R.L

DIRECCION : JR. MAYTA CAPAC NRO. 378 BAL. BALNEARIO 1 -  
CAJAMARCA - LOS BAÑOS DEL INCA

LUGAR DE CALIBRACION : INSTALACIONES DEL CLIENTE - OSMA  
ENGINEERING S.R.L

INSTRUMENTO DE MEDICION : MOLDE DE PROCTOR MODIFICADO 6"

MARCA : FORNEY

MODELO : MS-3

NUMERO DE SERIE : 516

IDENTIFICACION : NO INDICA

FECHA DE CALIBRACION : 2019-01-31

FECHA DE EMISION : 2019-02-04

El presente Certificado de Calibración evidencia la trazabilidad del proceso de calibración con patrones Nacionales e Internacionales, los cuales representan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

MULTI SERVICE GROUP E.I.R.L. como organismo de evaluación de la conformidad de terceros presta servicios de calibración a la vez que calibra y mantiene sus patrones de referencia con la finalidad de garantizar la trazabilidad de las mediciones.

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones, el usuario debería recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados.

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición, que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura  $k=2$ . La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la Incertidumbre de la Medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95%.

Los resultados reportados son válidos para las condiciones y momento en que se realizó la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la recalibración.

MULTI SERVICE GROUP E.I.R.L. no se responsabiliza por cualquier daño derivado del uso inadecuado del equipo calibrado, así como de una incorrecta interpretación de los resultados del presente certificado.

Sello

Fecha

Responsable Técnico

Metrologo a cargo



2019-02-04

Dante Abelino Pérez

Leonardo Chapañan Osorio

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN DE ESTE DOCUMENTO SALVO AUTORIZACIÓN EXPRESA DE MSG.  
Jr. Los Grados Nro. 1853 Utr. Flores 78 - Lima 36. Telf: 01 682 4729 / R.P.C: 992 367 263, 992 019 094  
operaciones@msgperu.com / metrologia@msgperu.com / ventas@msgperu.com / www.msgperu.com

## Certificado de Calibración

### LDA19-0014

#### DESCRIPCION DEL PATRON UTILIZADO

TRAZABILIDAD	NOMBRE DEL PATRON	CERTIFICADO DE CALIBRACION
METROIL	VERNIER DIGITAL PATRON INSIZE 300 mm ± 0.01 mm	L-0179-2018
METROIL	BALANZA DE PRECISION SHIMADZU	MC-0293-2018

#### PROCEDIMIENTO DE CALIBRACION

Determinación de longitudes por medición directa con vernier y regla patrón calibrados.  
 MTC E 116 - 2000 / ASTM D 558 y ASTM D 1557

#### CONDICIONES AMBIENTALES REGISTRADAS

Temperatura:	22,8 °C ± 0,1 °C	Humedad Relativa:	58,0 % Hr ± 0,0 % Hr
--------------	------------------	-------------------	----------------------

#### RESULTADOS DE CALIBRACION

VARIABLE A CONTROLAR	Especificación		Valor Verificado*	Resultado
	Valor Nominal	Tolerancias		
LONGITUD DIAMETRO INTERNO	152,4 mm	± 0,7 mm	152,38 mm ± 0,06 mm	Cumple
LONGITUD ALTURA	116,4 mm	± 0,50 mm	115,38 mm ± 0,08 mm	Cumple
VOLUMEN	2124 cm³	± 25 cm³	2122,5 cm³ ± 0,1 cm³	Cumple

\*Valores promedio obtenidos en base a 05 repeticiones por cada valor.

FIN DEL CERTIFICADO DE CALIBRACION

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**
**LMM-012-2020**

Laboratorio de Masa

Pág. 1 de 3

<b>Expediente</b>	2005	
<b>Solicitante</b>	<b>GEOMECANICA Y SERVICIOS DE INGENIERIA E.I.R.L</b>	
<b>Dirección</b>	JR.DINAMARCA MZA Q1 LOTE 11 LOT LA MOLINA CAJAMARCA-CAJAMARCA-LOS BAÑOS DEL INCA	Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).
<b>Instrumento de Medición</b>	<b>BALANZA NO AUTOMATICA</b>	
Marca (o Fabricante)	OHAUS	
Modelo	TAJ4001	
Numero de Serie	7132120598	
Procedencia	CHINA	Los resultados son validos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración.
Tipo	Electronica	
Identificación	No indica	
Alcance de Indicación	0      gr      a      4000      gr	
División de escala (d) o resolución	0.1      gr	Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio emisor.
Div.verifc. De escala ( e )	0.1      gr      (*)	
Capacidad Mínima	5      gr      (**)	Los certificados de calibración sin firma y sello no son válidos.
Clase de exactitud	II	
Ubic. Del Instrumento	Instalaciones del solicitante	
Lugar de Calibración	Instalaciones del solicitante	
Fecha de Calibración	2020-08-20	


La calibración se realizó según el método descrito en el PC-001, "Procedimiento de calibración de Balanzas de Funcionamiento no Automático Clase III y Clase IIII" del SNM-INDECOPI. Edición tercera Enero 2009.

**Trazabilidad**

Los resultados de la calibración realizada tienen trazabilidad a los patrones nacionales de METROIL, en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medidas (SI)

**Patrones utilizados :**

M-0985-2019; M-0984-2019

<b>Sello</b>	<b>Fecha de emisión</b>	<b>Jefe del Laboratorio de Calibración</b>
	<b>2020-08-20</b>	 <b>ROBERTO QUINTO C.</b>

CALIBRACIONES PERÚ S.A.C. - RUC: 20600820959  
 Jr. Pasco N° 3312 San Martín De Porres, Lima - Perú  
 Telf : (01) 397 8754 Cel : 949 985 016

E-mail: ventas@calibracionesperu.pe  
 laboratorio@calibracionesperu.pe  
 www.calibracionesperu.pe

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**
**LMM-012-2020**

Laboratorio de Masa

Pág. 2 de 3

**Resultados de Medicion**
**INSPECCION VISUAL**

AJUSTES DE ACERO	TIENE	ESCALA	NO TIENE
OSCILACION LIBRE	TIENE	CURSOS	NO TIENE
PLATAFORMA	TIENE	NIVELACION	TIENE
SISTEMA DE TRABA	NO TIENE		

**ENSAYO DE RETABILIDAD**

Temperatura	Inicial 20.9 °C	Final 20.9 °C
-------------	-----------------	---------------

Medicion N°	Carga L1= 2000 g			Carga L2= 4000 g		
	I (g)	ΔL (g)	E (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)
1	2000.0	0.04	0.46	4000.0	0.05	0.45
2	2000.0	0.05	0.45	4000.0	0.06	0.44
3	2000.0	0.05	0.45	4000.0	0.06	0.44
4	2000.0	0.05	0.45	4000.0	0.06	0.44
5	2000.0	0.05	0.46	4000.0	0.05	0.45
6	2000.0	0.04	0.46	4000.0	0.05	0.45
7	2000.0	0.04	0.46	4000.0	0.06	0.44
8	2000.0	0.05	0.45	4000.0	0.05	0.45
9	2000.0	0.05	0.45	4000.0	0.05	0.45
10	2000.0	0.04	0.46	4000.0	0.05	0.45

Carga (gr)	Emax-Emin (gr)	e.m.p (gr)
2000	0.0	0.2
4000	0.0	0.3

2	5
1	
3	4

 Posicion  
de las  
Cargas

**Ensayo de Excentricidad**

Temperatura	Inicial 20.9 °C	Final 20.9 °C
-------------	-----------------	---------------



Posicion de la Carga	Carga min (g)	I (g)	ΔL (g)	EO (g)	Carga L (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)	Ec (g)	e.m.p ± gr
1	1	1.0	0.05	0.45	1300	1300.0	0.05	0.45	0.00	2
2		1.0	0.06	0.44		1300.0	0.04	0.46	0.02	2
3		1.0	0.06	0.44		1300.0	0.04	0.46	0.02	2
4		1.0	0.05	0.45		1300.0	0.05	0.45	0.00	2
5		1.0	0.05	0.45		1300.0	0.04	0.46	0.01	2

 CALIBRACIONES PERÚ S.A.C. - RUC: 20600820959  
 Jr. Pasco N° 3312 San Martín De Porres, Lima - Perú  
 Telf.: (01) 397 8754 Cel.: 949 985 016

 E-mail: ventas@calibracionesperu.pe  
 laboratorio@calibracionesperu.pe  
 www.calibracionesperu.pe



**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**
**LMM-012-2020**

Laboratorio de Masa

Pág. 3 de 3

**ENSAYO DE PESAJE**

Temperatura	Inicial	20.9	°C	Final	20.9	°C
-------------	---------	------	----	-------	------	----

Carga L (g)	I (g)	$\Delta L$ (g)	E (g)	Ec (g)	I (g)	$\Delta L$ (g)	E (g)	Ec (g)	e.m.p ± g
Eo 1	1.0	0.04	0.46						
5	2.0	0.05	0.45	-0.01	2.0	0.04	0.46	0.00	1
50	10.0	0.05	0.45	-0.01	10.0	0.04	0.46	0.00	1
100	100.0	0.05	0.45	-0.01	100.0	0.05	0.45	-0.01	1
1000	1000.0	0.05	0.45	-0.01	1000.0	0.05	0.45	-0.01	1
1500	1500.0	0.06	0.44	-0.02	1500.0	0.05	0.45	-0.01	2
2000	2000.0	0.06	0.44	-0.02	2000.0	0.06	0.44	-0.02	2
2500	2500.0	0.06	0.44	-0.02	2500.0	0.06	0.44	-0.02	2
3000	3000.0	0.05	0.45	-0.01	3000.0	0.05	0.45	-0.01	3
3500	3500.0	0.06	0.44	-0.02	3500.0	0.05	0.45	-0.01	3
4000	4000.0	0.06	0.44	-0.02	4000.0	0.06	0.44	-0.02	3

Leyenda: L: Carga aplicada a la balanza.  
 I: Indicaciones de la balanza.  
 $\Delta L$ : Carga adicional.

E: Error encontrado  
 E<sub>0</sub>: Error en cero  
 E<sub>c</sub>: Error corregido

**Incertidumbre expandida de medicion**

$$U = 2 \times \sqrt{0.00169 + 0.00000000918} \quad R^2$$

**Lectura corregida**
 $R_{CORREGIDA}$ 

$$= R + 0.0000042959 \quad R$$

**Observaciones**

Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva color verde con indicaciones "COBRADO".  
 La incertidumbre de medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de medición por el factor de cobertura  $k=2$  para una distribución normal de aproximadamente 95%.

(\*) Se determinó utilizando la consideración 10.1 del PC-001.

(\*\*) Se determinó utilizando la consideración 10.1 del PC-001.

(\*\*\*) Se determinó utilizando la consideración 10.1 del PC-001.



Fin del documento



**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**

**LMT-017-2020**

Laboratorio de Temperatura

Pág. 1 de 3

Expediente 2005

Solicitante GEOMECANICA Y SERVICIOS DE INGENIERIA E.I.R.L

Dirección JR.DINAMARCA MZA Q1 LOTE 11 LOT LA MOLINA  
CAJAMARCA-CAJAMARCA-LOS BAÑOS DEL INCA

Equipo ESTUFA (HORNO)

Marca (o Fabricante) NO INDICA

Modelo NO INDICA

Numero de Serie NO INDICA

Procedencia NO INDICA

Identificación NO INDICA

Instrumento de Medición Termometro con Indicación Digital.

Marca/ Modelo THOLZ

Alcance de Indicación 50 °C a 250 °C

Div. de escala (Resoluc) 1 °C

Identificación No indica

Selector Digital

Marca/ Modelo THOLZ

Alcance de Indicación 50 °C a 250 °C

Div.de escala (Resoluc) 1.0 °C

Lugar de Calibración INSTALACIONES DEL SOLICITANTE

Fecha de Calibración 20/08/2020

**Metodo de Calibración**

La calibración se realizo por comparación según el PC - 18, 2da.Ed., "Procedimiento para la Calibración o Caracterización de Medios Isotermos con Aire como medio Termostático".

**Trazabilidad**

Los resultados de la calibración realizada tienen trazabilidad a los patrones nacionales del INACAL-DM, en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medidas (SI)

Patrones utilizados : T - 2739 - 2019

**Condiciones Ambientales**

Temperatura ambiental : Inicial 20.8 °C ; Final : 20.8 °C  
Humedad Relativa ambiental : Inicial 68 HR % ; Final : 68 HR %

Sello

Fecha de emisión

2020-08-20

Jefe del Laboratorio de Calibración



CALIBRACIONES PERÚ S.A.C. - RUC: 20600820959  
Jr. Pasco N° 3312 San Martín De Porres, Lima - Perú  
Telf.: (01) 397 8754 Cel.: 949 985 016

E-mail: ventas@calibracionesperu.pe  
laboratorio@calibracionesperu.pe  
www.calibracionesperu.pe



**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**

**LMT-017-2020**

Laboratorio de Temperatura

Pág. 2 de 3

PARA LA TEMPERATURA DE 110 °C ± 5 °C

Tiempo (min)	T.ind(°C) (Termómetro del equipo)	TEMPERATURAS EN LAS POSICIONES DE MEDICIÓN										T.prom °C	Tmax-Tmin C
		NIVEL SUPERIOR					NIVEL INFERIOR						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
0	110.0	110.0	109.0	110.0	109.0	110.0	109.9	108.9	110.0	110.0	109.0	109.6	3.0
2	110.0	109.0	110.0	110.4	110.2	110.8	110.6	109.0	110.0	110.9	110.8	110.2	4.5
4	110.0	110.0	109.2	110.0	110.3	110.0	110.1	110.6	109.0	109.5	109.8	109.9	2.0
6	110.0	110.6	109.0	109.8	110.0	110.0	110.0	109.9	109.9	109.9	110.0	109.9	3.4
8	110.0	110.0	109.5	110.2	109.0	110.1	110.2	109.0	110.2	110.2	109.1	109.8	3.4
10	110.0	110.6	109.5	110.6	110.6	109.9	109.5	110.3	109.8	109.9	110.0	109.8	2.3
12	110.0	110.5	109.0	110.4	109.9	110.0	110.2	111.6	110.9	110.8	110.5	110.4	3.2
14	110.0	109.5	110.6	110.5	109.0	110.0	110.2	110.2	110.2	109.9	110.0	110.0	3.4
16	110.0	110.0	109.9	109.0	109.0	109.9	109.8	109.2	110.0	110.5	110.0	109.7	3.7
18	110.0	110.0	109.0	110.0	109.0	110.0	109.9	108.9	110.0	110.0	109.0	109.6	4.3
20	110.0	109.0	110.0	110.4	110.2	110.8	110.6	109.0	110.0	110.9	110.8	110.2	3.6
22	110.0	109.9	110.9	110.0	109.7	109.8	109.9	110.6	110.0	109.9	110.0	110.1	3.4
24	110.0	110.6	109.9	110.5	109.9	110.6	109.5	109.6	109.7	109.8	110.0	110.0	2.2
26	110.0	110.4	109.9	109.9	109.9	110.1	110.1	109.9	109.9	110.7	110.7	110.0	3.4
28	110.0	110.0	110.0	111.2	110.2	110.2	110.4	109.9	109.9	109.8	109.8	110.1	3.0
30	110.0	110.0	110.5	110.1	110.6	110.5	113.9	113.1	109.9	110.0	109.8	110.8	3.8
32	110.0	110.2	110.6	110.3	109.9	109.9	110.7	109.9	110.1	109.7	109.8	110.1	3.7
34	110.0	109.9	109.8	111.0	110.1	109.9	109.9	110.0	110.0	110.0	110.2	110.1	3.7
36	110.0	109.9	109.9	110.0	109.9	109.8	109.8	109.9	110.2	109.9	110.0	110.0	3.7
38	110.0	110.4	109.9	109.9	109.9	110.1	110.1	109.9	109.9	110.7	110.7	110.2	3.5
40	110.0	110.0	110.0	111.2	110.2	110.2	110.4	109.9	109.9	109.8	109.8	110.1	3.8
42	110.0	110.0	110.5	110.1	110.6	110.5	113.9	113.1	109.9	110.0	109.8	110.0	3.6
44	110.0	109.9	110.9	110.0	109.7	109.8	109.9	110.6	110.0	109.9	110.0	109.9	3.6
46	110.0	110.6	109.9	110.5	109.9	110.6	109.5	109.6	109.7	109.8	110.0	110.0	3.7
48	110.0	110.4	109.9	109.9	109.9	110.1	110.1	109.9	109.9	110.7	110.7	110.0	3.0
50	110.0	105.3	110.2	109.3	109.7	108.5	110.2	110.1	109.7	107.2	109.0	109.5	3.4
52	110.0	110.0	110.6	110.5	109.0	110.0	110.2	110.2	110.2	109.9	110.0	110.0	3.6
54	111.0	110.0	111.6	109.0	109.0	112.9	114.8	111.2	110.0	110.5	110.0	109.0	3.6
56	110.0	109.5	109.0	110.0	109.0	110.0	109.9	108.9	110.0	110.0	109.0	110.0	2.9
58	110.0	109.5	110.0	111.2	110.2	110.2	110.4	109.9	109.9	109.8	109.8	109.9	2.6
60	110.0	109.5	110.5	110.1	110.6	110.5	113.9	113.1	109.9	110.0	109.8	110.0	3.8
T.PRON	110.0	109.5	110.1	101.1	109.2	110.2	109.5	105.3	109.7	110.1	110.2	110.3	3.7
T.MAX	110.0	109.2	110.1	101.1	109.2	110.2	109.5	105.3	109.7	110.1	110.2	110.3	3.7
T.MIN	110.0	110.2	109.4	110.1	110.0	110.2	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0	110.1	3.7
DTT	0.0	3.6	4.5	3.0	3.6	3.7	3.7	3.1	3.9	3.6	3.7	3.7	3.7



Parámetro	Valor (°C)	Incertidumbre expandida (°C)
Máxima temperatura Medida	111.0	0.5
Mínima Temperatura Medida	109.9	0.5
Desviación de Temperatura en el Tiempo	4.5	0.2
Desviación de Temperatura en el Espacio	3.4	0.2
Estabilidad Medida ( ± )	0.2	0.1
Uniformidad Medida	4.5	0.1



**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**
**LMT-017-2020**
**Laboratorio de Temperatura**

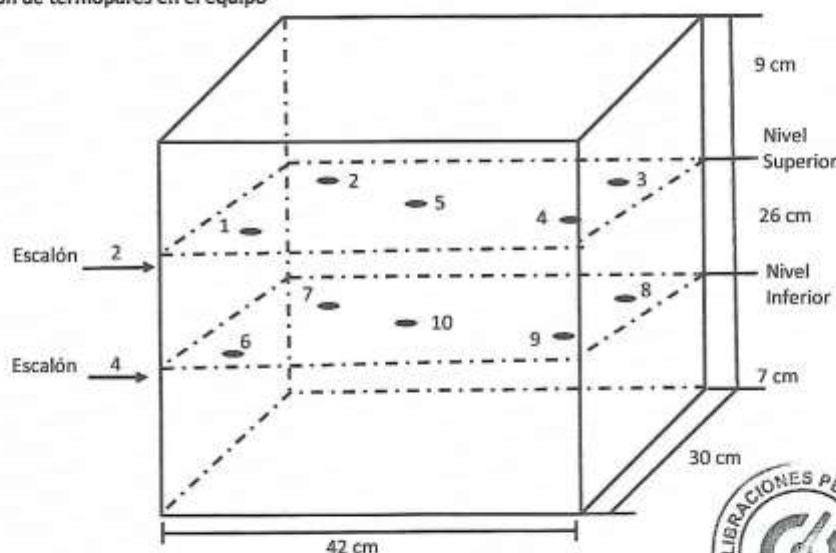
Pág. 3 de 3

- T.PROM : Promedio de la temperatura una posición de medición durante el tiempo de calibración.  
 T.PROM : Promedio de las temperaturas 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 máxima y la mínima temperatura registradas en dicha posición.

Entre dos posiciones de medición su "desviación de temperatura en el espacio" esta dada por la diferencia entre los promedios de temperaturas registradas en ambas posiciones.

**Distribución de termopares en el equipo**



- Los termopares 5 y 10 están ubicados en el centro de sus respectivas parrillas.  
 Los termopares 1 al 5 están ubicados a 2 cm por encima de la parrilla superior.  
 Los termopares 6 al 10 están ubicados a 2 cm por encima de la parrilla inferior.  
 Los termopares 1 y 4 y del 6 al 9 están ubicados a 4.5 cm de las paredes laterales y a 5 cm del frente y fondo de la estufa.  
 Los escalones indican las posiciones de las parrillas.



**Observaciones:**

- \* Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación de "CALIBRADO"  
 \* La incertidumbre de medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura  $k = 2$  para una distribución normal de aproximadamente 95%.

Fin del documento

CALIBRACIONES PERÚ S.A.C. - RUC: 20600820959  
 Jr. Pasco N° 3312 San Martín De Porres, Lima - Perú  
 Telf: (011) 267 9754 Cel: 949 985 016

E-mail: ventas@calibracionesperu.pe  
 laboratorio@calibracionesperu.pe  
 www.calibracionesperu.pe

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**
**LMM-008-2020**

Laboratorio de Masa

Pág. 1 de 3

**Expediente** 2005

**Solicitante** GEOMECANICA Y SERVICIOS DE INGENIERIA E.I.R.L

**Dirección** JR.DINAMARCA MZA Q1 LOTE 11 LOT LA MOLINA  
 CAJAMARCA-CAJAMARCA-LOS BAÑOS DEL INCA

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

**Instrumento de Medición** BALANZA NO AUTOMATICA

Marca (o Fabricante) OHAUS

Modelo EB15

Numero de Serie 8031296683

Procedencia CHINO

Tipo Electronica

Identificación No indica

Los resultados son validos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración.

Alcance de Indicación 0 gr a 15000 gr

División de escala (d) o resolución 0.5 gr

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio emisor.

Div.verific. De escala ( e ) 0.5 gr (\*)

Capacidad Mínima 25 gr (\*\*)

Clase de exactitud II (\*\*\*)

Los certificados de calibración sin firma y sello no son válidos.

**Lugar de Calibración** Laboratorio del Solicitante

**Fecha de Calibración** 2020-08-20

La calibración se realizó según el método descrito en el PC-001, "Procedimiento de calibración de Balanzas de Funcionamiento no Automático Clase III y Clase IIII" del SNM-INDECOPI. Edición tercera Enero 2009.

**Trazabilidad**

Los resultados de la calibración realizada tienen trazabilidad a los patrones nacionales del INACAL-DM, en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medidas (SI)

**Patrones utilizados :**

M-0984-2019, M-0982-2019, M-0982-2019, M-0981-2019

**Sello**
**Fecha de emisión**
**Jefe del laboratorio de calibración**

2020-08-20



ROBERTO QUINTO.

JEFE DE LABORATORIO

 CALIBRACIONES PERÚ S.A.C. - RUC: 20600820959  
 Jr. Pasco N° 3312 San Martín De Porres, Lima - Perú  
 Telf.: (01) 397 8754 Cel.: 949 985 016

 E-mail: ventas@calibracionesperu.pe  
 laboratorio@calibracionesperu.pe  
 www.calibracionesperu.pe

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**
**LMM-008-2020**

Laboratorio de Masa

Pág. 2 de 3

**Resultados de Medicion**
**INSPECCION VISUAL**

AJUSTES DE ACERO	TIENE	ESCALA	NO TIENE
OSCILACION LIBRE	TIENE	CURSOS	NO TIENE
PLATAFORMA	TIENE	NIVELACION	TIENE
SISTEMA DE TRABA	NO TIENE		

**ENSAYO DE RETABILIDAD**

Temperatura	Inicial 20.1 °C	Final 20.1 °C
-------------	-----------------	---------------

Medicion N°	Carga L1= 7500 g			Carga L2= 15000 g		
	I (g)	ΔL (g)	E (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)
1	7500.0	0.30	0.05	15000.0	0.25	0.00
2	7500.0	0.30	0.05	15000.0	0.25	0.00
3	7500.0	0.30	0.05	15000.0	0.25	0.00
4	7500.0	0.30	0.05	15000.0	0.25	0.00
5	7500.0	0.30	0.05	15000.0	0.25	0.00
6	7500.0	0.30	0.05	15000.0	0.25	0.00
7	7500.0	0.30	0.05	15000.0	0.25	0.00
8	7500.0	0.30	0.05	15000.0	0.25	0.00
9	7500.0	0.30	0.05	15000.0	0.25	0.00
10	7500.0	0.30	0.05	15000.0	0.25	0.00

Carga (gr)	E <sub>max</sub> -E <sub>min</sub> (gr)	e.m.p (gr)
7500.0	0.1	
15000.0	0.000	

2	5
1	
3	4

 Posicion  
de las  
Cargas

**Ensayo de Excentricidad**

Temperatura	Inicial 20.1 °C	Final 20.1 °C
-------------	-----------------	---------------



Posicion de la Carga	Carga min (g)	I (g)	ΔL (g)	EO (g)	Carga L (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)	Ec (g)	e.m.p ± gr
1	10	10	0.3	4.7	10000	10.000	0.5	3.5	-1.2	20
2		10	0.3	4.7		10.000	0.4	3.6	-1.1	20
3		10	0.2	4.8		10.000	0.4	3.6	-1.2	20
4		10	0.2	4.8		10.000	0.3	4.7	-0.1	20
5		10	0.2	4.8		10.000	0.4	4.6	-0.2	20



**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**
**LMM-008-2020**

Laboratorio de Masa

Pág. 3 de 3

**ENSAYO DE PESAJE**

Temperatura	Inicial	20.1 °C	Final	20.1 °C
-------------	---------	---------	-------	---------

Carga L (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)	Ec (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)	Ec (g)	e.m.p ± g
Eo	5	0.20	0.006	0.004					
	25	25.0	0.20	0.04	0.00	25.0	0.30	4.70	0.10
	50	50.0	0.25	4.7	0.10	50.0	0.30	4.70	0.10
	100	100.0	0.30	4.7	0.10	100.0	0.40	4.60	0.00
	500	500.0	0.30	4.6	-0.01	500.0	0.30	4.70	0.10
	1000	1000.0	0.40	4.6	-0.01	1000.0	0.40	4.60	0.00
	2000	2000.0	0.50	4.5	-0.11	2000.0	0.40	4.60	0.00
	4000	4000.0	0.50	4.5	-0.12	4000.0	0.50	4.50	-0.10
	6000	6000.0	0.50	4.5	-0.12	6000.0	0.50	3.50	-1.10
	10000	1000.0	0.50	3.5	-1.10	1000.0	0.60	3.40	-1.20
	15000	1500.0	0.60	3.4	-1.20	1500.0	0.60	3.40	-1.20

Leyenda: L: Carga aplicada a la balanza.  
 I: Indicaciones de la balanza.  
 ΔL: Carga adicional.

E: Error encontrado  
 E<sub>0</sub>: Error en cero  
 E<sub>c</sub>: Error corregido


**Incertidumbre expandida de medición**

$$U = 2 \times \sqrt{0.16928 + 0.000000100982} R^2$$

**Lectura corregida**

R CORREGIDA

=

0.0000239780

R

**Observaciones**

Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva color verde con indicaciones "CALIBRADO".  
 La incertidumbre de medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura  $k=2$  para una distribución normal de aproximadamente 95%.

(\*) Se determinó utilizando la consideración 10.1 del PC-001.

(\*\*) Se determinó utilizando la consideración 10.1 del PC-001.

(\*\*\*) Se determinó utilizando la consideración 10.1 del PC-001.

Fin del documento

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**
**LMM-O10-2020**

Laboratorio de Masa

Pág. 1 de 3

**Expediente** 2005  
**Solicitante** GEOMECANICA Y SERVICIOS DE INGENIERIA E.I.R.L

**Dirección** JR.DINAMARCA MZA Q1 LOTE 11 LOT LA MOLINA  
 CAJAMARCA-CAJAMARCA-LOS BAÑOS DEL INCA

**Instrumento de Medición** **BALANZA NO AUTOMATICA**
**Marca (o Fabricante)** A&S INSTRUMENTS

**Modelo** WT20000XEI

**Numero de Serie** 111202157

**Procedencia** CHINA

**Tipo** Electronica

**Identificación** No indica

**Alcance de Indicación** 0 gr a 20000 gr

**Division de escala (d)  
o resolución** 1 gr

**Div.verifc. De escala ( e )** 1 gr (\*)

**Capacidad Minima** 50 gr (\*\*)

**Clase de exactitud** II (\*\*\*)

**Lugar de Calibracion** Laboratorio del Solicitante

**Fecha de Calibración** 2020-08-20

 La calibracion se realizo según el metodo descrito en el PC-001, "Procedimiento de calibracion de  
 Balanzas de Funcionamiento no Automatico Clase III y Clase II" del SNM-INDECOPI. Edicion tercera Enero 2009.

**Trazabilidad**

 Los resultados de la calibracion realizada tienen trazabilidad a los patrones nacionales del INACAL-DM, en  
 concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medidas (SI)

**Patrones utilizados :**

M-0984-2019, M-0982-2019, M-0982-2019, M-0981-2019

**Sello** **Fecha de emisión**

2020-08-20

**Jefe del laboratorio de calibración**
  
 ROBERTO QUINTO

 CALIBRACIONES PERU S.A.C. - RUC: 20600820959  
 Jr. Pasco N° 3312 San Martín De Porres, Lima - Perú  
 Telf.: (01) 397 8754 Cel.: 949 985 016

 E-mail: ventas@calibracionesperu.pe  
 laboratorio@calibracionesperu.pe  
 www.calibracionesperu.pe





**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**

**LMM-010-2020**

Laboratorio de Masa

Pág. 2 de 3

**Resultados de Medición**

**INSPECCION VISUAL**

AJUSTES DE ACERO	TIENE	ESCALA	NO TIENE
OSCILACION LIBRE	TIENE	CURSOS	NO TIENE
PLATAFORMA	TIENE	NIVELACION	TIENE
SISTEMA DE TRABA	NO TIENE		

**ENSAYO DE RETABILIDAD**

Temperatura	Inicial 20.4 °C	Final 20.4 °C
-------------	-----------------	---------------

Medicion N°	Carga L1= 10000 g			Carga L2= 20000 g		
	I (g)	ΔL (g)	E (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)
1	10001	0.4	4.6	20001	0.6	3.4
2	10001	0.4	4.6	20001	0.6	3.4
3	10001	0.4	4.6	20001	0.6	3.4
4	10001	0.4	4.6	20001	0.6	3.4
5	10001	0.4	4.6	20001	0.6	3.4
6	10001	0.4	4.6	20001	0.6	3.4
7	10001	0.4	4.6	20001	0.7	3.3
8	10001	0.4	4.6	20001	0.6	3.4
9	10001	0.4	4.6	20001	0.7	3.3
10	10001	0.4	4.6	20001	0.6	3.4

Carga (gr)	E <sub>max</sub> -E <sub>min</sub> (gr)	e.m.p (gr)
10000	0.1	2
20000	0.3	2

2	5	Posicion	<b>Ensayo de Excentricidad</b>
1		de las	
3	4	Cargas	

Temperatura	Inicial 20.4 °C	Final 20.4 °C
-------------	-----------------	---------------



Posicion de la Carga	Carga min (g)	I (g)	ΔL (g)	E0 (g)	Carga L (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)	Ec (g)	e.m.p ± gr
1	10	10	0.3	4.7	6500	6500	0.5	3.5	-1.2	20
2		10	0.3	4.7		6500	0.4	3.6	-1.1	20
3		10	0.2	4.8		6500	0.4	3.6	-1.2	20
4		10	0.2	4.8		6500	0.3	4.7	-0.1	20
5		10	0.2	4.8		6500	0.4	4.6	-0.2	20

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**
**LMM-O10-2020**

Laboratorio de Masa

Pág. 3 de 3

**ENSAYO DE PESAJE**

Temperatura	Inicial	20.4	°C	Final	20.4	°C
-------------	---------	------	----	-------	------	----

Carga L (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)	Ec (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)	Ec (g)	e.m.p ± g
1	10	0.4	4.6						
50	50	0.4	4.6	0.0	50	0.3	4.7	0.1	10
100	100	0.3	4.7	0.1	100	0.3	4.7	0.1	10
500	500	0.3	4.7	0.1	500	0.4	4.6	0.0	10
1000	1000	0.4	4.6	0.0	1000	0.3	4.7	0.1	10
3000	3000	0.4	4.6	0.0	3000	0.4	4.6	0.0	20
7000	7000	0.5	4.5	-0.1	7000	0.4	4.6	0.0	20
10000	10000	0.5	4.5	-0.1	10000	0.5	4.5	-0.1	20
12000	12000	0.5	4.5	-0.1	12000	0.5	3.5	-1.1	20
15000	15000	0.5	3.5	-1.1	15000	0.6	3.4	-1.2	30
20000	20000	0.6	3.4	-1.2	20000	0.6	3.4	-1.2	30

Leyenda: L: Carga aplicada a la balanza.  
 I: Indicaciones de la balanza.  
 ΔL: Carga adicional.

E: Error encontrado  
 E<sub>0</sub>: Error en cero  
 E<sub>c</sub>: Error corregido


**Incertidumbre expandida de medición**

$$U = 2 \times \sqrt{0.16928 + 0.0000000100932 \times R^2}$$

**Lectura corregida**

R CORREGIDA

=

0.0000239780

R

**Observaciones**

Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva color verde con indicaciones "CALIBRADO"

La incertidumbre de medición se ha obtenido multiplicándola incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura k=2 para una distribución normal de aproximadamente 95%

(\*) Se determinó utilizando la consideración 10.1 del PC-001.

(\*\*) Se determinó utilizando la consideración 10.1 del PC-001.

(\*\*\*) Se determinó utilizando la consideración 10.1 del PC-001.

Fin del documento

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**
**LMM-005-2020**

Laboratorio de Fuerza

Pág. 1 de 3


<b>Expediente</b>	2005	
<b>Solicitante</b>	<b>GEOMECANICA Y SERVICIOS DE INGENIERIA</b>	
	<b>E.I.R.L</b>	
<b>Dirección</b>	JR.DINAMARCA MZA Q1 LOTE 11 LOT LA MOLINA CAJAMARCA-CAJAMARCA-LOS BAÑOS DEL INCA	Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).
<b>Instrumento de Medición</b>	<b>BALANZA NO AUTOMATICA</b>	
Marca (o Fabricante)	OHAUS	
Modelo	TA302	
Numero de Serie	71315300131	Los resultados son validos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración.
Procedencia	CHINA	
Tipo	Electronica	
Identificación	NO INDICA	
Alcance de Indicación	0      gr      a      300      gr	Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio emisor.
División de escala (d) o resolución	0.01      gr	
Div.verifc. De escala ( e )	0,1      gr      (*)	Los certificados de calibración sin firma y sello no son válidos.
Capacidad Mínima	2      gr      (**)	
Clase de exactitud	III	
Ubic. Del Instrumento	Instalaciones del solicitante	
Lugar de Calibración	Instalaciones del solicitante	
Fecha de Calibración	2020-08-20	

La calibración se realizó según el método descrito en el PC-001, "Procedimiento de calibración de Balanzas de Funcionamiento no Automático Clase III y Clase IIII" del SNM-INDECOPI. Edición tercera Enero 2009.

**Trazabilidad**

Los resultados de la calibración realizada tienen trazabilidad a los patrones nacionales de METROIL, en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medidas (SI)

Patrones utilizados : M-0984-2019

<b>Sello</b>	<b>Fecha de emisión</b>	<b>Jefe del laboratorio de calibración</b>
	2020-08-20	

CALIBRACIONES PERU S.A.C. - RUC: 20600820959  
 Jr. Pasco N° 3312 San Martín De Porres, Lima - Perú  
 Telf.: (01) 397 8754 Cel.: 949 985 016

E-mail: ventas@calibracionesperu.pe  
 laboratorio@calibracionesperu.pe  
 www.calibracionesperu.pe



**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**
**LMM-005-2020**

Laboratorio de Masa

Pág. 2 de 3

**Resultados de Medición**
**INSPECCION VISUAL**

AJUSTES DE ACERO	TIENE	ESCALA	NO TIENE
OSCILACION LIBRE	TIENE	CURSOS	NO TIENE
PLATAFORMA	TIENE	NIVELACION	NO TIENE
SISTEMA DE TRABA	NO TIENE		

**ENSAYO DE RETABILIDAD**

Temperatura	Inicial 20.1 °C	Final 20.1 °C
-------------	-----------------	---------------

Medición N°	Carga L1= 150,00 g			Carga L2= 300,00 g		
	I (g)	ΔL (g)	E (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)
1	150.00	0.004	0.046	300.00	0.005	0.055
2	150.00	0.004	0.046	300.00	0.005	0.055
3	150.00	0.004	0.046	300.00	0.005	0.055
4	150.00	0.004	0.046	300.00	0.005	0.055
5	150.00	0.004	0.046	300.00	0.005	0.055
6	150.00	0.004	0.046	300.00	0.005	0.055
7	150.00	0.004	0.046	300.00	0.005	0.055
8	150.00	0.004	0.046	300.00	0.005	0.055
9	150.00	0.004	0.046	300.00	0.005	0.055
10	150.00	0.004	0.046	300.00	0.005	0.055

Carga (gr)	E <sub>max</sub> -E <sub>min</sub> (gr)	e.m.p (gr)
150,00	0.0	0.2
300,00	0.0	0.3

2	5
1	
3	4

 Posición  
de las  
Cargas

**Ensayo de Excentricidad**

Temperatura	Inicial 20.1 °C	Final
-------------	-----------------	-------



Posición de la Carga	Carga min (g)	I (g)	ΔL (g)	E0 (g)	Carga L (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)	E <sub>c</sub> (g)	e.m.p ± gr
1	1	1.00	0.004	0.046	100,00	100.00	0.00	0.046	0.00	0.1
2		1.00	0.003	0.046		100.00	0.004	0.045	-0.001	0.1
3		1.00	0.002	0.046		100.00	0.004	0.046	0.00	0.1
4		1.00	0.001	0.046		100.00	0.004	0.046	-0.01	0.1
5		1.00	0.005	0.045		100.00	0.004	0.035	-0.01	0.1

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**
**LMM-005-2020**

Laboratorio de Masa

Pág. 3 de 3

**ENSAYO DE PESAJE**

Temperatura	Inicial	20.1	°C	Final	20.1	°C
-------------	---------	------	----	-------	------	----

Carga L (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)	Ec (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)	Ec (g)	e.m.p ± g
1	1.00	0.004	0.046						
10	10.00	0.005	-0.009	-0.010	10.00	0.005	-0.009	-0.01	1
50	50.00	0.005	-0.009	-0.080	50.00	0.005	-0.01	-0.08	1
160	160.00	0.005	-0.009	-0.009	160.00	0.005	-0.009	-0.009	1
180	180.00	0.005	-0.009	-0.010	180.00	0.005	-0.01	-0.01	1
200	200.01	0.006	-0.011	-0.011	200.01	0.006	-0.01	-0.011	2
220	220.00	0.006	-0.009	-0.013	220.00	0.006	-0.01	-0.013	2
240	240.00	0.006	-0.010	-0.012	240.00	0.006	-0.01	-0.012	2
260	260.00	0.005	-0.100	-0.012	260.00	0.005	-0.10	-0.012	3
280	280.00	0.006	-0.011	-0.013	280.00	0.006	-0.011	-0.013	3
300	300.00	0.006	-0.011	-0.013	300.00	0.006	-0.011	-0.013	3

Leyenda: L: Carga aplicada a la balanza.

E: Error encontrado

I: Indicaciones de la balanza.

 E<sub>0</sub>: Error en cero

ΔL: Carga adicional.

 E<sub>c</sub>: Error corregido

**Incertidumbre expandida de medicion**

$$U = 2 \times \sqrt{0.00169 + 0.000000013463} \quad R^2$$

**Lectura corregida**

 R<sub>CORREGIDA</sub>

$$= R + 0.0004016071 \quad R$$

**Observaciones**

Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva color verde con indicaciones "CALIBRADO"

La incertidumbre de medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura k=2 para una distribución normal de aproximadamente 95%

(\*) Se determinó utilizando la consideración 10.1 del PC-001.

(\*\*\*) Se determinó utilizando la consideración 10.1 del PC-001.

(\*\*\*) Se determinó utilizando la consideración 10.1 del PC-001.



Fin del documento

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN LMF-033-2020

Laboratorio de Fuerza

Pág. 1 de 2

Expediente 2005

Solicitante **GEOMECANICA Y SERVICIOS DE INGENIERIA E.I.R.L**

Dirección JR.DINAMARCA MZA Q1 LOTE 11 LOT LA MOLINA  
CAJAMARCA-CAJAMARCA-LOS BAÑOS DEL INCA

Instrumento de Medición Máquinas para Ensayos Uniaxiales Estáticos  
Máquinas de Ensayo de Tensión / Compresión

**Equipo Calibrado** **PRENSA DE CBR (DIGITAL)**

Alcance de Indicación 0 kgf a 5000 kgf

Marca (o Fabricante) TAMIEQUIPOS LTDA

Modelo TCP 038

Número de Serie NO INDICA

Procedencia NO INDICA

Indicador de Lectura DIGITAL

Marca (o Fabricante) NO INDICA

Modelo NO INDICA

Número de Serie 691

Identificación NO INDICA

Alcance de Indicación 0 kgf a 5000kgf

Resolución 0.1 kgf

Transductor de Fuerza CELDA S

Alcance de Indicación 5 TN

Marca (o Fabricante) ZEMIC

Modelo H3-C3-5.OT-68

Número de Serie LD2009893

Fecha de Calibración 2020-08-20

Ubic. Del Equipo Laboratorio de Solicitante

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración.

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio emisor.

Los certificados de calibración sin firma y sello no son válidos.

Sello

Fecha de emisión

Jefe del Laboratorio de Calibración

2020-08-20



CALIBRACIONES PERÚ S.A.C. - RUC: 20600820959  
 Jr. Pasco N° 3312 San Martín De Porres, Lima - Perú  
 Telf.: (01) 397 8754 Cel.: 949 985 016

E-mail: [ventas@calibracionesperu.pe](mailto:ventas@calibracionesperu.pe)  
[laboratorio@calibracionesperu.pe](mailto:laboratorio@calibracionesperu.pe)  
[www.calibracionesperu.pe](http://www.calibracionesperu.pe)



**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN LMF-033-2020**

Laboratorio de Fuerza

Pág. 2 de 2

**Método de Calibración**

La calibración se realizó tomando como referencia el método descrito en la norma ISO 7500-1 / ISO 376, Verificación de Máquinas para Ensayos Uniaxiales Estáticos, Máquinas de Ensayo de Tensión / Compresión Verificación y Calibración del Sistema de Medición de Fuerza.

**Trazabilidad**

Se utilizó patrón calibrado con trazabilidad al SI, calibrado por la Pontificia Universidad Católica del Perú

Con Certificado N° INF - LE 238-19

**Resultados de medición**

Lectura de la máquina (Fi)		Lectura del patrón			Promedio	Cálculo de errores		Incertidumbre
		Primera	Segunda	Tercera		Exactitud	Repetibilidad	
%	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	q(%)	b(%)	U(%)
10	500	5001.0	5001.0	5001.0	5001.0	-90.0	0.0	0.24
20	1000	1000.4	1000.4	1000.4	1000.4	0.0	0.0	0.28
30	1500	1501.5	1501.5	1501.5	1501.5	-0.1	0.0	0.26
40	2000	2002.3	2002.3	2002.3	2002.3	-0.1	0.0	0.25
50	2500	2503.5	2503.5	2503.5	2503.5	-0.1	0.0	0.25
60	3000	3003.3	3003.3	3003.3	3003.3	-0.1	0.0	0.24
70	3500	3504.4	3504.4	3504.4	3504.4	-0.1	0.0	0.24
80	4000	4005.5	4005.5	4005.5	4005.5	-0.1	0.0	0.24
90	4500	4505.5	4505.5	4505.5	4505.5	-0.1	0.0	0.24
100	50000	5005.5	5005.5	5005.5	5005.5	898.9	0.0	0.24
Lectura máquina en cero		0	0	0	—	0	0	Error máx. de cero(0)=0,00

Temperatura promedio durante los ensayos 18.0 °C; Varación de temperatura en cada ensayo

**Evaluación de los resultados**

Los errores encontrados entre el 20% y el 100% del rango nominal considerado no superan los valores máximos permitidos establecidos en la norma ISO 7500-1.

**Observaciones**

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación de "CALIBRADO"
- La incertidumbre de medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estandar de la medición por el factor de cobertura  $k=2$  para una distribución normal de aproximadamente 95 %.

Fin del documento

