



**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y
URBANISMO**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE
INGENIERÍA CIVIL**

TESIS:

**“CORRELACIÓN DEL VALOR DE SOPORTE DE
CALIFORNIA (CBR) CON LA RESISTENCIA A LA
COMPRESIÓN INCONFINADA EN SUELOS
COHESIVOS EN EL PUEBLO JOVEN NUEVO
PROGRESO EN EL DISTRITO DE PIMENTEL,
PROVINCIA DE CHICLAYO, REGIÓN LAMBAYEQUE”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL**

Autor:

Bach. Carrasco Mendoza, Bayron Alexis

Asesor:

Ing. Ruiz Saavedra, Nepton David

Línea de investigación:

**Ingeniería de procesos – ingeniería vial y de
transportes**

Pimentel – Perú

2016

Título:

**“CORRELACIÓN DEL VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA
(CBR) CON LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
INCONFINADA EN SUELOS COHESIVOS EN EL PUEBLO JOVEN
NUEVO PROGRESO EN EL DISTRITO DE PIMENTEL,
PROVINCIA DE CHICLAYO, REGIÓN LAMBAYEQUE”**

Aprobación de Tesis

Chanduvi Calderon, Roger Fernando

Asesor metodólogo

Ing. Ruiz Saavedra, Nepton David

Asesor especialista

M. Sc. Ing. Coronado Zuloeta, Omar

Presidente del jurado de tesis

Ing. Marín Bardales Noé Humberto

Secretario del jurado de tesis

Ing. Ruiz Saavedra, Nepton David

Vocal del jurado de tesis

DEDICATORIA:

A Dios y a mis padres Georgina Mendoza Arrascue y Lelis Carrasco Huamanchumo por su apoyo en todo momento, por todos los valores que me han inculcado, y por haberme dado la oportunidad de tener la mejor educación en el transcurso de mi vida. A mis hermanos Frank, Silvia, Paola y Patty, por formar parte de mi vida, ser un ejemplo de desarrollo profesional y por haberme apoyado constantemente. A mis tíos Cesar Estela y Marina Mendoza por su apoyo y consejos para poder lograr mis metas.

Bayron Alexis

AGRADECIMIENTO:

A mi asesor especialista el ingeniero Ing. Ruiz Saavedra, Nepton por su contribución, dedicación y empeño en la asesoría de nuestra Tesis.

A mis docentes de la Carrera de Ingeniería Civil, por sus valiosas enseñanzas y compartir experiencias.

Y un agradecimiento muy especial a:

A mis papas, hermano, hermanas y tíos, quienes con su apoyo hicieron posible el desarrollo de esta tesis.

Bayron Alexis

ÍNDICE

RESUMEN.....	xii
ABSTRACT:.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	14
CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	15
1.1. Situación problemática.....	15
1.1.1. A nivel internacional.....	15
1.1.2. A nivel nacional.....	16
1.1.3. A nivel local.....	17
1.2. Formulación del problema.....	18
1.3. Delimitación de la investigación.....	18
1.4. Justificación e importancia.....	18
1.4.1. Justificación tecnológica.....	18
1.4.2. Justificación social.....	18
1.4.3. Justificación económica.....	19
1.5. Delimitaciones de la investigación.....	19
1.6. Objetivo de la investigación.....	19
1.6.1. Objetivo general.....	19
1.6.2. Objetivos específicos.....	19
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	21
2.1. Antecedentes de estudio.....	21
2.1.1. A nivel internacional.....	21
2.1.2. A nivel nacional.....	22
2.1.3. A nivel local.....	23
2.2. Bases teórico científicas.....	24
2.2.1. Suelos.....	24
2.2.1.1. Definición.....	24
2.2.1.2. Clasificación de los suelos.....	24
2.2.1.3. Investigación del subsuelo.....	25
2.2.1.4. Exploración y muestreo de suelos.....	25
2.2.1.5. Resistencia al corte de los suelos.....	28
2.2.1.6. Ensayo de Compresión Inconfinada.....	29
2.2.2. Estructura del pavimento.....	33
2.2.2.1. Ensayos para determinar la resistencia de la subrasante.....	35
2.2.2.2. Relación del Valor de Soporte de California (CBR, California Bearing Ratio).....	35
2.2.3. Conceptos básicos de estadística.....	36
2.2.4. Análisis de regresión.....	36
2.2.4.1. Regresión lineal simple.....	38
2.2.5. Coeficiente de determinación (R^2).....	41
2.2.6. Coeficiente de correlación lineal o de Pearson (r).....	41

2.2.7.	Comprobación de supuestos del modelo de regresión	42
2.2.7.1.	Residuos con distribución normal	42
2.3.	Definición de términos básicos	47
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO		49
3.1.	Tipo y diseño de la investigación	49
3.1.1.	Tipo de investigación	49
3.1.2.	Diseño de la investigación	49
3.2.	Población y muestra.....	50
3.2.1.	Población.....	50
3.2.2.	Muestra	50
3.3.	Hipótesis	51
3.4.	Variables	51
3.4.1.	Variable independiente: Suelo cohesivo.	51
3.4.2.	Variable Dependiente: valor de soporte california (CBR), y compresión inconfiada	51
3.5.	Operacionalización.....	52
3.6.	Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos	53
3.6.1.	Métodos de investigación	53
3.6.2.	Técnicas de recolección de datos.....	53
3.6.3.	Instrumentos de recolección de datos.....	53
3.7.	Procedimiento para la recolección de datos	54
3.7.1.	Diagrama de flujo de Procesos	54
3.7.1.1.	Descripción de procesos	55
3.8.	Análisis estadístico e interpretación de los datos	76
3.8.1.	Enfoque cualitativo	76
3.8.2.	Enfoque cuantitativo	77
3.9.	Principios éticos	77
3.9.1.	Ética de la recolección de datos	77
3.9.2.	Ética de la publicación	77
3.9.3.	Ética de la aplicación.....	77
3.9.3.1.	Código ético de la aplicación	77
3.10.	Criterios de rigor científico.....	79
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....		80
4.1.	Resultados de tablas y gráficos.	80
4.1.1.	Estudio de mecánica de suelos.	80
4.1.2.	Resultados de la resistencia a la compresión inconfiada	91
4.1.3.	Resultados del valor de soporte de california (CBR) con muestras inalteradas en suelos cohesivos.	95
4.1.4.	Cuadro de resumen de resultados.....	99
4.1.5.	Análisis estadístico de las muestras.	99
4.1.5.1.	Diagramas de dispersión	99

4.1.5.2. Regresión lineal simple (MINITAB 17)	103
4.2. Discusión de resultados	120
CAPÍTULO V: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN	122
5.1. Propuesta de investigación.	122
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	123
6.1. Conclusiones	123
6.2. Recomendaciones	124
REFERENCIAS:	125
ANEXOS	128

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Diseño de investigación Cuasi-experimental</i>	49
Tabla 2 <i>Coordenadas geográficas de la ubicación de las calicatas</i>	50
Tabla 3 <i>Esquema de proyecto cuantitativo de investigación de la USS</i>	52
Tabla 4 <i>Tabla de penetración CBR</i>	63
Tabla 5 <i>Valores de relación de soporte (penetración, presión)</i>	67
Tabla 6 <i>Tubos de acero de pared delgada para muestras de tamaño apropiado</i>	69
Tabla 7 <i>Tabla para determinar la consistencia del suelo a partir de la resistencia a la compresión no confinada (inconfiada)</i>	75
Tabla 8 <i>Resumen de contenido de humedad en calicatas</i>	81
Tabla 9 <i>Datos y cálculos de límite líquido en calicata 01 – M1</i>	84
Tabla 10 <i>Cuadro de resultados de limite liquido de las calicatas de estudio</i>	85
Tabla 11 <i>Datos y cálculos de límite plástico para la calicata 01</i>	86
Tabla 12 <i>Cuadro de resultados de limite plástico de las calicatas de estudio</i>	87
Tabla 13 <i>Cuadro de Índice de plasticidad de las calicatas de estudio</i>	87
Tabla 14 <i>Cuadro de resumen granulométrico de suelos en las calicatas de investigación</i>	90
Tabla 15 <i>Clasificación del tipo de suelo según SUCS en las calicatas de estudio</i>	90
Tabla 16 <i>Datos y cálculos obtenidos de muestra 01 - Calicata 01 para Compresión inconfiada</i>	91
Tabla 17 <i>Ensayo de compresión inconfiada en muestra 01 – calicata 01</i>	92
Tabla 18 <i>Tipo de consistencia del suelo con respecto a la compresión inconfiada</i>	93
Tabla 19 <i>Cuadro de resumen de cálculos del ensayo de compresión inconfiada</i>	94
Tabla 20 <i>Datos cálculos y obtenidos de la muestra 01 – calicata 01, en estado natural y saturado</i>	95
Tabla 21 <i>Penetración de muestra 01 - calicata 01 en estado natural y saturado</i>	96
Tabla 22 <i>Lecturas diarias de expansión de la muestra 01 en la calicata 01</i>	96
Tabla 23 <i>Resumen de ensayo de CBR en muestras inalteradas en estado natural y saturado</i>	98
Tabla 24 <i>Resultados del modelo raíz cuadrada de CBR en estado natural vs compresión inconfiada</i>	111
Tabla 25 <i>Resultados del modelo raíz cuadrada de CBR en estado saturado vs compresión inconfiada</i>	119

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1</i> Aplicación de carga y gráfica esfuerzo- deformación.	30
<i>Figura 2</i> Equipo de Compresión: conformado por una prensa para rotura de las probetas	31
<i>Figura 3</i> Estructura convencional del pavimento flexible.	34
<i>Figura 4</i> Estructura convencional del pavimento rígido.	34
<i>Figura 5</i> Diagramas de dispersión.	37
<i>Figura 6</i> Método de mínimos cuadrados.	39
<i>Figura 7</i> Graficas de probabilidad normal de residuos.	44
<i>Figura 8</i> Gráfica de aproximación normal.	45
<i>Figura 9</i> Gráficas de residuos vs valores ajustados.	46
<i>Figura 10</i> Diagrama de flujos de procesos.....	54
<i>Figura 11</i> Extracción de muestras alteradas con posteadora.....	55
<i>Figura 12</i> Muestras de suelo alterado.....	55
<i>Figura 13</i> Extracción de muestras alteradas, con molde CBR	56
<i>Figura 14</i> Extracción de muestras inalteradas	57
<i>Figura 15</i> Extracción de muestras inalteradas con tubo de acero inoxidable	57
<i>Figura 16</i> Tamizado de las muestras de suelos alteradas	58
<i>Figura 17</i> Preparación de agua oxigenada con muestra de suelo.....	58
<i>Figura 18</i> Realización de las muestras para límite plástico	59
<i>Figura 19</i> Ensayo de Copa Casa Grande para el límite líquido.....	59
<i>Figura 20</i> Desparafinando las muestras inalteradas del molde CBR.....	60
<i>Figura 21</i> Muestras para CBR desparafinadas	61
<i>Figura 22</i> Maquina montada con el molde CBR para realizar el ensayo de penetración..	64
<i>Figura 23</i> Inmersión de las muestras en los moldes de CBR.....	65
<i>Figura 24</i> Dial para medir la expansión.....	65
<i>Figura 25</i> Gráfica de lecturas de presiones sobre pistón (penetración).....	66
<i>Figura 26</i> Tubo para extracción de muestras inalteradas para Compresión Inconfinada .	70
<i>Figura 27</i> Extracción de muestras inalteradas para ensayo de Compresión inconfinada .	71
<i>Figura 28</i> Extracción de muestras.....	71
<i>Figura 29</i> Ensayo de compresión inconfinada.....	72
<i>Figura 30</i> Áreas vs. Cambio de longitud	74
<i>Figura 31</i> compresión no confinada (inconfinada).....	76
<i>Figura 32</i> Curva de fluidez de la calicata 1 - M1	84
<i>Figura 33</i> Curva granulométrica de la calicata 01	89
<i>Figura 34</i> Curva de esfuerzo vs deformación unitaria en calicata 1- muestra 01.....	93
<i>Figura 35</i> Gráfica de penetración vs carga en estado natural de la muestra 01 - calicata 01	97
<i>Figura 36</i> Gráfica de penetración vs carga en estado saturado de calicata 01 – muestra 01	97
<i>Figura 37</i> Grafica de dispersión del CBR inalterado en estado natural vs limite liquido ...	99
<i>Figura 38</i> Grafica de dispersión del CBR inalterado en estado natural vs plasticidad	100
<i>Figura 39</i> Grafica de dispersión del CBR inalterado en estado natural vs la compresión confinada	100

<i>Figura 40</i> Grafica de dispersión del CBR inalterado en estado saturado vs limite líquido	101
<i>Figura 41</i> Grafica de dispersión del CBR inalterado en estado saturado vs plasticidad .	102
<i>Figura 42</i> Grafica de dispersión del CBR inalterado en estado saturado vs compresión inconfiada	102
<i>Figura 43</i> Gráfica de probabilidad de residest1 CBR natural.....	104
<i>Figura 44</i> Histograma de residuos para CBR estado natural	105
<i>Figura 45</i> Residuos vs. Ajustes para CBR estado natural	105
<i>Figura 46</i> Gráfica de probabilidad de RESIDEST2 para CBR natural – logaritmo.....	107
<i>Figura 47</i> Histograma de residuos para CBR estado natural - logaritmo.....	107
<i>Figura 48</i> Residuos vs. Ajustes para CBR estado natural - logaritmo	108
<i>Figura 49</i> Gráfica de probabilidad de RESIDEST3 – raíz cuadrada	109
<i>Figura 50</i> Histograma de residuos para CBR estado natural – raíz cuadrada	110
<i>Figura 51</i> Residuos vs. Ajustes para CBR estado natural – raíz cuadrada	111
<i>Figura 52</i> Gráfica de probabilidad de RESIDEST4 – CBR saturado	113
<i>Figura 53</i> Histograma de residuos para CBR estado saturado	113
<i>Figura 54</i> Residuos vs. Ajustes para CBR estado saturado	114
<i>Figura 55</i> Gráfica de probabilidad de RESIDEST5 - CBR saturado – logaritmo.....	115
<i>Figura 56</i> Histograma de residuos para CBR saturado - logaritmo	116
<i>Figura 57</i> Residuos vs. Ajustes para CBR saturado - logaritmo.....	116
<i>Figura 58</i> Gráfica de probabilidad de RESIDEST6- CBR saturado – raíz cuadrada.....	118
<i>Figura 59</i> Histograma de residuos para CBR ESTADO SATURADO- raíz cuadrada.....	118
<i>Figura 60</i> Residuos vs. Ajustes para CBR saturado - raíz cuadrada.....	119

ÍNDICE DE ECUACIONES

<i>Ecuación 1</i> Modelo de regresión lineal simple	38
<i>Ecuación 2</i> Estimadores de mínimos cuadrados.....	39
<i>Ecuación 3</i> Ecuación para determinar B1	39
<i>Ecuación 4</i> Media muestral y	40
<i>Ecuación 5</i> Media muestral \bar{x}	40
<i>Ecuación 6</i> Reducción de la suma de cuadrados total	40
<i>Ecuación 7</i> Formula del coeficiente de determinación	41
<i>Ecuación 8</i> Coeficiente de correlación lineal	41
<i>Ecuación 9</i> Covarianza de X, Y	41
<i>Ecuación 10</i> Ecuación de desviación estándar para S_x , S_y	42
<i>Ecuación 11</i> Formula de la media de los residuales	47
<i>Ecuación 12</i> Ecuación para determinar la expansión.....	66
<i>Ecuación 13</i> Ecuación para determinar la deformación unitaria.....	73
<i>Ecuación 14</i> Ecuación para determinar la sección transversal promedio de la muestra...73	73
<i>Ecuación 15</i> Ecuación para determinar el Área promedio de la probeta	73
<i>Ecuación 16</i> Fórmula para Calcular el esfuerzo (σ)	74
<i>Ecuación 17</i> Modelo de regresión planteado para análisis estadístico-CBR natural	103
<i>Ecuación 18</i> Modelo de regresión planteado para análisis estadístico usando logaritmo- CBR natural.....	106

<i>Ecuación 19</i> Modelo de regresión planteado para análisis estadístico usando raíz cuadrada – CBR natural	109
<i>Ecuación 20</i> Ecuación para determinar el CBR natural a partir de la compresión inconfiada	112
<i>Ecuación 21</i> Modelo de regresión planteado para análisis estadístico - CBR saturado .	112
<i>Ecuación 22</i> Modelo de regresión planteado para análisis estadístico usando logaritmo-CBR saturado	114
<i>Ecuación 23</i> Modelo de regresión planteado para análisis estadístico usando raíz cuadrada – CBR saturado	117
<i>Ecuación 24</i> Ecuación para determinar el CBR saturado a partir de la compresión inconfiada	120

RESUMEN

Como etapa del desarrollo de una construcción tanto de una carretera, de un edificio o cualquier obra civil, incluye determinar la capacidad de soporte del suelo, los entornos de suelo proporcionan la base física para que un edificio o una carretera permanezcan durante años.

El presente trabajo de investigación tiene como propósito determinar si es que existe o no existe una correlación entre los ensayos de valor de soporte de california (C.B.R) y la compresión inconfiada en suelos cohesivos.

Para lo cual el método de compresión inconfiada es un método alternativo más económico y más rápido que el método convencional; principalmente en las etapas conceptuales de un proyecto (anteproyecto, perfil, prefactibilidad, etc.) en la que muchas veces no se cuenta con medios económicos adecuados.

Para llegar a este objetivo de investigación se realizaron los ensayos que se han nombrado anteriormente; para lo cual se extrajeron muestras de suelos inalterado y alterado en la calle U. Tec. Del Callao, en el pueblo joven "Nuevo Progreso" en el distrito de Pimentel; en los cuales se determinó el grado de correlación que existen entre ambos ensayos, logrando así tener mayor correlación el ensayo de Compresión Inconfiada con el de CBR en estado natural con muestras inalteradas, que el ensayo de CBR en estado saturado.

Palabras clave: correlación, C.B.R, compresión inconfiada, suelo cohesivo.

ABSTRACT:

Part of the process of construction of a building or a road involves analyzing the land on which construction will take place. Soil environments provide the physical basis for a building or a road remain for years.

Chiclayo, capital of Lambayeque region has unfortunately with poor soil quality, since most of its territory is Composed of silt and clay, this type of soil, without alteration and appropriate evaluation can be a real problem as foundation due to its tendency to shrink and swell.

This research aims to determine the existence or non-existence of a correlation between trials support value California (C.B.R) and unconfined compression cohesive soils.

For which the unconfined compression method is a more economical and faster than the conventional method alternative method; especially in the conceptual stages of a project (draft, profile, prefeasibility, etc.) which often do not have sufficient financial means

In order to reach this research objective, the tests that were previously mentioned were carried out; For which samples of unaltered and altered soil are extracted in the street U. Tec. Del Callao, in the young town "Nuevo Progreso" in the district of Pimentel; In which the degree of correlation between the two tests was determined, thus achieving a better correlation of the Inconfined Compression test with the CBR in the natural state with unchanged samples, than the CBR test in the saturated state

Key Words: correlation, C.B.R, unconfined compression, cohesive soil.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación sobre la correlación entre los ensayos de compresión inconfiada en suelos cohesivos con el valor de soporte de california (CBR), consta de 6 capítulos los cuales se detallan como sigue:

En el capítulo I se presenta una descripción de la situación problemática que existe para hallar la capacidad de soporte del terreno a través de los diversos métodos existentes, uno de ellos, el más usado es el CBR pero por la dificultad es en que consiste el ensayo, se opta por obtener a través de otros ensayos de laboratorio y campo es por eso que en esta tesis formulé el siguiente problema ¿En qué medida están correlacionados el ensayo de CBR y el ensayo de Resistencia a la Compresión Inconfiada en suelos cohesivos?

El capítulo II es referente al marco teórico en donde encontramos unas breves descripciones de investigaciones tanto en el ámbito internacional, nacional y local, relacionadas al tema de este proyecto, así como también las bases teórico científicas en las que se apoyó esta investigación para su desarrollo y la definición de algunos términos básicos.

El capítulo III se explica la metodología que se utilizó para la realización de este proyecto, el tipo y diseño de investigación, hipótesis, además se presenta los métodos, técnicas e instrumentos usados para la recolección de datos.

En el capítulo IV se realiza el análisis e interpretación de los resultados mostrando una serie de gráficos y tablas como apoyo haciendo uso del Excel para poder llegar a los objetivos establecidos en esta tesis; en el capítulo V se presenta la propuesta de investigación; en el capítulo VI se realizan las conclusiones y recomendaciones más importantes

CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Situación problemática

1.1.1. A nivel internacional

Según Rivera en el informe realizado en Colombia, "Correlación del valor de soporte de calificación (C.B.R) con la resistencia a la compresión confinada y la plasticidad del suelo", mencionó la siguiente problemática:

El CBR es utilizado para estimar el Módulo Resiliente, que es el parámetro de diseño para representar la capacidad de soporte de los materiales de la estructura de pavimento, vías temporales o definitivas para proyectos mineros, hidroeléctricos, etc. No obstante, en algunas vías de bajos volúmenes de tránsito, las pruebas del Valor de Soporte de California (C.B.R) no se hacen, o se realizan en una cantidad poco representativa, debido a las condiciones topográficas, poca disponibilidad de equipo, entre otras; la poca cantidad de pruebas de C.B.R, debido a las condiciones mencionadas anteriormente conlleva a que no se realice una adecuada caracterización geotécnica del corredor de diseño y por consiguiente no se realice un diseño adecuado del espesor de la estructura de pavimento. Por eso este informe tuvo como propósito presentar el grado de correlación de los resultados del ensayo de C.B.R con los resultados de los ensayos de compresión confinada, límites de plasticidad y clasificación de suelos para suelos finos de municipios aledaños a Santiago de Cali, norte del Cauca y Popayán; con el fin de obtener métodos de estimación del valor de C.B.R de manera más fácil, rápida y económica, que pueden ayudar a mejorar la exploración y caracterización de los suelos en el diseño de pavimentos para bajos volúmenes de tránsito. (Rivera , 2013, págs. 1, 2)

Según Lacera , En Colombia, en el informe llamado correlación entre los valores de resistencia a la penetración cónica D.C.P y el valor de relación de soporte de C.B.R. de suelos; sostuvo que:

El proyecto tuvo como objetivo determinar el desarrollo de correlaciones útiles entre los ensayos anteriormente mencionados para la evaluación preliminar de subrasantes y así determinar las características y propiedades propias de los suelos existentes en el área local de Valledupar – Colombia; el CBR es el ensayo de más amplia utilización en Colombia, para lo cual la ejecución de esta prueba en el laboratorio es algo dispendioso y en muchos casos no logra representar con absoluta fidelidad a las condiciones reales de trabajo del suelo como soporte del pavimento. Por otra parte, la alternativa de ejecución del ensayo “in situ” requiere la disponibilidad permanente de un vehículo pesado para la aplicación de la carga, lo que eleva sus costos y limita su realización a los sitios en que los vehículos tengan acceso. El empleo de un dispositivo simple de rápido manejo y bajo costo de operación, que permita estimar de manera indirecta el CBR del suelo con un índice aceptable de confiabilidad. (Lacera , 2006, pág. 6)

1.1.2. A nivel nacional

Según Martínez, Arista, & Anglas, publicaron en Lima un estudio elaborado llamado “El penetrómetro dinámico de cono como una alternativa para determinar el C.B.R del suelo (PDC vs C.B.R)”;

donde se plantearon la siguiente problemática:

Que en el diseño y construcción de pavimentos y carreteras lleva consigo la obligación de realizar un riguroso estudio de campo y dentro de esta actividad se hace uso de diversos equipos y herramientas, unos más sofisticados que otros, la tendencia tecnológica nos conduce a un recambio de equipos y herramientas a la luz de nuevos conocimientos, esto está bien para los países con fondos suficientes para el recambio de sus laboratorios de ensayos para suelos y pavimentos, pero los países en desarrollo como el

nuestro no podría afrontar tales recomendaciones por lo que las investigaciones en algunos de estos países esta dirigidos a hacer más prácticos y económicos los equipos, lo que permite más frecuencia de uso por el bajo costo y la posibilidad de que la mayoría de los ingenieros en actividad profesional tenga opción a recoger mayor cantidad de datos en campo lo que redundara en un proyecto consistente en diseño o una buena construcción de obras. (Injante, 2012, pág. 12)

Según Araujo, en Piura, se publicó un informe denominado correlación entre los parámetros de la relación de soporte de califonia (CBR) con las propiedades índice de los suelos limo-arcillosos, donde se planteó lo siguiente:

Realizando estudios sobre la calidad de suelo en la región Piura la cual difiere mucho en cada una de las provincias; así podemos encontrar suelos arcillosos y otros arenosos (con sus respectivas variantes), que los hacen muy ricos para la producción de diversos cultivos y otras actividades agrícolas y ganaderas. Pero, ¿el tipo de suelo que tiene la ciudad de Piura es ideal para proyectos de construcción o de otro tipo?; para desarrollar esta incógnita y a su vez buscar así una manera más sencilla y económica de determinar el CBR, es que se elaboró este estudio. (Araujo, 2014, pág. 10)

1.1.3. A nivel local

Como parte del proceso del desarrollo de una construcción de obras civiles; es necesario analizar el suelo sobre el cual se realizará la construcción, ya que los entornos de suelo proporcionan la base física para que un edificio o una carretera permanezcan durante años.

Chiclayo, capital de la región Lambayeque cuenta lamentablemente con una mala calidad del suelo, ya que la mayor parte de su territorio se encuentra compuesto de limo y arcilla, este tipo de suelo, sin una alteración y evaluación adecuadas puede resultar en un problema real como cimienta debido a su tendencia a contraerse e hincharse.

En ciertos casos, estos materiales tendrán que ser removidos antes de iniciar la construcción.

1.2. Formulación del problema

¿En qué medida están correlacionados el ensayo de CBR y el ensayo de Resistencia a la Compresión Inconfinada en suelos cohesivos?

1.3. Delimitación de la investigación

La investigación y toma de muestras se realizaron en el Pueblo Joven Nuevo Progreso específicamente en la calle U. Tec. Del Callao la cual tiene una longitud de 778.20 ml.

1.4. Justificación e importancia

1.4.1. Justificación tecnológica

Mediante el desarrollo de este proyecto de investigación es posible predecir un valor del CBR mediante el ensayo de Compresión Inconfinada en suelos cohesivos, el cual es un método alternativo más económico y más rápido que el método convencional; particularmente en las fases conceptuales de un proyecto (anteproyecto, perfil, prefactibilidad, etc.) en la que muchas veces no se cuenta con los recursos económicos necesarios.

Esta correlación serviría de orientación para obtener el CBR y armar un primer presupuesto, dejando claro que no reemplazarán al CBR experimental.

1.4.2. Justificación social

Este proyecto de investigación facilitará en el futuro, a instituciones del estado como por ejemplo la municipalidad distrital de Pimentel ya que tendrán algunos valores de referencia para realizar en un futuro la pavimentación de las calles en el pueblo Joven Nuevo Progreso.

Se beneficiarían también las empresas constructoras ya que facilitara la realización de estudios de mecánica de suelos para el desarrollo de diferentes proyectos dentro de la zona, así como también ayudara a futuras investigaciones que se realicen en la zona.

1.4.3. Justificación económica

El ensayo de compresión inconfínada es una prueba fácil, económica y rápida de realizar que se usa para medir la resistencia al corte no drenado de suelos cohesivos.

Este ensayo se realizará con el propósito de ejecutar los objetivos planteados en esta investigación.

1.5. Delimitaciones de la investigación

La presente investigación se limitó a estudiar la calle U. Tec. Del Callao en el pueblo joven Nuevo Progreso, realizando un total de 8 calicatas en la cual se obtuvieron las muestras para realizar los ensayos de CBR en muestras inalteradas y el de resistencia a la compresión inconfínada.

El pueblo joven Nuevo Progreso es una ciudad urbana, por lo tanto, se utilizó la Norma CE.010 Pavimentos urbanos.

1.6. Objetivo de la investigación

1.6.1. Objetivo general

Determinar la correlación entre el Valor de Soporte de California (CBR) y la Compresión Inconfínada en suelos cohesivos en la calle U. Tec. Del Callao en el pueblo joven Nuevo Progreso.

1.6.2. Objetivos específicos

1. Obtener las muestras inalteradas para los ensayos de CBR y de resistencia a la Compresión Inconfínada en suelos cohesivos, y muestras alteradas para determinar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos en estudio y clasificarlos.
2. Realizar los ensayos de CBR y de Compresión Inconfínada con muestras inalteradas en suelos cohesivos.
3. Comparar los resultados obtenidos en cada ensayo a través de gráficas de dispersión para analizar el comportamiento de los datos y tomar decisiones para realizar los diferentes análisis.

4. Determinar el grado de correlación que existe entre el ensayo de Compresión Inconfinada y el ensayo de C.B.R con muestras inalteradas, en estado natural y en estado saturado.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

2.1.1. A nivel internacional

Según Beskid & Martínez, (2004) presentaron en Venezuela, un estudio comparativo de los resultados obtenidos en ensayos de CBR en laboratorio, y ensayos de Penetración Dinámica; para la realización de la investigación se construyó un penetrómetro dinámico con un cono de 33mm de diámetro, y una masa de golpeo de 8Kg que cae desde una altura de 400mm. El aparato está apoyado sobre un trípode que descansa sobre un disco de acero de 500mm de diámetro. Se realizaron 20 ensayos de cuatro obras de la ciudad de Maracaibo. A cada muestra se le realizó el ensayo de penetración, y de cada sitio se extrajo una muestra imperturbada con la que se determinó el valor CBR en laboratorio. Luego se correlacionó cada curva de penetración con el valor CBR con los datos obtenidos del PCD una ecuación. Esta investigación concluyó en que el método resultó ser adecuado para tomar muchos datos de capacidad portante en terrenos con valores CBR no muy elevados, en cortos periodos de tiempo.

Según Rivera, (2013) en su informe realizado en Colombia, tuvo como objetivo determinar si existe o no, una correlación entre los ensayos de valor de soporte de california (C.B.R) y la compresión Inconfinada, incluyendo las propiedades del suelo: índices de plasticidad y clasificación de suelos, en suelos finos, para llegar a este objetivo se elaboraron los ensayos de laboratorio anteriormente nombrados en muestras de suelos inalterados obtenidas de municipios aledaños a Santiago de Cali, norte del departamento del Cauca, y Popayán; el modelo estadístico elaborado en minitab mostró que existe correlación entre los ensayos de C.B.R y el ensayo de compresión Inconfinada. Con los resultados obtenidos de las muestras y procesados con los modelos estadísticos se pudo concluir que el C.B.R en estado natural tiene mejor correlación que en estado saturado, de la misma manera se pudo establecer que el C.B.R no presenta correlación con los límites de plasticidad y la clasificación del suelo.

Según Osorio & Casas, (2011) en Colombia, desarrollaron un informe donde se presenta la correlación P.D.C y C.B.R. elaborada mediante la recopilación de muestras de campo de ensayos in-situ de P.D.C. y resultados de C.B.R. de laboratorio ejecutados para proyectos viales en la localidad de Suba, y así determinar la correlación del P.D.C. con C.B.R. para suelos en la localidad de Suba y comparar dicha correlación con la ecuación tomada del manual “DESCRIPTION AND APPLICATION OF DUAL MASS DYNAMIC CONE PENETROMETER - US Army Corps of Engineers”, la cual es utilizada para la evaluación de la capacidad de los suelos en la ciudad de Bogotá; con los datos obtenidos en campo de P.D.C. y resultados de C.B.R. de laboratorio de varios estudios de suelo para proyectos viales en la Localidad de Suba, se determinó una línea de tendencia entre el número de golpes P.D.C. y el C.B.R. con el fin de comparar dicha tendencia con la obtenida al graficar la ecuación del manual del “US Army Corps of Engineers”, y donde se determinó que para efectos de este informe no es viable aplicar la ecuación del “US Army Corps of Engineers” para suelos colombianos, ya que los resultados obtenidos no representan correctamente el comportamiento y la capacidad de soporte de dichos suelos; por lo cual se concluyó que dados los resultados presentados en este trabajo, no es 100% confiable utilizar la correlación P.D.C. con C.B.R aplicando la ecuación del “US Army Corps of Engineers” como se hace en la actualidad en algunos estudios de suelos para pavimentos.

2.1.2. A nivel nacional

Según Araujo, (2014) en Piura, presentó un informe que correlaciona al CBR con las propiedades índice de suelos, en este informe se correlaciona resultados del CBR de laboratorio remoldeada y saturada con nueve parámetros del suelo, los cuales fueron: contenido de arena, contenido de arcilla contenido de grava, contenido de limo, límite plástico, límite líquido, índice de plasticidad, y contenido óptimo de humedad y máxima densidad seca. Se apoyó usando datos históricos de un laboratorio de suelos local en Piura acumulados entre los años 2004 y 2014. Los resultados muestran que el contenido de grava y el contenido óptimo de humedad presentan una buena correlación lineal simple con el CBR ($R= 0.84$ y 0.81 respectivamente); así mismo, la máxima densidad seca y el contenido de

grava son directamente proporcionales al CBR, mientras que el contenido de arena, de arcillas y limos, los límites de consistencia y el contenido máximo de humedad lo son inversamente proporcionales al CBR.

Según Injante, (2012) en Ica, desarrollo un informe de investigación que lleva como título resistencia insitu de subrasante utilizando penetrómetro dinámico de cono en la ciudad de Ica; para cumplir con el objetivo de determinar el valor de resistencia de la subrasante, se inició construyendo el Penetrómetro Dinámico de Cono (P.D.C) con las características señaladas de equipos usados por Kleyn que es el mismo que normaliza ASTM en el año 2003 (mostrando una alternativa económica de contar con el equipo PDC que resulta a un tercio del costo de comprarlo en el extranjero). Se ensaya suelos en estado natural de 12 Distritos de la Provincia de Ica con el PCD obteniendo N (mm/golpe), se ensaya también en laboratorio en maquina CBR los mismos suelos (muestra inalterada y también compactado de acuerdo a norma), los que permiten su correlación, obteniéndose una ecuación por Distrito, estas ecuaciones permiten calcular el valor de CBR in situ; también se concluyó que este cálculo aplicado en los valores ensayados en campo se obtiene valores de CBR in situ de gran acercamiento al valor original, mucho más acercamiento que la ecuación de Kleyn, del Cuerpo de Ingenieros de USA o el de Carlos Tupia Córdova en una investigación peruana.

2.1.3. A nivel local

Según Llanos & Reyes, (2016) en Chiclayo, se presentó una tesis con el título: estudio comparativo de los ensayos California Bearing Ratio (CBR) de laboratorio y penetración dinámica de cono (PDC) en la localidad de Picsi; en este informe se buscó determinar la comparación entre los ensayos anteriormente mencionados en donde se demostró que el ensayo del PDC in situ es más económico, con un 28% del costo de hacer el CBR de laboratorio y también se obtuvo la correlación del N PDC in situ en el eje de las accisas y el CBR laboratorio de diseño en eje de las ordenada donde la ecuación es polinómica y de grado 3 con su mejor ajuste, teniendo un coeficiente de correlación de 0.3725 y esto nos indica que no tienen una fuerte relación, teniendo un grado de confiabilidad del 37%, con las características antes mencionadas de este suelo en estudio.

2.2. Bases teórico científicas

2.2.1. Suelos

2.2.1.1. Definición.

El suelo es una mezcla de minerales, materia orgánica, bacterias, agua y aire, sobre esto también se puede decir que:

Según U.S Department of the Interior Bureau of Reclamation, (1998) define que es un material térmico no homogéneo y poroso cuyas propiedades son influenciadas por los cambios de humedad y densidad. El suelo puede clasificarse en diferentes grupos que abarcan propiedades semejantes como tamaño de partículas y plasticidad, la cual evalúa como el agua los afecta, (Rivera , 2013, pág. 5)

2.2.1.2. Clasificación de los suelos

Es la división de los suelos en grupos, donde estos ya agrupados presentan características o comportamientos semejantes.

El propósito principal es estimar y/o determinar en forma fácil las propiedades de un suelo por comparación con otros del mismo tipo, cuyas características son conocidas; los sistemas de clasificación de suelos usualmente más empleados son: el sistema AASTHO (American Association of State Highway and Transportation Officials) y el USCS (Unified Soil Classification System). (Rivera , 2013, pág. 5)

2.2.1.2.1. Clasificación de los suelos según el SUCS:

Este método fue expuesto por Arthur Casagrande como una reformación y adaptación más general a su método de clasificación propuesto en 1942 para aeropuertos.

De acuerdo al SUCS, los suelos se pueden clasificar en tres grandes grupos. Suelos de grano grueso o granulares (SGG): Formados por gravas y arenas con menos del 50% de contenido en finos, es decir suelos con tamaños superiores a 0.074mm; suelos de grano fino

(SGF): Formados por limos y arcillas con más del 50% de contenido de finos, corresponde a suelos con tamaños inferiores a 0.074mm. Dentro de este grupo, las arcillas son conocidas como suelos cohesivos y los limos como suelos no cohesivos; suelos orgánicos: compuestos por materia orgánica descompuesta o en estado de descomposición. Estos suelos generalmente son de grano fino. (Rivera , 2013, págs. 6,7)

2.2.1.3. Investigación del subsuelo

Según arenas (2000), los trabajos de investigación o exploración, recolección de datos en campo y programación de los ensayos de laboratorio, hacen parte de las actividades de un estudio geotécnico.

Mediante el cual se obtiene información acerca del terreno de fundación. En estudios de carreteras la realización de dichos trabajos depende de factores como la uniformidad del suelo, la importancia del proyecto y la experiencia que se tenga en la realización de trabajos similares; mediante la investigación del subsuelo se busca determinar parámetros representativos de las condiciones y características del suelo de soporte de una determinada zona, con el fin de seleccionar y realizar diseños adecuados de estructuras o elementos que serán soportados por la subrasante o por el suelo de cimentación. (Rivera , 2013, pág. 12)

2.2.1.4. Exploración y muestreo de suelos

Polaco, (2012) define que el muestreo de suelos consiste en la obtención de una porción del material con el que se pretende construir una estructura o bien del material que ya forma parte de la misma, de tal manera que las características de la porción obtenida sean representativas del conjunto.

El muestreo comprende dos tipos de muestras: alteradas e inalteradas.

Muestras alteradas

Las muestras alteradas son aquellas que están constituidas por el material disgregado o fragmentado y no representan las condiciones in situ del suelo.

Muestras inalteradas

Las muestras inalteradas, son aquellas en las que se conserva la estructura y la humedad que tiene el suelo in-situ. Este tipo de muestras sufre una mínima alteración de sus propiedades. (Rivera , 2013, pág. 12)

2.2.1.4.1. Muestreo inalterado de suelos cohesivos.

En los suelos finos Cohesivos, como son: las arcillas, arcillas limosas o arenosas o mezclas de arena, limo y arcilla que contienen más de 20% de finos plásticos, pero no contienen grava.

Pueden obtenerse muestras inalteradas de calidad satisfactoria empleando muestreadores tubulares de pared delgada hincados a presión y velocidad constantes en perforaciones de pequeño diámetro, de 10.00 a 20.00cm. Existen varios diseños de tubos muestreadores de este tipo, entre los cuales el más utilizado y sencillo es el conocido como tubo Shelby. (MTC, Manual de ensayo de materiales, 2016, pág. 192)

Según Rivera (2013), “las actividades más usadas en campo para la recuperación de muestras de suelo son: calicatas, barrenos manuales, perforaciones mecánicas” (pág. 12)

“**Las calicatas**, término genérico para designar un sondeo o excavación exploratoria, normalmente de poca profundidad” (Hoyos, 2001, pág. 29)

Crespo (1979) afirma que de estas excavaciones en el suelo, se pueden obtener muestras alteradas e inalteradas para inspección visual y ensayos de laboratorio. La excavación se realiza generalmente con herramientas manuales de sección variable y de aproximadamente un metro y medio de lado, suficiente

para que el personal pueda trabajar tanto en la excavación como en la toma de muestras. Su profundidad depende del propósito y necesidades o de las condiciones del suelo que se encuentre en el sitio. Las muestras inalteradas de suelo se obtienen con ayuda del tubo shelby y/o con el molde de C.B.R, los cuales se hincan en el fondo de una excavación o calicata. La remoción de una porción de suelo en el terreno, inevitablemente produce cambios en los esfuerzos del suelo que alteran la estructura en cierto grado, por lo tanto, es imposible obtener muestras completamente inalteradas. Las muestras que son consideradas “inalteradas” son aquellas en las que el contenido de agua permanece invariable al igual que su composición y sufren el menor cambio posible en la relación de vacíos y la estructura. (Rivera , 2013, pág. 13)

2.2.1.4.2. Suelos cohesivos

Según Araujo, (2014) manifiesta que los suelos cohesivos, son suelos que tienen características de cohesión y plasticidad. Este tipo de suelos pueden ser granulares con parte de arcilla o limo orgánico, que tengan cohesión y plasticidad, o pueden ser arcillas o limos orgánicos sin componentes granulares; son suelos arcillosos y limosos o sea material de grano muy fino, estos suelos presentan una serie de características, condiciones, comportamientos y reacciones, las cuales están debidamente estudiadas por la mecánica de suelos.

Según Márquez, (2006) afirma que la estructura de un suelo cohesivo “se la define como el arreglo de las partículas del suelo (...)” (pág. 16) donde se debe entender por partículas, no solo las que fueron definidas como fracciones granulométricas (arena, arcilla y limo), sino también los agregados o elementos estructurales que se forman por la agregación de las fracciones granulométricas. Por lo tanto, partícula designa a toda unidad componente del suelo, ya sea primaria (arena, limo, arcilla) o secundaria (agregado o unidad estructural).

La estructura del suelo y su estabilidad juegan un rol fundamental en muchos procesos del suelo y su interacción con las plantas: erosión, infiltración de agua, exploración radicular, aireación y resistencia mecánica. Esto indica que todas las prácticas agronómicas deberían hacerse con carácter de conservación de la misma. (pág. 19)

Según Crespo (2004), “la presencia de agua en los vacíos del suelo arcilloso también influye en su resistencia.” (pág. 28), esto se debe en parte al hecho que el agua provoca el apartamiento de las partículas, disminuyendo la cohesión; otra característica importante ligada a la presencia de agua, que influye en el comportamiento de los suelos arcillosos, es su baja permeabilidad. Mientras que en las arenas cualquier exceso de la presión de poros provocado por las cargas se disipa casi inmediatamente, en el caso de las arcillas esta disipación es mucho más lenta. Además, la presión de poros originada por las cargas continúa actuando después de terminada la construcción, por años.

2.2.1.5. Resistencia al corte de los suelos

Lambe & Whitman, (1979) expone que la resistencia al corte es la capacidad interna que tiene el suelo para soportar un esfuerzo aplicado

Cuando una estructura se apoya en el suelo, éste experimenta una serie de esfuerzos que pueden ocurrir por: cambio de volumen en el suelo como consecuencia de la evacuación del agua existente en los espacios entre partículas, o por deslizamiento de las partículas. Los esfuerzos aplicados pueden conducir a excesivas deformaciones o a la falla del suelo. A pesar de que, en la mayoría de los casos, el suelo se somete a esfuerzos de compresión, la falla se produce por esfuerzos cortantes.

Muchos problemas geotécnicos requieren de una evaluación de la resistencia al corte del suelo, con el fin de asegurar que los esfuerzos de corte solicitantes son menores que la resistencia del suelo, para garantizar la seguridad de la obra. Las pruebas que permiten evaluar la resistencia al corte del suelo pueden ser de campo o de laboratorio. Existen entre otras, las siguientes pruebas directas e indirectas para medir la resistencia al corte de los suelos:

Pruebas de campo:

- 1) Ensayo de Penetración Estándar (SPT).

- 2) Veleta de Torsión.
- 3) Ensayo de Penetración Estática o Piezocono (CPT).
- 4) Ensayo de Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC).

Pruebas de laboratorio:

- 1) **Ensayo de compresión inconfiada**
- 2) Ensayo de corte directo
- 3) Ensayo de compresión triaxial

El ensayo de compresión inconfiada es una prueba rápida, económica y fácil de realizar que se utiliza para medir la resistencia al corte no drenado de suelos cohesivos.” (Rivera , 2013, págs. 13 - 14)

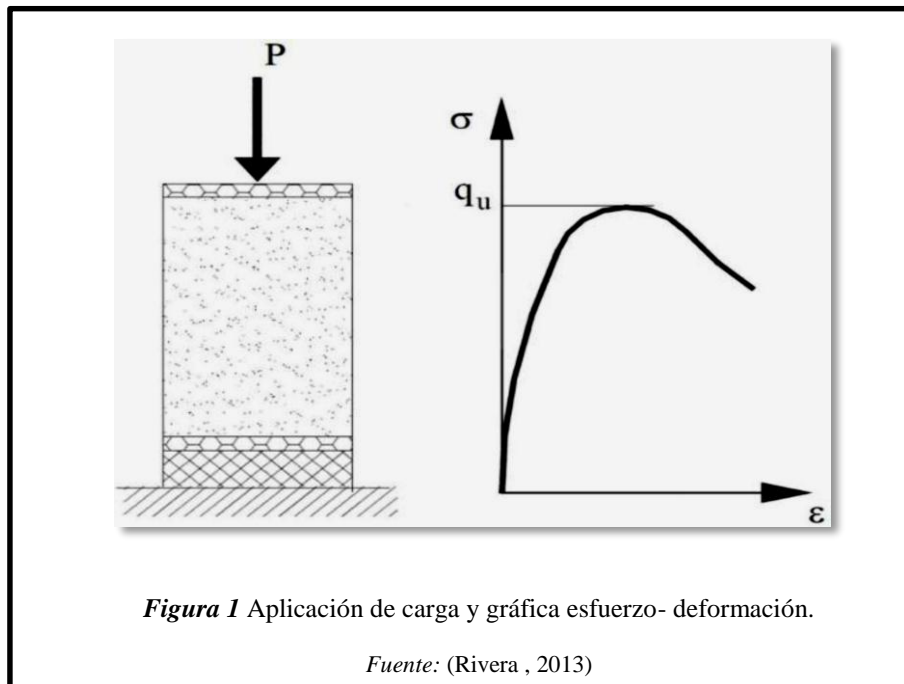
Este tipo de ensayo se realizará con el fin de ejecutar los objetivos propuestos en esta investigación.

2.2.1.6. Ensayo de Compresión Inconfiada

También llamado compresión simple, compresión no confinada, compresión uniaxial.

Según Das (2001) en este ensayo se determina la resistencia a la compresión inconfiada (q_u), como el máximo esfuerzo de compresión que puede soportar un suelo cohesivo; a partir de este dato y la teoría de Mohr Coulomb se puede obtener la resistencia no drenada al esfuerzo cortante de un suelo, expresada como la cohesión.

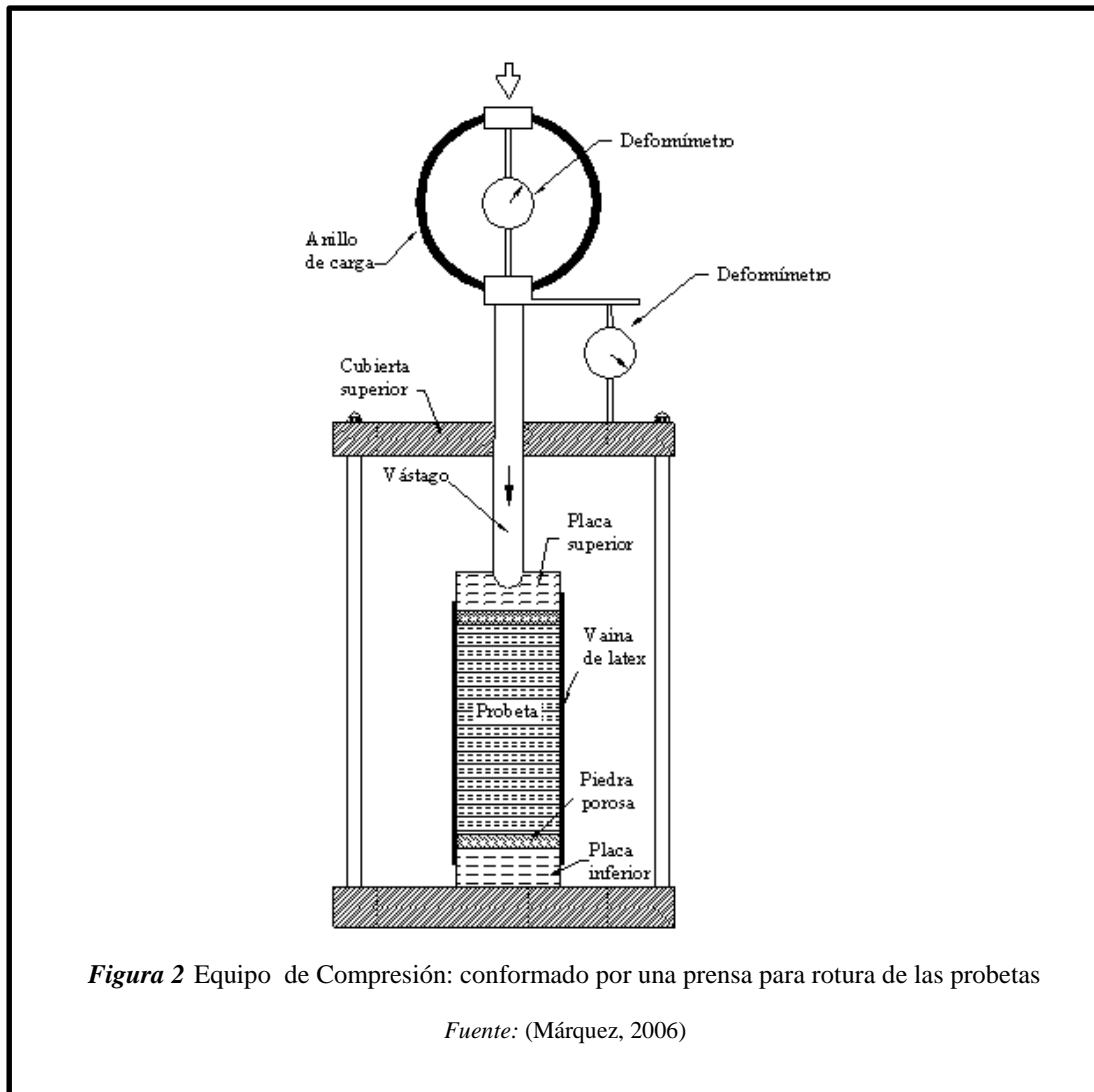
El ensayo consiste en someter una muestra cilíndrica inalterada de suelo, que tenga una relación altura- diámetro comprendida entre dos y tres, a una carga de compresión uniaxial hasta que la muestra falle. En su ejecución se controla la deformación y se aplica una carga a velocidad constante. La carga por unidad de área que genera la falla sobre el espécimen, representa la resistencia a la compresión inconfiada del suelo. (Rivera , 2013, pág. 14)



EQUIPOS

- 1) Máquina de Compresión: conformado por una prensa para rotura de las probetas, de velocidad controlada manual o mecánicamente, con capacidad suficiente para llegar a la carga de rotura. El dispositivo de medida de la fuerza aplicada debe tener una sensibilidad del 1% de la resistencia a la compresión simple de la muestra ensayada.
- 2) Extractor de muestras: capaz de sacar el testigo de suelos; si las muestras llegan al laboratorio en tubos no abiertos longitudinalmente, es preciso que produzca poca alteración en el suelo.
- 3) Un torno con motor o tallador de probetas de muestras inalteradas con accesorios (sierra de alambre, cuchillos, caja de ingletes, etc.)
- 4) Aparatos para determinar la humedad de la muestra (MTC E 108).
- 5) Un cronómetro, si el control de la prensa es manual.
- 6) Un calibrador con nonio capaz de medir las dimensiones físicas de la probeta con aproximación de 0.1 mm. Calibrador Vernier o similar.

- 7) Balanzas que den el peso de la muestra con una precisión del 0.1 % de su peso total.
- 8) Estufa capaz de mantener una temperatura de $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ ($230^\circ \pm 9 \text{ }^\circ\text{F}$).



PROCEDIMIENTO

- 1) Se miden la altura y el diámetro o lado de la probeta, con una precisión de 0.1 mm mediante un calibrador con nonio o un objeto análogo.
 - a. En probetas de gran tamaño puede adoptarse una precisión menor y proporcional al tamaño de la muestra.
- 2) Se pesa la muestra.
- 3) Se coloca la probeta en la prensa de modo que quede perfectamente centrada. Se acciona el dispositivo de avance lo estrictamente necesario

para que la probeta toque a la placa superior de la prensa. Se pone en cero el indicador de deformaciones.

- 4) El ensayo podrá hacerse controlando la deformación o controlando la carga.
- 5) Para el caso de la deformación controlada, se acciona la prensa de modo que la velocidad de deformación unitaria de la probeta esté comprendida entre $\frac{1}{2}$ % y 2% por minuto. Se toman medidas de las deformaciones y de las cargas cada 30 segundos hasta que las cargas comiencen a disminuir o hasta llegar a una deformación axial del 20% (lo que antes suceda). Se escogerá una velocidad en que la rotura ocurra en un lapso entre 1 y 10 minutos. En el caso de materiales muy blandos que exhiben deformaciones mayores a la falla, deberán ensayarse a una velocidad mayor de deformación y lo inverso para los materiales duros o quebradizos.
 - a. Si se trata de una probeta de suelo muy duro, en la cual la deformación a la rotura sea muy pequeña, la curva esfuerzo-deformación no quedará debidamente representada en dicho gráfico. En ese caso, es posible desprestigiar el aumento de sección durante la carga.
 - b. Cuando interesa hallar el módulo de deformación en probetas de suelo muy duro, es conveniente medir la deformación mediante extensómetros o por otro procedimiento que elimine las deformaciones en la base.
- 6) Cuando se empleen esfuerzos controlados, se aplicará la carga para que produzca una deformación axial a una razón de $\frac{1}{2}$ % a 2 % por minuto y se registrarán los esfuerzos y las deformaciones cada 30 s. La velocidad de deformación se regulará en tal forma que la falla de probetas sin refrentar nunca sobrepase de 10 minutos. La carga deberá proseguirse hasta que decrezcan los valores de la carga con el aumento de sección que se produce en la probeta durante la rotura, lo cual se traduce en una disminución del esfuerzo aplicado.
- 7) Hágase un esquema de la forma de rotura. Si la rotura se produce a través de un plano inclinado, es conveniente medir el ángulo de inclinación de dicho plano.
- 8) De la parte de la probeta en donde se ha producido la rotura se toma una pequeña muestra en el recipiente y se determina su humedad. También se

determina la humedad de toda probeta, anotando los pesos y haciendo las operaciones que se indican en la hoja de cálculos. (MTC, Manual de carreteras - suelos, geología, geotecnia y pavimentos, 2013)

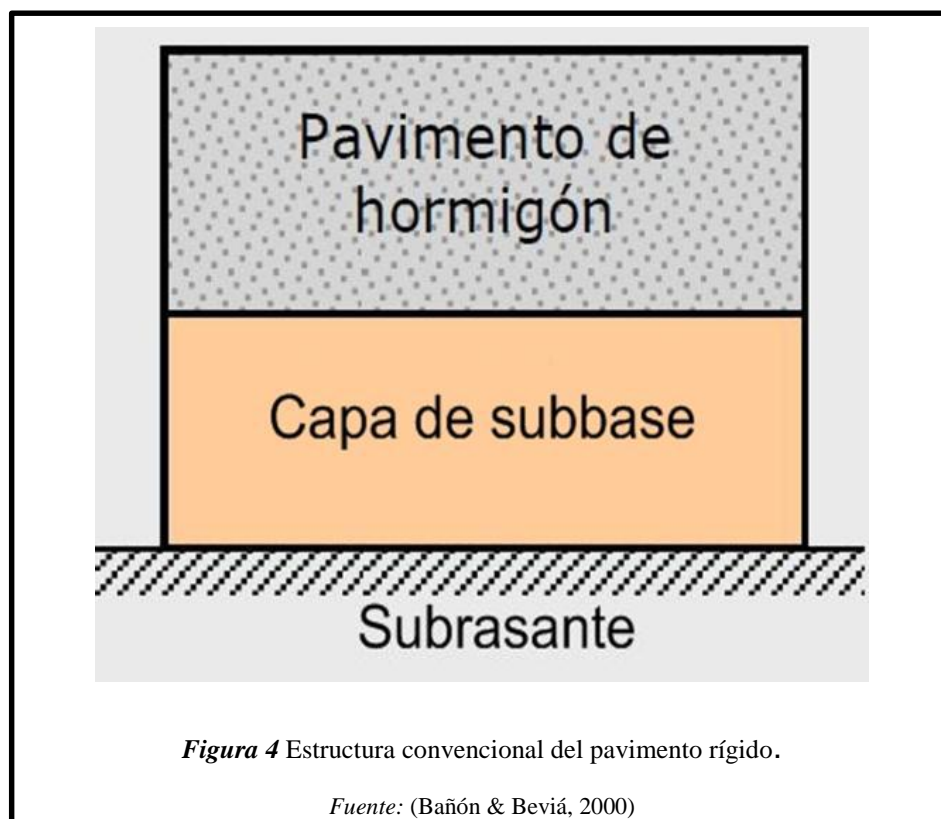
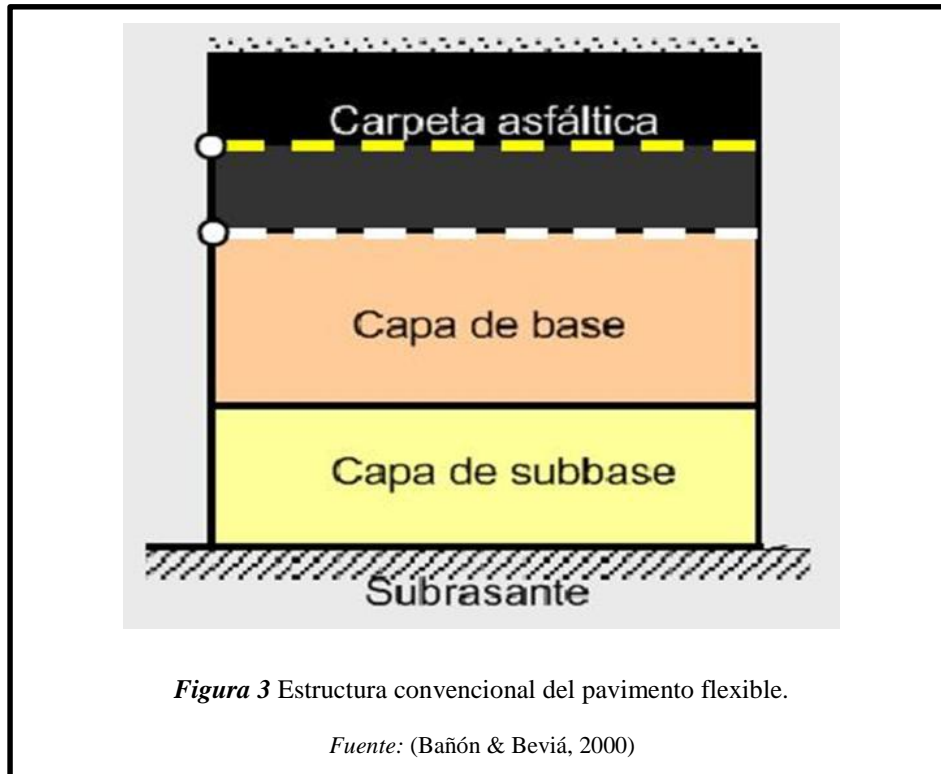
NORMAS TÉCNICAS DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN INCONFINADA

También llamada ensayo de compresión no confinada, compresión simple, compresión uniaxial, presenta en el Perú las siguientes normas que lo regulan:

- a) **AASHTO T 208**
- b) **ASTM D 2166**

2.2.2. Estructura del pavimento

Según Bañón & Beviá (2000) Una estructura de pavimento está conformada por capas de diferente espesor y calidad, las cuales se apoyan sobre la capa de suelo natural conocida como subrasante. Convencionalmente las capas que forman la estructura del pavimento son subbase, base y carpeta asfáltica para pavimentos flexibles; y subbase y losa de concreto hidráulicos para pavimentos rígidos. La subrasante es la capa encargada de soportar la estructura de pavimento, las características de resistencia y deformabilidad de ésta, influyen directamente en el tipo y espesor de la estructura de pavimento que se utilice. (pág. 23)



Según Coronado, (2002) cada capa que conforma la estructura del pavimento tiene como función disipar esfuerzos, para que los que lleguen a la

subrasante sean mínimos. En algunos proyectos específicos se suelen incrementar capas adicionales con el fin de mejorar la capacidad de la estructura de pavimento, garantizar adherencia entre capas y/o reducir los esfuerzos transmitidos a la subrasante. (Rivera , 2013, pág. 16)

2.2.2.1. Ensayos para determinar la resistencia de la subrasante

Existen diferentes métodos o procedimientos para medir la resistencia de los suelos de la subrasante en un pavimento, dentro de los cuales podemos encontrar los siguientes:

- a) Módulo resiliente
- b) Relación del valor de soporte de California (CBR, California Bearing Ratio).
- c) Valor de resistencia Hveem (Valor R).
- d) Ensayo de placa de carga (Valor K).
- e) Penetración dinámica con cono.

De los ensayos anteriormente mencionados el CBR es el más comúnmente utilizado para determinar la capacidad de soporte de la subrasante. El valor de CBR se utiliza para estimar el Módulo Resiliente del suelo, éste parámetro, junto con las características del nivel de tránsito, propiedades de los materiales de las capas, entre otras, determinan los espesores de las diferentes capas que conforman la estructura de pavimento. (Rivera , 2013, pág. 17)

2.2.2.2. Relación del Valor de Soporte de California (CBR, California Bearing Ratio)

Según INVIAS (2007), en este ensayo se compara la presión o esfuerzo necesario para introducir ½” (12.7mm) de un pistón con características estandarizadas en el área de suelo, con la presión requerida para penetrar el mismo pistón en un material estándar de California. El resultado se expresa como un porcentaje y permite evaluar la calidad relativa de los suelos usados en subrasantes y capas de subbases y bases.

El Módulo Resiliente es un parámetro que representa la capacidad de soporte de un pavimento bajo la aplicación de cargas repetidas dinámicas como las aplicadas por las ruedas de los vehículos.

El ensayo para obtener el Módulo Resiliente utiliza una máquina triaxial dinámica que ejerce presiones de confinamiento para producir deformaciones. Debido a que muchas veces no es posible acceder a este tipo de instrumentos, se acude a ensayos tradicionales como los de CBR para estimar el Módulo Resiliente y finalmente realizar el diseño de la estructura de pavimento. (Arenas, 2000, pág. 13).

NORMAS TÉCNICAS PARA EL ENSAYO DE CBR CON MUESTRAS INALTERADAS

En el Perú Presenta la siguiente norma que regula el ensayo:

- a) **ASTM D-4429**
- b) **ASTM D-1883**

2.2.3. Conceptos básicos de estadística

Según Borja, (2012) la investigación cuasiexperimental “Es aquella investigación en que la hipótesis se verifica mediante la manipulación “deliberada” por partes del investigador de las variables, Esta investigación determinara la relación causa- efecto de un fenómeno físico o social.” (pág. 12)

2.2.4. Análisis de regresión

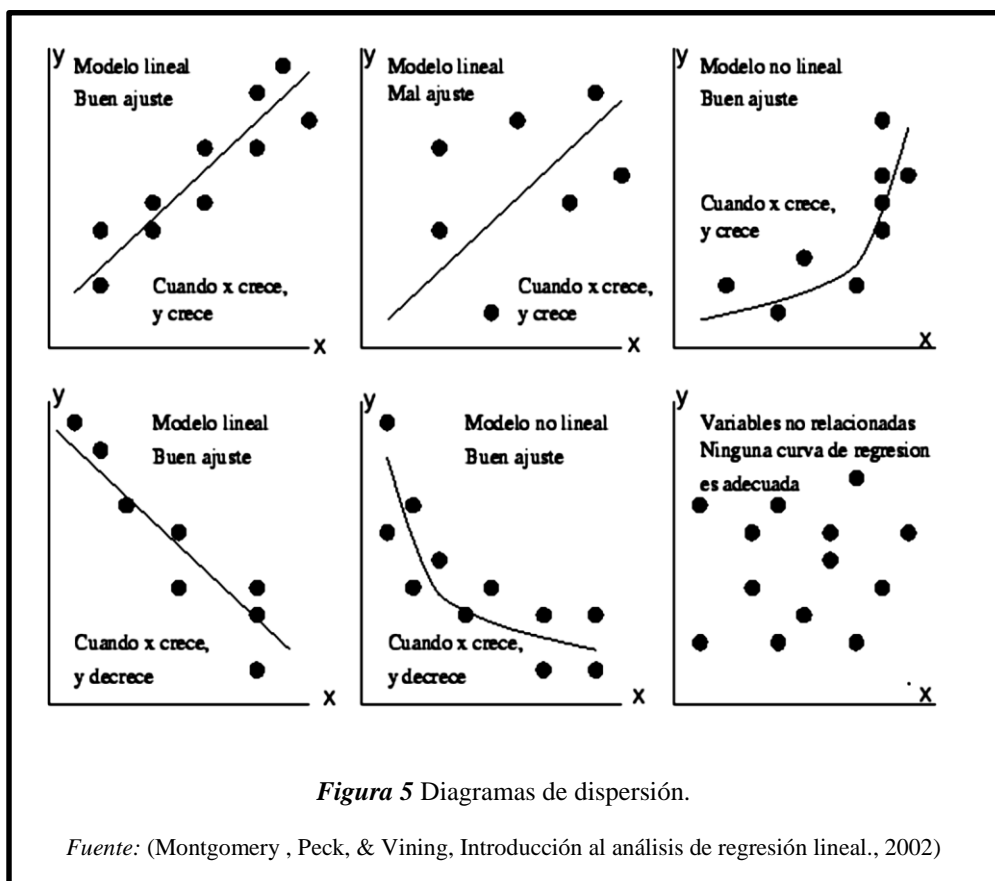
Según Montgomery, D., Peck, E., & Vining, G. (2002) “El análisis de regresión es una técnica estadística para investigar y modelar la relación entre variables”.

El análisis de regresión emplea diferentes métodos que permiten determinar la mejor relación funcional entre variables, estudiando el grado de asociación entre estas y su forma de relación. La forma

más intuitiva de formarse una primera impresión sobre el tipo de relación que existe entre dos variables es a través del diagrama de dispersión. (pág. 23)

“El objetivo de la regresión es determinar una función matemática sencilla (modelo) que describa el comportamiento de una variable dados los valores de otra u otras variables” (Montgomery , Peck, & Vining, Introducción al análisis de regresión lineal., 2002, pág. 22)

En esta investigación se utiliza modelos de regresión para determinar el comportamiento del valor de C.B.R a partir de la compresión inconfiada y los límites de plasticidad.



2.2.4.1. Regresión lineal simple

El modelo de regresión lineal simple es un modelo con un solo regresor o una sola variable independiente, de esto se puede decir que:

Tiene relación con una respuesta, donde la relación es una línea recta. Este modelo está dado por la ecuación:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \varepsilon_i$$

Ecuación 1 Modelo de regresión lineal simple

Dónde:

β_0 = Ordenada al origen

β_1 = Pendiente de la recta

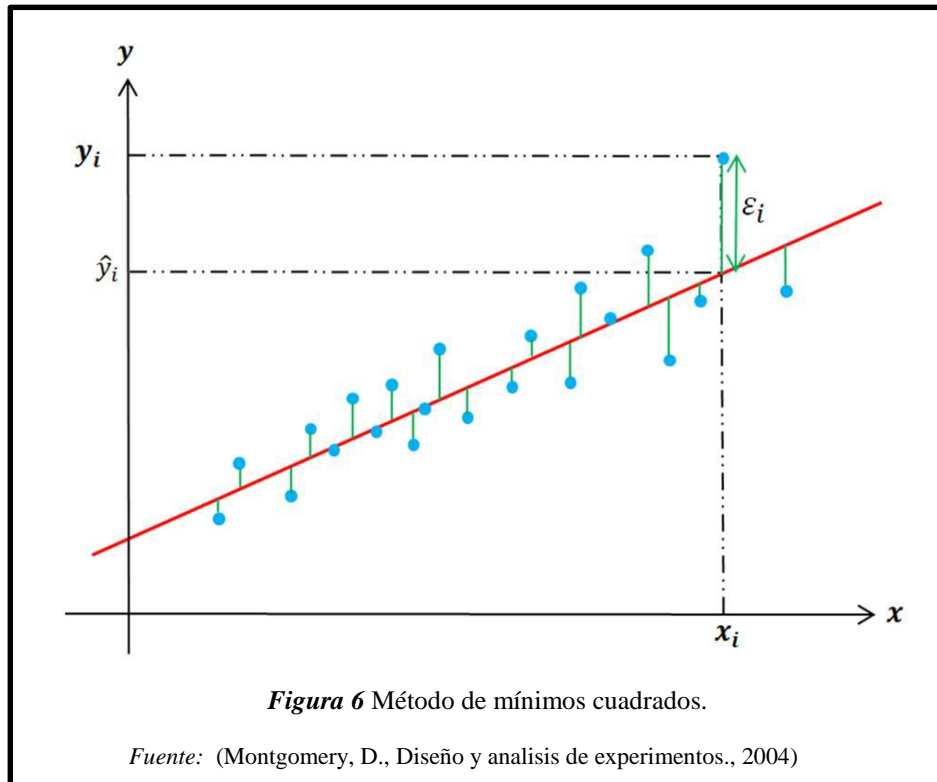
ε_i = Componente aleatorio de error

x_i = Variable independiente o predictora

y_i = Variable dependiente o de respuesta

Criterio de mínimos cuadrados

Es el procedimiento para ajustar una línea recta a un conjunto de datos presentados en un diagrama de dispersión, para estimar los valores β_0 , β_1 de tal manera que la suma de los cuadrados de las diferencias entre las observaciones y_i y la línea recta sea mínima. (Montgomery , Peck, & Vining, Introducción al análisis de regresión lineal., 2002)



Los estimadores por mínimos cuadrados de β_0, β_1 se designan como $\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1$ y se obtienen:

$$\hat{\beta}_0 = \bar{y} - \hat{\beta}_1 \bar{x}$$

Ecuación 2 Estimadores de mínimos cuadrados

$$\hat{\beta}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{(\sum_{i=1}^n y_i)(\sum_{i=1}^n x_i)}{n}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n}} = \frac{S_{xy}}{S_{xx}}$$

Ecuación 3 Ecuación para determinar B1

Donde \bar{x}, \bar{y} son las medias muestrales de cada grupo de datos (promedio aritmético) y son definidas como:

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

Ecuación 4 Media muestral y

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Ecuación 5 Media muestral x

n = es la cantidad de datos de cada muestra

Reemplazando y reduciendo la suma de cuadrados total es:

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2 + \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

$$SCT = SCR + SCE$$

Ecuación 6 Reducción de la suma de cuadrados total

Dónde:

SCT= suma de cuadrados del total, mide la dispersión (variación total) en los valores observados de y.

SCR= suma de cuadrados debido a la regresión, mide la variabilidad total en los valores observados de y en consideración a la relación lineal entre x e y.

SCE= suma de cuadrados residual (suma de cuadrados del error,) mide la dispersión de los valores y observados respecto a la recta de regresión. (Rivera , 2013, págs. 20-22).

2.2.5. Coeficiente de determinación (R^2)

El coeficiente R^2 mide el porcentaje de variación en la variable respuesta, explicada por la variable independiente y está dado por la siguiente ecuación:

$$R^2 = \frac{SCR}{SCT} = 1 - \frac{SCE}{SCT}; \quad 0 \leq R^2 \leq 1$$

Ecuación 7 Formula del coeficiente de determinación

El valor de R^2 se interpreta como una medida de ajuste de los datos observados y proporciona el porcentaje de la variación total explicada por la regresión. Los valores de R^2 cercanos a uno, implica que la mayor parte de la variabilidad de está explicada por el modelo de regresión. (Montgomery , Peck, & Vining, Introducción al análisis de regresión lineal., 2002, pág. 34).

2.2.6. Coeficiente de correlación lineal o de Pearson (r)

El coeficiente de correlación lineal o de Pearson es una medida que indica la intensidad de asociación lineal de las variables x e y , está dado por la siguiente ecuación:

$$r = \frac{Cov(x,y)}{S_x S_y}; \quad -1 \leq r \leq 1$$

Ecuación 8 Coeficiente de correlación lineal

Donde $Cov(x, y)$ es la covarianza, definida por

$$Cov(x,y) = \frac{\sum_{i=1}^n (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{n - 1}$$

Ecuación 9 Covarianza de X, Y

S_x , S_y son las desviaciones estándar muestrales, definidas así:

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$
$$S_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n - 1}}$$

Ecuación 10 Ecuación de desviación estándar para S_x , S_y

Si $r = -1$ existe una relación lineal negativa perfecta entre e , si $r = 1$ existe una relación lineal positiva perfecta entre e , si $r = 0$ no existe ninguna relación lineal entre e . (Rivera , 2013, pág. 23).

2.2.7. Comprobación de supuestos del modelo de regresión

Para corroborar si el modelo de regresión propuesto es el adecuado, se debe hacer una comprobación que cumplan los siguientes supuestos:

- Los residuos tienen distribución normal
- La relación entre la respuesta y los regresores es lineal
- El término ε tiene varianza constante
- El término de residuo o error ε , tiene media cero

2.2.7.1. Residuos con distribución normal

“Esta comprobación se puede realizar utilizando un test de normalidad el cual se basa en una prueba de hipótesis.” (Rivera , 2013, pág. 25)

2.2.7.1.1. Prueba de hipótesis

Una prueba de hipótesis es una forma de realizar una suposición sobre una población, en la cual inicialmente se plantea una hipótesis de investigación, generalmente las hipótesis más comunes planteadas son:

$$H_0 \rightarrow \beta_i = 0 ; \text{Hipótesis nula}$$

$$H_1 \rightarrow \beta_i \neq 0 ; \text{Hipótesis alternativa}$$

La hipótesis nula determina la inexistencia de asociación o de diferencia del parámetro que se desea evaluar. La hipótesis alternativa corresponde a la negación de la hipótesis nula y usualmente expresa que existe diferencia o asociación del parámetro a evaluar que es la que generalmente se usa para realizar una investigación.

Para dar como verdadera una hipótesis se debe aceptar un nivel de error máximo o nivel de confianza α , el cual generalmente es del 5% (0.05) y se compara con el valor p. “Un valor P es el nivel (de significancia) más bajo en el que el valor observado de la estadística de prueba es significativo” Walpole, R., Myers, R., & Myers, S., (1998) (Rivera , 2013, pág. 25)

El valor P ayuda a determinar si una hipótesis es nula o alternativa, de la siguiente manera:

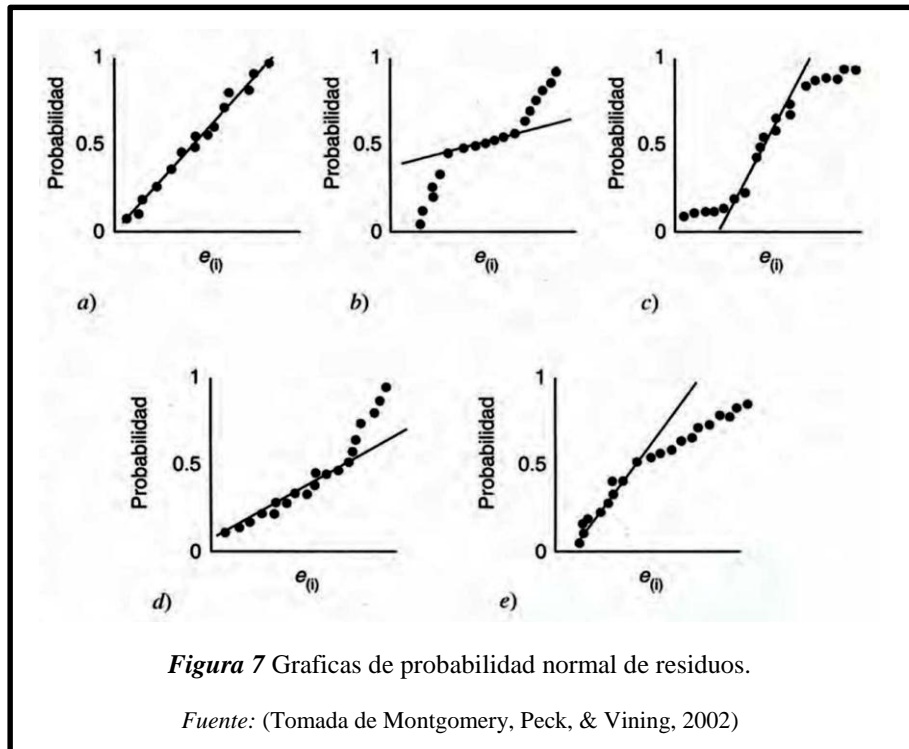
si $P \leq \alpha$ aceptar H_1

si $P > \alpha$ aceptar H_0

En las pruebas de normalidad se busca aceptar la hipótesis nula H_0 . El aceptar H_1 implica el rechazo automático de la hipótesis nula y muestra que los datos no son normales.

Castañeda & Gil (2005) el aceptar H_0 implica que los datos de la población analizada siguen una distribución normal.

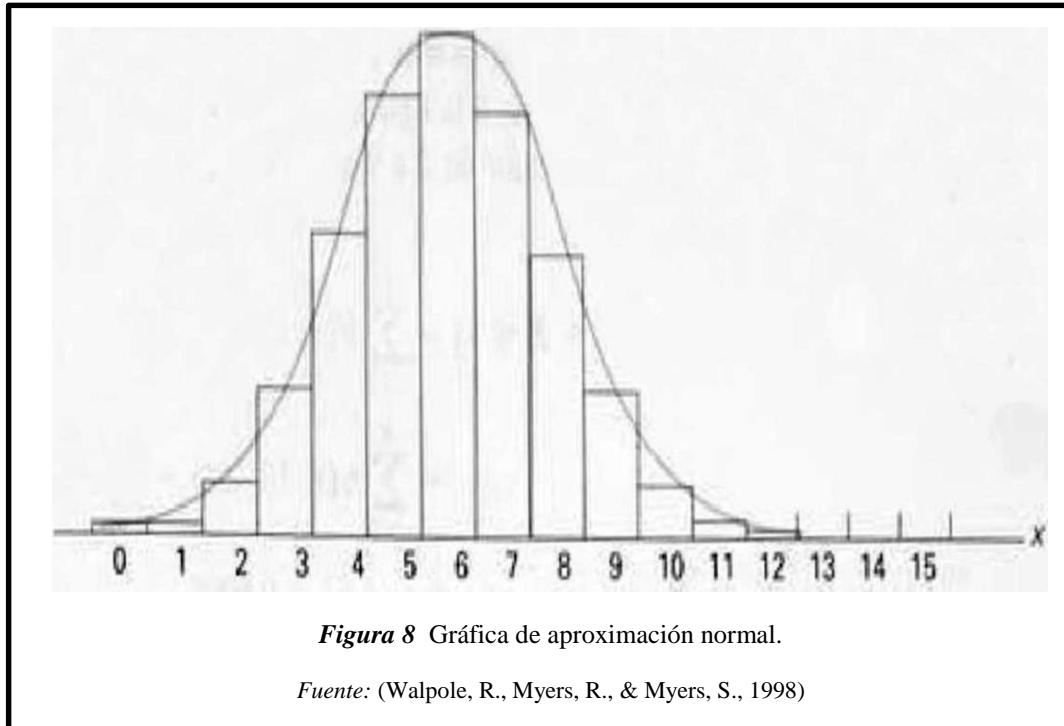
Para realizar la comprobación gráfica de normalidad de los residuos se puede realizar gráficas de probabilidad normal de los residuales e histogramas como se ilustran en la Figura 10 y en la Figura 11



En la Figura 10, las gráficas de probabilidad normal de residuos representan:

- a) ideal,
- b) distribución con colas gruesas,
- c) distribución con colas delgadas,
- d) asimetría positiva
- e) asimetría negativa.

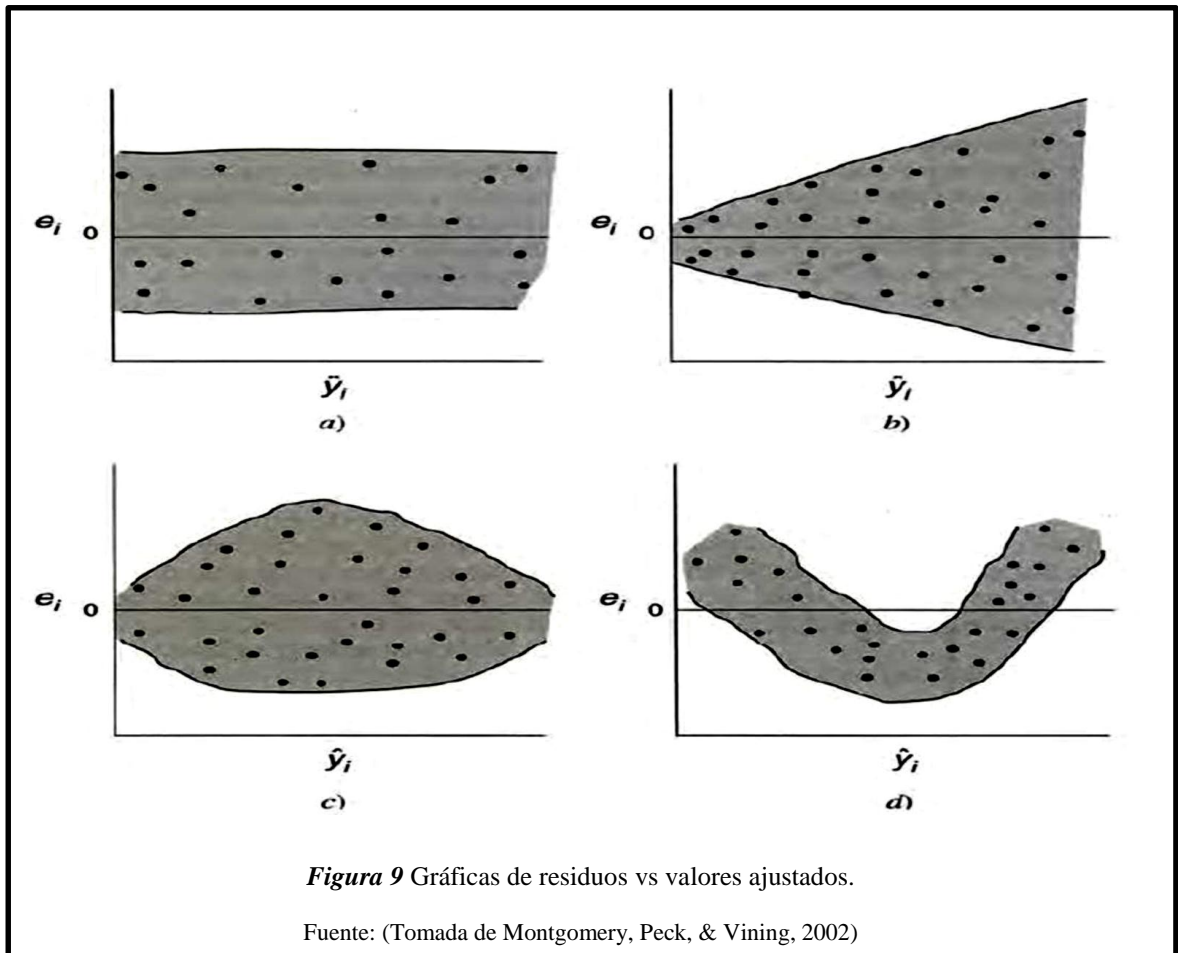
El supuesto de normalidad no se cumple cuando las diferencias son apreciables en los extremos de la distribución respecto a la línea recta. El supuesto de normalidad se cumple cuando la gráfica de probabilidad normal de residuos es similar a la gráfica a) que representa la condición ideal



“En la Figura 11, el histograma muestra la tendencia central, la dispersión y la forma de distribución de los datos, se tendrá una distribución normal si el histograma de los datos se ajusta a la curva normal o campana de Gauss.” (Montgomery, D., Diseño y análisis de experimentos., 2004, pág. 24)

a. Linealidad de la relación respuesta- regresores y residuos con varianza constante.

Para comprobar que la relación entre la respuesta Y y los regresores es lineal y que la varianza de los errores sea constante se puede graficar los residuos en función de los valores ajustados.



Las gráficas de la Figura 12 representan:

- a)** Ideal, varianza constante, se presenta linealidad
- b)** en embudo, lineal, pero varianza no constante
- c)** en doble arco, varianza no constante
- d)** no lineal.

“La gráfica a) (ideal) representa la condición adecuada para que se cumplan los dos supuestos mencionados.” (Montgomery , Peck, & Vining, 2002, pág 25)

b. Residuales con media cero

La media de los residuales se obtiene realiza con la siguiente ecuación.

$$\bar{\varepsilon} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i - \hat{y}_i$$

Ecuación 11 Formula de la media de los residuales

Dónde:

y_i = variable de respuesta,

\hat{y}_i =ajuste de la variable de respuesta

Si alguno de los cuatro supuestos no se cumple, se puede emplear transformaciones de los datos de las variables dependientes o independientes, de modo que el modelo de regresión lineal sea adecuado y cumpla con los supuestos. Si falla el supuesto de distribución normal de los errores y/o de varianza constante, se recomienda hacer transformaciones sobre la variable y . (Montgomery , Peck, & Vining, 2002, pág. 26)

2.3. Definición de términos básicos

1. **Mecánica de suelos:** la mecánica de suelos es la aplicación de la mecánica y la hidráulica a los problemas de ingeniería que tratan con sedimentos y otras acumulaciones no consolidadas de partículas sólidas, producidas por la desintegración mecánica o la descomposición química de las rocas, independientemente de que tengas o no materia orgánica. (Hoyos, 2001, pág. 126)

2. **Relación de soporte de California, CBR (%):** conocida también por su acrónimo en inglés CBR; medida de la resistencia relativa de un suelo a la penetración bajo condiciones controladas de densidad y contenido de humedad. Es la relación del esfuerzo necesario para penetrar un material dado respecto al esfuerzo que se necesita para penetrar un material (roca triturada para base de pavimento) cuya resistencia a la penetración en condiciones normalizadas es conocida. (Normas ASTM D1883 y D4429). (Hoyos, 2001, pág. 172)

3. **Muestra:** según (MTC, 2009, pág. 10) “son materiales obtenidos de un yacimiento, de un horizonte de suelo y que se reduce a tamaños, cantidades representativas y más pequeñas según procedimientos establecidos”. Y según (Hoyos, 2001, pág. 132) “es una porción de material que se toma para determinar las características o propiedades de una parte o de la totalidad del mismo.”
4. **Suelos:** Para Sowers-Sowers (1970), es todo no consolidado que se encuentra en la superficie terrestre o cerca de ella y que puede contener en su interior agua, aire o materia orgánica; según Fratelli (1993), es todo depósito de partículas minerales y orgánicas disgregadas, pero íntimamente asociado entre sí, perteneciente al mismo manto rocoso de la litosfera, las cuales presentan diferentes grados de cohesión y fuerzas intermoleculares que las mantienen vinculadas. Juárez Badillo y Rico Rodríguez (1975), sin embargo, señalan que representa todo tipo de material terroso, desde un relleno de desperdicios hasta areniscas parcialmente cementadas o lutitas suaves.
5. **Muestras de Suelo:** es una parte representativa de los suelos que se selecciona con la finalidad de obtener información precisa del mismo.
6. **Consistencia:** (Hoyos, 2001) la define como la facilidad relativa con que un suelo puede ser deformado; el grado de cohesión de las partículas de un suelo y su resistencia a aquellas fuerzas exteriores que tratan de deformarlo o destruir su estructura; para Fratelli (1993) significa el grado de fineza y en los suelos cohesivos varía desde un estado sólido cuando están secos a un estado líquido viscoso cuando su contenido de agua aumenta considerablemente.
7. **Compresión no confinada:** llamada también compresión simple o compresión uniaxial; la debida a la aplicación de un esfuerzo normal sobre un cuerpo en una sola dirección. (Norma ASTM D2166)
8. **USCS:** Sistema de Clasificación Unificada de Suelos.
9. **AASHTO:** Asociación Americana de Oficiales Estatales de Carreteras y Transportación.
10. **ASTM:** Sociedad Americana de Ensayo de Materiales Internacional.
11. **BS:** British Standards Institution.
12. **Comité de Normalización** - Organización Internacional para las Normalización - Norma Técnica.

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y diseño de la investigación

3.1.1. Tipo de investigación

La investigación será de tipo Cuantitativa

3.1.2. Diseño de la investigación

Cuasi-experimental

Tabla 1

Diseño de investigación Cuasi-experimental

PROBLEMA	SOLUCIÓN	REALIDAD
Falta de ensayos que ayuden a determinar el valor del C.B.R a partir de correlaciones con otras pruebas de laboratorio.	Desarrollar los ensayos de Compresión Inconfinada en suelos cohesivos para determinar el grado de correlación que existe con el CBR en el Pueblo Joven Nuevo Progreso	A) Conocer los valores obtenidos en los ensayos propuestos.
		B) Comparar estos Ensayos para correlacionarlos.

Fuente: Elaboración Propia

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

La población será la calle de estudio que comprende: Calle U. Tec. Del Callao con 778.20 ml.

3.2.2. Muestra

La muestra son las 8 calicatas, en las cuales se realizarán los ensayos de compresión inconfiada y CBR, en muestras inalteradas de los suelos cohesivos existentes en ese lugar; las coordenadas geográficas de la ubicación de la calicata son:

Tabla 2

Coordenadas geográficas de la ubicación de las calicatas

COORDENADAS GEOGRAFICAS		
Pueblo Joven "NUEVO PROGRESO", Calle: Universidad tecnológica del Callao		
Latitud	Longitud	Elevación (m)
-6.787696190484663	-79.87051703085586	15
-6.787813380474071	-79.87104274382278	15
-6.788148969831402	-79.8717293893306	16
-6.788322091233769	-79.87225710229757	17
-6.788479232145087	-79.87265138702276	16
-6.788596421943852	-79.87294106559636	15
-6.788958644777858	-79.87391738967779	14
-6.7901225501269655	-79.8768215398319	15

Fuente: google maps

3.3. Hipótesis

Los resultados del método de la resistencia a la compresión inconfiada en suelos cohesivos determinan un alto grado de correlación con respecto al valor de soporte de california (CBR) en el centro poblado Nuevo Progreso.

3.4. Variables

3.4.1. Variable independiente: Suelo cohesivo.

Suelo cohesivo:

Los suelos cohesivos, son suelos que poseen características de cohesión y plasticidad. Estos suelos pueden ser granulares con parte de arcilla o limo orgánico, que les importen cohesión y plasticidad, o pueden ser arcillas o limos orgánicos sin componentes granulares. Son suelos arcillosos y limosos o sea material de grano muy fino.

“Estos suelos, presentan una serie de características, condiciones, comportamientos y reacciones, las cuales están debidamente estudiadas por la mecánica de suelos.” (Araujo, 2014, pág. 10)

3.4.2. Variable Dependiente: valor de soporte California (CBR), y compresión inconfiada

Valor de Soporte de California (CBR):

Mide la resistencia del suelo a la penetración, para lograr una cierta profundidad dentro de una muestra del suelo; comparando la carga vs penetración.

Compresión Inconfiada:

También llamado compresión simple, compresión no confinada, compresión uniaxial; en este ensayo se determina la resistencia a la compresión inconfiada (q_u), como el máximo esfuerzo de compresión que puede soportar un suelo cohesivo. A partir de este dato y la teoría de Mohr Coulomb se puede obtener la resistencia no drenada al esfuerzo cortante de un suelo, expresada como la cohesión (Das, B. , 2001)

3.5. Operacionalización.

Tabla 3

Esquema de proyecto cuantitativo de investigación de la USS.

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	SUBÍNDICES	ÍNDICE	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN
INDEPENDIENTE							
Suelo cohesivo	Muestras de Suelo	suelo	----	Kg	Análisis de Documentos Observación Entrevista	Guía de Documentos. Guía de observación.	formatos
		agua	-----	Lts	Análisis de Documentos Observación Entrevista		formatos
DEPENDIENTE							
Ensayo de Compresión Inconfinada en suelos cohesivos:	Normatividad	MTC (E-121)	Resistencia a compresión uniaxial	mm/ kg	Análisis de Documentos	Guía de Documentos.	Máquina de ensayo de la compresión inconfinada
	Propiedades	Capacidad de soporte del suelo,	---	mm/ kg	Análisis de Documentos Observación Entrevista	Guía de Documentos. Guía de observación.	
Ensayo de valor de Soporte de California (CBR) en muestras inalteradas	Normatividad	MTC (E-133)	Relaciones de penetración - carga	mm/ kg	Análisis de Documentos	Guía de Documentos.	Máquina de ensayo del CBR.
	Propiedades	Capacidad de soporte del suelo	----	mm/ kg	Análisis de Documentos Observación Entrevista	Guía de Documentos. Guía de observación.	

Fuente: Elaboración propia

3.6. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.6.1. Métodos de investigación

Análisis

En nuestra investigación empleamos este método, ya que nos permitirá realizar un profundo análisis de la variable independiente y las variables dependientes.

3.6.2. Técnicas de recolección de datos

Observación:

Esta técnica será usada para obtener los datos cuantitativos, características, comportamiento y diversos factores que presenta el objeto de estudio de nuestra investigación.

Análisis de Documentos:

Con esta técnica, se obtendrá información mediante el estudio de documentos que contengan datos, símbolos, procedimientos (diagramas de flujo), etc.

3.6.3. Instrumentos de recolección de datos

Guía de Observación:

Utilizaremos como guía de observación, los formatos requeridos para completar los datos según cada ensayo que se realice en el laboratorio, se observaran los fenómenos y se procederá a hacer las anotaciones correspondientes.

Guía de Documentos:

Se utilizará como guía de documentos, la normatividad del MTC y Norma ASTM D-1883 la cual establece en sus artículos los métodos adecuados para el desarrollo de los ensayos de laboratorio.

3.7. Procedimiento para la recolección de datos

3.7.1. Diagrama de flujo de Procesos

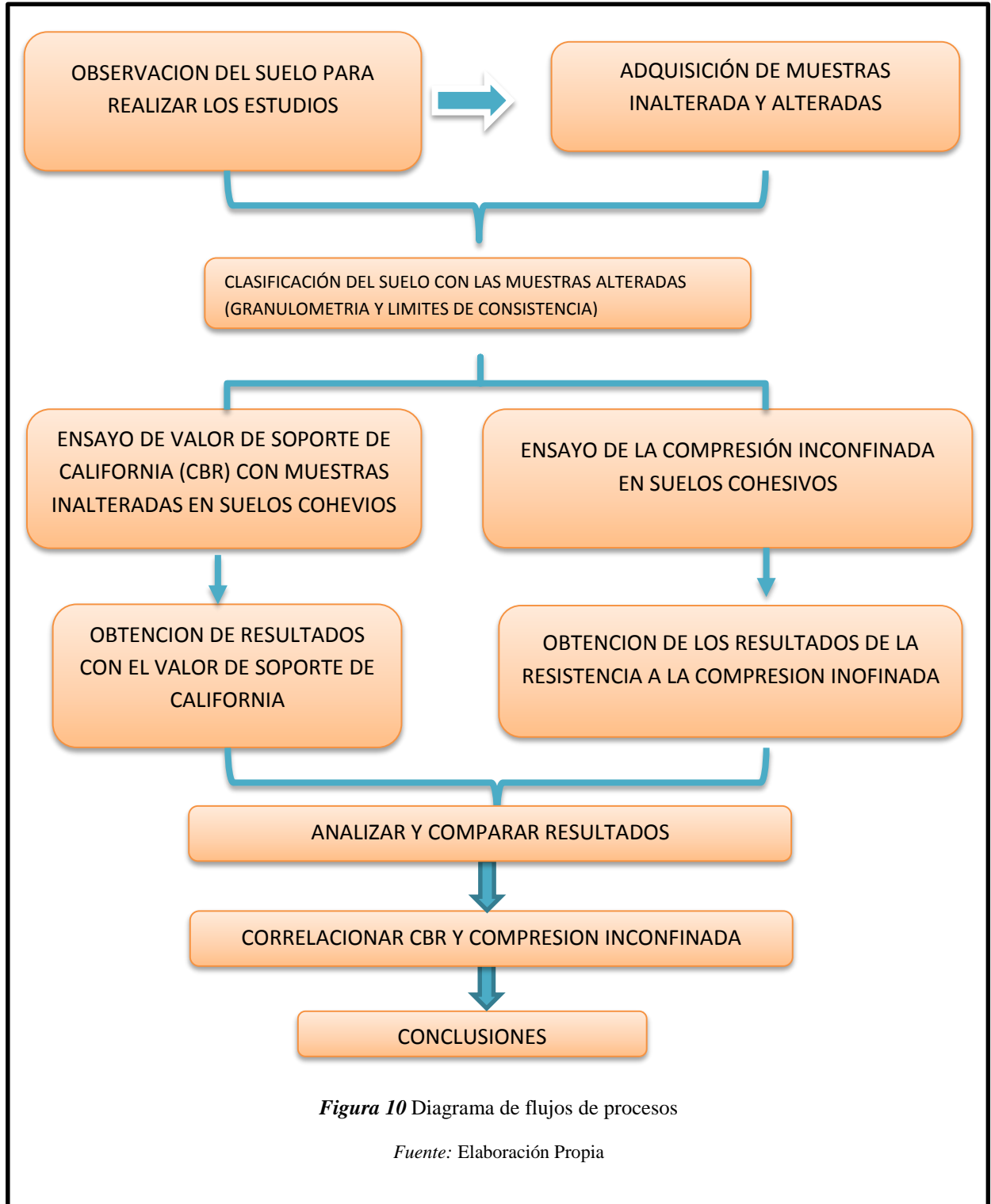


Figura 10 Diagrama de flujos de procesos

Fuente: Elaboración Propia

3.7.1.1. Descripción de procesos

1. Observación del suelo a realizar el ensayo

Consistió en determinar si el suelo en donde se tomaron las muestras para realizar los ensayos de este informe sean cohesivos; con la ayuda de una posteadora se ubicaron las zonas de donde se sacarían las muestras inalteradas. Se obtuvo muestras entre 80 cm a 100 cm y se llevó a laboratorio y con ayuda del Tec. Wilson, determinados que eran cohesivos y esto se corrobora más adelante con los ensayos granulométricos y de límites de consistencia.



Figura 11 Extracción de muestras alteradas con posteadora

Fuente: Toma propia



Figura 12 Muestras de suelo alterado

Fuente: Toma propia

2. Adquisición de muestras inalteradas

Consistió en tomar las muestras de suelo inalterado de acuerdo a lo establecido en MTC 3 127 – 2000; para lo cual se realizaron las calicatas entre 0.65m a 0.80m a nivel de subrasante y de 1 m de ancho por 1 m de largo, tratando de ubicar cada calicata en un lugar donde no haya sufrido mucho tránsito, por eso se realizaron a los costados de la calle.

Se tomaron muestras alternadas (para clasificación del suelo) y muestras inalteradas para los ensayos de compresión no confinada y de CBR en muestras inalteradas.

Para la extracción de las muestras se usaron:

- a) Molde CBR y la base perforada.
- b) Tubo de acero inoxidable (con las especificaciones que más adelante se detallaran)

Una vez extraídas las muestras se procedió a parafinar para evitar la pérdida del contenido de humedad.



Figura 13 Extracción de muestras alteradas, con molde CBR

Fuente: Toma propia



Figura 14 Extracción de muestras inalteradas

Fuente: Toma propia



Figura 15 Extracción de muestras inalteradas con tubo de acero inoxidable

Fuente: Toma propia

3. Clasificación del suelo (con las muestras alteradas)

Con las muestras alteradas obtenidas en cada calicata aprox. 1kg, se procedió a realizar en laboratorio los ensayos de granulometría y de límites de consistencia (límite líquido y límite plástico) para determinar el tipo de suelo en cada calicata.



Figura 16 Tamizado de las muestras de suelos alteradas

Fuente: Toma propia



Figura 17 Preparación de agua oxigenada con muestra de suelo

Fuente: Toma propia



Figura 18 Realización de las muestras para límite plástico

Fuente: Toma propia



Figura 19 Ensayo de Copa Casa Grande para el límite líquido

Fuente: Toma propia

4. Ensayo de valor de soporte de california (CBR)

a) Procedimiento para el ensayo sobre muestras inalteradas en suelos cohesivos.

Con este método se determina el CBR de un suelo cohesivo en estado natural. Se diferencia al CBR con muestra alterada, sólo en la toma de muestras, ya que los pasos para determinar las propiedades expansivas y la resistencia a la penetración son similares.

Se inició el ensayo quitando la parafina a los moldes de CBR.



Figura 20 Desparafinando las muestras inalteradas del molde CBR

Fuente: Toma propia



Figura 21 Muestras para CBR desparafinadas

Fuente: Toma propia

b) Equipos, materiales e instrumentos:

Para llevar a cabo la extracción de las muestras y realización de los ensayos en el laboratorio, será necesaria la utilización de diferentes equipos y herramientas que ayudaran a la ejecución de dichas tareas.

Algunos de los equipos y herramientas que se emplearán en campo y en laboratorio, pertenecerán al laboratorio de Suelos de la Universidad Señor de Sipán.

Equipos:

Deformímetro

Molde CBR, con collarín y la base perforada.

Disco espaciador

Plato y vástago

Pistón cilíndrico

Dispositivo de carga (aparato de compresión

Marco de carga CBR

Tanque para inmersión

Balanza

Pie de rey

Cronometro

Horno

Herramienta menor (Pico, pala, barra de acero, parafina).

Pesas para molde C.B.R

INSTRUMENTOS:

Programa MICROSOFT EXCEL 2013.

Programa MICROSOFT WORD 2013.

c) Recursos humanos

Personal	Número
Estudiantes de Ingeniería civil	1
Técnico de laboratorio de suelos	1
Peones	2

Fuente: elaboración propia

d) Procedimiento

Penetración: Se aplica una sobrecarga que sea suficiente, para producir una intensidad de carga igual al peso del pavimento (con ± 2.27 kg de aproximación) pero no menor de 4.54 kg (10 lb).

Para evitar el empuje hacia arriba del suelo dentro del agujero de las pesas de sobrecarga, es conveniente asentar el pistón luego de poner la primera sobrecarga sobre la muestra, Llévase el conjunto a la prensa y colóquese en el orificio central de la sobrecarga anular, el pistón de penetración y añade el resto de la sobrecarga si hubo inmersión, hasta completar la que se utilizó en ella. Se monta el dial medidor de manera que se pueda medir la penetración del pistón y se aplica una carga de 50N (5 kg) para que el pistón asiente. Seguidamente se sitúan en cero las agujas de los diales medidores, el del anillo dinamométrico, u otro dispositivo para medir la carga, y el de control de la penetración. Para evitar que la lectura de penetración se vea afectada por la lectura del anillo de carga, el control de penetración deberá apoyarse entre el pistón y la muestra o molde.

Se aplica la carga sobre el pistón de penetración mediante el gato o mecanismo correspondiente de la prensa, con una velocidad de penetración uniforme de 1.27 mm (0.05") por minuto. Las prensas manuales no preparadas para trabajar a esta velocidad de forma automática se controlarán mediante el deformímetro de penetración y un cronómetro. Se anotan las lecturas de la carga para las siguientes penetraciones:

Tabla 4
Tabla de penetración CBR

PENETRACIÓN	
Milímetros	Pulgadas
0.63	0.025
1.27	0.050
1.91	0.075
2.54	0.100
3.18	0.125
3.81	0.150
5.08	0.200
7.62	0.300
10.16	0.400
12.70	0.500

Fuente: MTC – 132



Figura 22 Maquina montada con el molde CBR para realizar el ensayo de penetración.

Fuente: Toma propia

Una vez realizado el ensayo de penetración se procedió a saturarlo por 4 días para obtener los resultados en las condiciones más desfavorables, para lo cual después de ese tiempo de inmersión se procedió a hacer el ensayo de penetración en la otra de las caras.

Mientras las muestras para CBR estaban inmersas se estuvo tomando los datos de expansión cada 24 horas.



Figura 23 Inmersión de las muestras en los moldes de CBR

Fuente: Toma propia



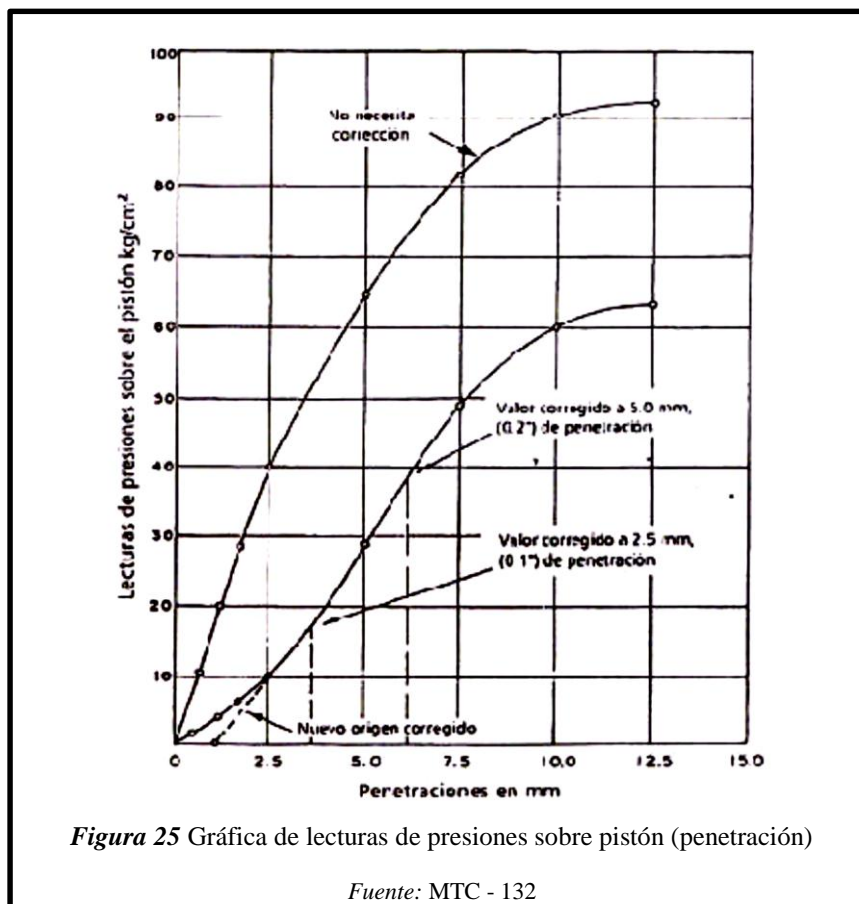
Figura 24 Dial para medir la expansión

Fuente: Toma propia

e) Cálculos - Fórmulas

Presión de penetración: Se calcula la presión aplicada por el penetrómetro y se dibuja la curva para obtener las presiones reales de penetración a partir de los datos de prueba; el punto cero de la curva se ajusta para corregir las irregularidades de la superficie, que afectan la forma inicial de la curva, véase figura 12

Expansión: La expansión se calcula por la diferencia entre las lecturas del deformímetro antes y después de la inmersión, Este valor se refiere en tanto por ciento con respecto a la altura de la muestra en el molde, que es de 127 mm (5").



Es decir:

$$\% \text{ Expansión} = \frac{L2 - L1}{127} \times 100$$

Ecuación 12 Ecuación para determinar la expansión.

Siendo

L1 = Lectura inicial en mm.

L2 = Lectura final en mm.

Valor de la relación de soporte (índice resistente CBR): Se llama valor de la relación de soporte (índice CBR), al tanto por ciento de la presión ejercida por el pistón sobre el suelo, para una penetración determinada, en relación con la presión correspondiente a la misma penetración en una muestra patrón. Las características de la muestra patrón son las siguientes:

Tabla 5

Valores de relación de soporte (penetración, presión)

Penetración		Presión		
Mm	Pulgadas	MN/m ²	kgf/cm ²	lb/plg ²
2,54	0,1	6,90	70,31	1,000
5,08	0,2	10,35	105,46	1,500

Fuente: MTC – 132

f) Para calcular el índice CBR se procede como sigue:

Se dibuja una curva que relacione las presiones (ordenadas) y las penetraciones (abscisas), y se observa si esta curva presenta un punto de inflexión. Si no presenta punto de inflexión se toman los valores correspondientes a 2,54 y 5,08 mm (0,1" y 0,2") de penetración. Si la curva presenta un punto de inflexión, la tangente en ese punto cortará el eje de abscisas en otro punto (o corregido), que se toma como nuevo origen para la determinación de las presiones correspondientes a 2,54 y 5,08 mm.

De la curva corregida tómense los valores de esfuerzo-penetración para los valores de 2,54 mm y 5,08 mm y calcúlense los valores de relación de soporte correspondientes, dividiendo los esfuerzos corregidos por los esfuerzos de referencia 6,9 MPa (1000lb/plg²) y 10,3 MPa (1500 lb/plg²) respectivamente, y multiplíquese por 100. La relación de soporte reportada para el suelo es normalmente la de 2,54 mm (0,1") de penetración. Cuando la relación a 5,08 mm (0,2") de penetración resulta ser mayor, se repite el ensayo. Si el ensayo de comprobación da un resultado similar, úsese la relación de soporte para 5,08 mm

(0,2") de penetración. (MTC, Manual de carreteras - suelos, geología, geotecnia y pavimentos, 2013)

g) Normatividad

NTP. 339.145-1999,

ASTM D 1883-2009,

MTC E 132-2000,

AASHTO T 193-2003.

5. Ensayo de compresión Inconfinada

Este ensayo fue elaborado en el laboratorio Mecánica de suelos de la Universidad Pedro Ruiz Gallo de Lambayeque; ya que contaba con la herramienta de extracción de muestras para el diámetro del tubo acero inoxidable usado para este ensayo; el cual el laboratorio de suelos de Universidad Señor de Sipán cuenta, pero con un diámetro mayor.

Este ensayo tiene como propósito, determinar la resistencia a la compresión no confinada (q_u), de un cilindro de suelo cohesivo o semi-cohesivo, e indirectamente la resistencia al corte (c), por la expresión:

$$c = q_u/2 \text{ (kgs/cm}^2\text{)}$$

Este cálculo se basa en el hecho de que el esfuerzo principal menores de cero (ya que al suelo lo rodea sólo la presión atmosférica) y que el ángulo de fricción interna (ϕ) del suelo se supone cero.

Este ensayo es ampliamente utilizado, ya que constituye un método rápido y económico. Consiste en un ensayo uniaxial, en donde la probeta no tiene soporte lateral ($\sigma_3=0$), realizándolo en condiciones no drenadas. Se podrá realizar de dos maneras, mediante un control de deformación o bien, mediante un control de esfuerzos.

El primero, es ampliamente utilizado, controlando la velocidad de avance de la plataforma del equipo. El segundo, requiere ir realizando incrementos de carga, lo que puede causar errores en las deformaciones unitarias al producirse una carga

adicional de impacto al aumentar la carga, por lo que resulta de prácticamente nula utilización.

a) Equipos, materiales e instrumentos

EQUIPOS:

1. Máquina de Compresión: conformado por una prensa para rotura de las probetas, de velocidad controlada manual o mecánicamente, con capacidad suficiente para llegar a la carga de rotura. El dispositivo de medida de la fuerza aplicada debe tener una sensibilidad del 1 % de la resistencia a la compresión simple de la muestra ensayada.
2. Extractor de muestras.
3. Un torno con motor o tallador de probetas de muestras inalteradas con accesorios (sierra de alambre, cuchillos, caja de ingletes, etc).
4. Moldes para extraer muestras inalteradas; se tomó un tubo de acero inoxidable que cumplía con las siguientes características de acuerdo al MTC E -120 MUESTREOS CON TUBOS DE PARED DELGADA, donde dicta los siguientes parámetros:

Los tubos de pared delgada de 50,8 a 127 mm (2" a 5") de diámetro exterior deben ser fabricados de un metal que tenga una resistencia mecánica adecuada y características anticorrosivas satisfactorias, para obtener la debida resistencia a la corrosión, los tubos pueden llevar un recubrimiento adecuado. Si se especifica, pueden emplearse tubos de tamaños diferentes.” (MTC, Manual de ensayo de materiales, 2016, pág. 151)

Tabla 6

Tubos de acero de pared delgada para muestras de tamaño apropiado

Diametro exterior			
mm	50.8	76.2	127
pulg	2	3	5
Espesor de la pared			
Bwg	18	16	11
mm	1.24	1.65	3.05
pulg	0.049	0.065	0.12

Fuente: MTC E – 120

Por lo tanto, en este ensayo emplee un tubo de acero inoxidable con el diámetro exterior especificado, con el espesor de pared también especificado y con la condición de resistencia a la corrosión; y también cumple con la relación altura-diámetro mayor a 2 para la realización de este ensayo.



Figura 26 Tubo para extracción de muestras inalteradas para Compresión Inconfinada

Fuente: Toma propia

5. Un cronómetro, si el control de la prensa es manual. E - 152 – 2
6. Un calibrador con nonio capaz de medir las dimensiones físicas de la probeta con aproximación de 0.1 mm.
7. Balanzas que den el peso de la muestra con una precisión del 0.1 % de su peso total.
8. Horno capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C ($230^\circ \pm 9$ °F).

INSTRUMENTOS:

Programa MICROSOFT EXCEL 2013.

Programa MICROSOFT WORD 2013.

b) Procedimiento:

1. Se tomarán todos los datos del pequeño cilindro que se está utilizando para la práctica: longitud, diámetro y peso, lo cual cumple con la relación altura-diámetro mayor a 2.

2. Se extrajo el cilindro formado de suelo del depósito con ayuda de la maquina extractora del laboratorio de suelos.



Figura 27 Extracción de muestras inalteradas para ensayo de Compresión inconfiada

Fuente: Toma propia



Figura 28 Extracción de muestras

Fuente: Toma propia

3. Una vez obtenido el cilindro de suelo, se procedió a colocarlo en la máquina para el ensayo de compresión inconfiada, donde se tomaron las medidas del micrómetro mientras se tenía en cuenta el dial de deformación.



Figura 29 Ensayo de compresión inconfiada

Fuente: Toma propia

4. Una vez tomada todas las medidas hasta que se percibió la falla en el cilindro de suelo se procedió a tomar la longitud y el diámetro del cilindro de suelo usado en la práctica.

c) Recursos humanos

Personal	Número
Estudiantes de Ingeniería civil	1
Técnico de laboratorio de suelos	1
Peones	2

Fuente: Elaboración propia

d) Cálculos - Fórmulas

1. La deformación unitaria, ε , se calculará con la siguiente fórmula:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

Ecuación 13 Ecuación para determinar la deformación unitaria

Siendo:

ε = Deformación unitaria axial para la carga dada.

ΔL = Cambio en longitud de la muestra, igual al cambio entre la lectura inicial y final del indicador de deformación.

L_0 = Longitud inicial de la muestra.

2. Calcúlese la sección transversal promedio de la muestra, A , para una carga dada así:

$$A = \frac{A_0}{(1 - \varepsilon)}$$

Ecuación 14 Ecuación para determinar la sección transversal promedio de la muestra.

Siendo:

ε = Deformación unitaria axial para la carga dada.

A_0 = Área inicial promedio de la probeta.

$$A_0 = \frac{(A_t + 2 A_m + A_b)}{4}$$

Ecuación 15 Ecuación para determinar el Área promedio de la probeta

Siendo:

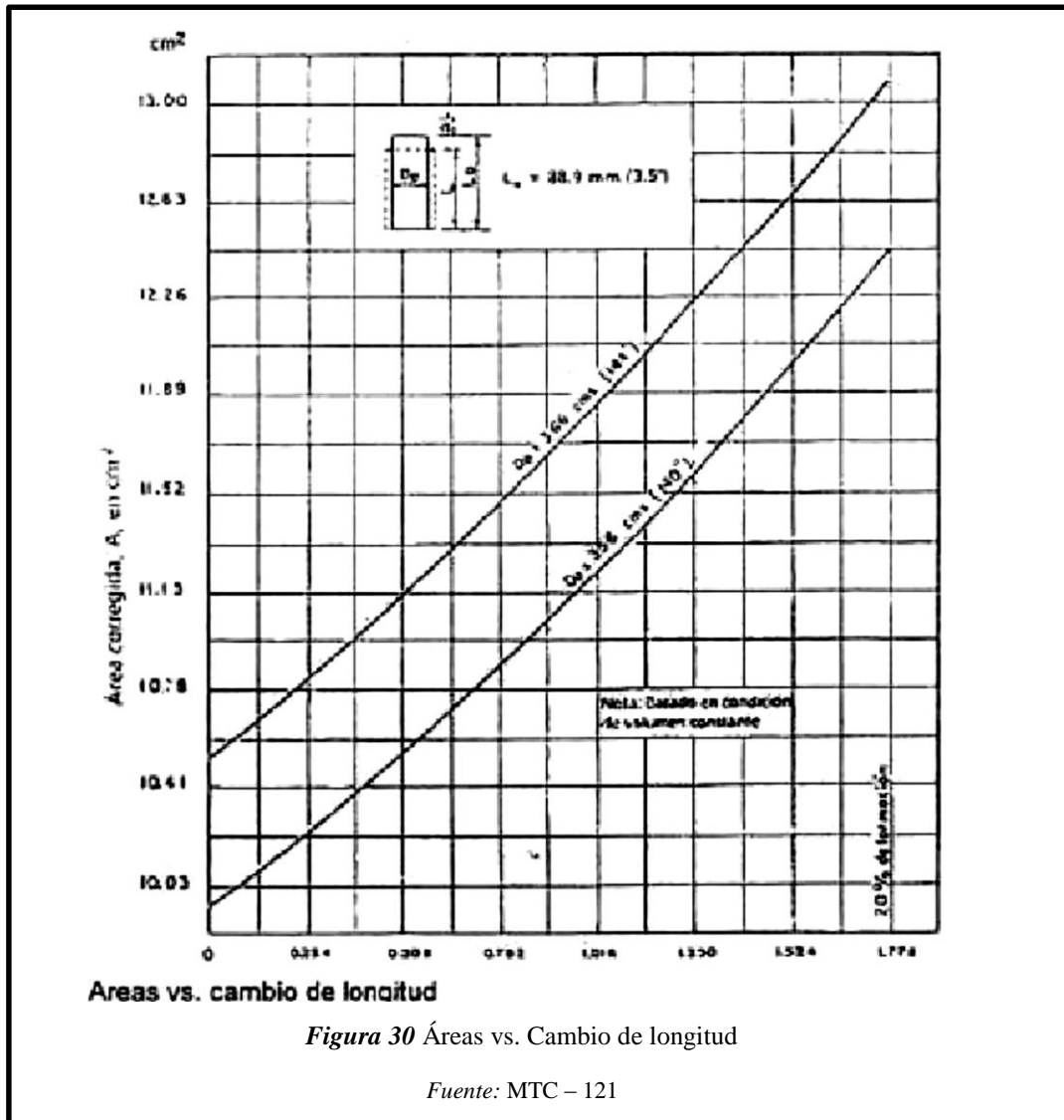
A_t = Área en la parte superior de la probeta

A_m = Área en la parte media de la probeta

A_b = Área de la parte inferior de la probeta

El área A , puede calcularse alternativamente a partir de dimensiones obtenidas por medición directa, cuando pueden medirse las superficies de la probeta.

3. Es útil preparar un gráfico que dé para cada deformación el área corregida correspondiente, de acuerdo con los diámetros iniciales de las muestras que se empleen en el ensayo, como se ilustra en la siguiente figura.



4. Calcúlese el esfuerzo, σ :

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Ecuación 16 Fórmula para Calcular el esfuerzo (σ)

Dónde:

P = Carga aplicada dada, y

A = Área de la sección promedio correspondiente.

5. Realizar un gráfico que muestre la relación entre el esfuerzo (ordenada) y la deformación unitaria (en las abscisas). Tómese el valor mayor de la carga unitaria o el que corresponda al 20% de deformación, el que ocurra primero entre las dos, e infórmese como resistencia a la compresión no confinada. Siempre que se considere necesario para una interpretación adecuada, se incluirá el gráfico correspondiente en el informe.

6. Dicha resistencia se emplea también para calificar la consistencia del suelo como muy blanda, blanda, mediana, firme, muy firme y dura de acuerdo con el valor obtenido en la siguiente forma:

Tabla 7

Tabla para determinar la consistencia del suelo a partir de la resistencia a la compresión no confinada (inconfiada)

Consistencia del suelo	Resistencia a la Compresión no confinada	
	kg/cm ²	(kPa)
Muy blanda	< 0.25	(< 25)
Blanda	0.25-0.50	(25- 50)
Mediana	0.50-1.00	(50-100)
Firme	1.00-2.00	(100-200)
Muy firme	2.00-4.00	(200-400)
Dura	> 4.00	(> 400)

Fuente: MTC – 121

7. Mediante la humedad el peso de la probeta se calcula el peso unitario según se indica en la hoja de cálculos.

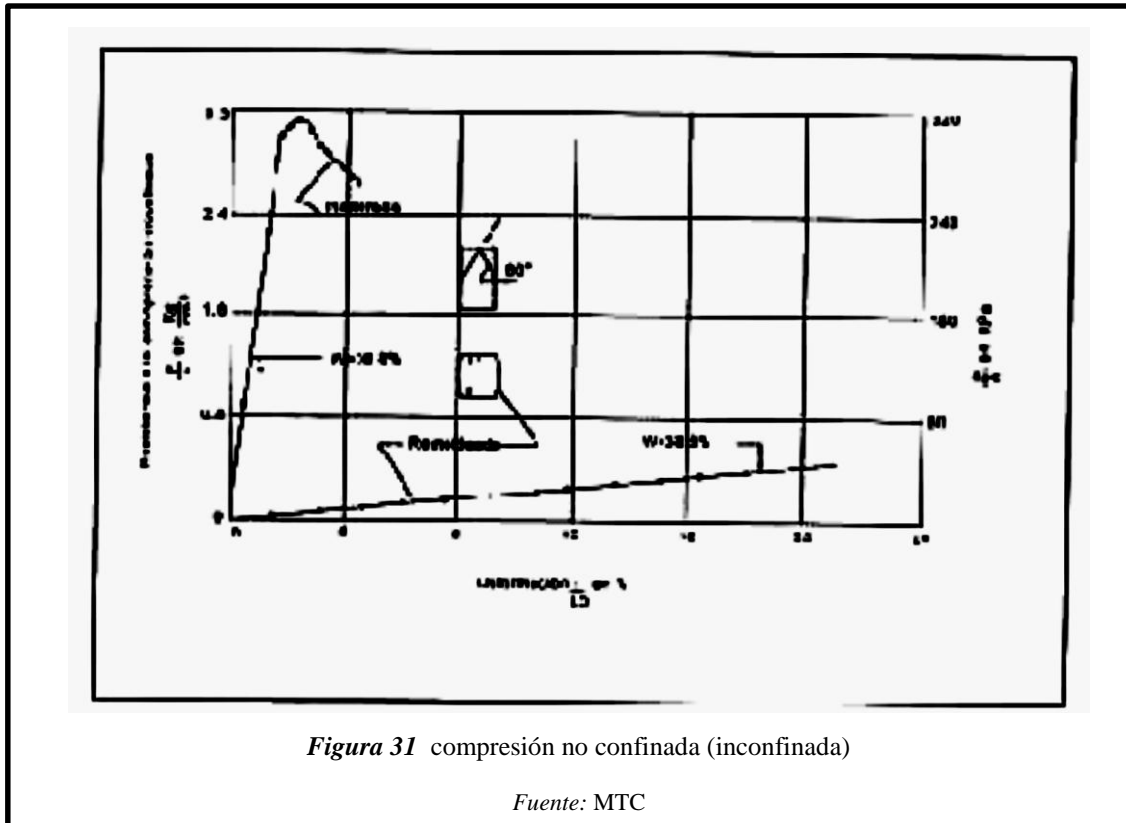


Figura 31 compresión no confinada (inconfiada)

Fuente: MTC

e) Normatividad

NORMAS	ENSAYO DE COMPRESION INCOFINADA
	ASTM D 4429 – 93
	AASHTO T 208
	NLT 202
	ASTM D 2166
	ICONTEC 1527

Fuente: elaboración propia

3.8. Análisis estadístico e interpretación de los datos

3.8.1. Enfoque cualitativo

Se examinaron las guías de análisis de documentos obtenidos de la Escuela de Ingeniería Civil, Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) y otras relacionadas al presente estudio.

3.8.2. Enfoque cuantitativo

Se utilizó la estadística descriptiva, para el procesamiento y el análisis de los datos recolectados en el laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Señor de Sipán, se ha recurrido a técnicas de organización y graficas de dichos datos, así como también el coeficiente de correlación de Pearson, análisis de regresión lineal, y a partir de las gráficas e interpretación respectiva; ha sido posible realizar el análisis de resultados y la formulación de conclusiones.

Para lo cual se usó el software Microsoft office Excel; y el programa Minitab 17 statistical software.

3.9. Principios éticos

3.9.1. Ética de la recolección de datos

Corresponde a la realización de recolección de datos con veracidad, no se falsificará ningún dato o resultado, ya que esta información podrá ser usada en el futuro por otros investigadores y se desea dejar un buen precedente con información actualizada y veraz para la orientación y base de trabajos afines en el futuro.

3.9.2. Ética de la publicación

Seguros de contar con los resultados óptimos producto de nuestra investigación, tomando en cuenta las Normas Técnicas Peruanas, MTC, en nuestro estudio, procederemos a dar por terminado nuestro informe final de Tesis, el mismo que servirá para posteriores estudios.

3.9.3. Ética de la aplicación

Nuestra investigación generará beneficios sociales, económicos y ambientales, dependiendo de quién se da derecho para utilizar los resultados de la investigación.

3.9.3.1. Código ético de la aplicación

Se tuvo como base el código ético del Ingeniero Civil, elaborado por el Colegio de Ingenieros del Perú (CIP) en el cual se establece todas las sanciones que serán aplicadas a las faltas al comportamiento preceptuado por el Código.

Por ello esta investigación quedara sujeta a dicho código.

CAPÍTULO III

Sub Capítulo I

DE LA RELACIÓN CON LA SOCIEDAD

Artículo 99.- Los ingenieros cuidarán que los recursos humanos, económicos, naturales y materiales, sean racional y adecuadamente utilizados, evitando su abuso o dispendio, respetarán y harán respetar las disposiciones legales que garanticen la preservación del medio ambiente.

Artículo 100.- Los ingenieros ejecutarán todos los actos inherentes a la profesión de acuerdo a las reglas técnicas y científicas procediendo con diligencia; autorizarán planos, documentos o trabajos solo cuando tengan la convicción de que son idóneos y seguros, de acuerdo a las normas de Ingeniería.

Artículo 103.- Los ingenieros están obligados a cuidar el territorio de trabajo de la ingeniería peruana y fomentar el desarrollo tecnológico del Perú.

Sub Capítulo II

DE LA RELACIÓN CON EL PÚBLICO

Artículo 106.- Los ingenieros, al explicar su trabajo, méritos o emitir opiniones sobre temas de ingeniería, actuarán con seriedad y convicción, cuidando de no crear conflictos de intereses, esforzándose por ampliar el conocimiento del público a cerca de la ingeniería y de los servicios que presta a la sociedad.

Artículo 107.- Los ingenieros no participarán en la difusión de conceptos falsos, injustos o exagerados acerca de la ingeniería en la actividad pública o privada, de proyectos, productos, métodos o procedimientos relativos a la ingeniería.

Sub Capítulo III

DE LA COMPETENCIA Y PERFECCIONAMIENTO DE PROFESIONAL

Artículo 109.- Los ingenieros realizarán trabajos de ingeniería solamente cuando cuenten con estudios o experiencia en el campo específico de la ingeniería de que se trata.

Artículo 110.- Los ingenieros podrán aceptar trabajos que requieran estudios o experiencias ajenos a los suyos, siempre que sus servicios se limiten a aquellos aspectos para los cuales están calificados, debiendo los demás ser realizados por asociados, consultores o empleados calificados.

Artículo 111.- Los ingenieros autorizarán planos, documentos o trabajos sólo cuando hayan sido elaborados por ellos, o ejecutados bajo su control.

Sub Capítulo IV

DE LA PROMOCIÓN Y PUBLICIDAD

Artículo 115.- Los ingenieros podrán hacer promoción de sus servicios profesionales sólo cuando ella no contenga lenguaje jactancioso o engañoso o en cualquier forma denigrante de la profesión.

En la promoción que realicen los ingenieros se abstendrán de garantizar resultados que por razones técnicas, económicas o sociales sean de imposible o dudoso cumplimiento.

3.10. Criterios de rigor científico

1) Generalidades

Mediante la aplicación de las entrevistas se obtendrán respuestas en función al cuestionario, que nos permitirán dar validez externa después de haber sido cotejadas con otras fuentes teóricas.

2) Fiabilidad

Los ensayos se realizaron en el laboratorio de ensayo de Mecánica de Suelos y Pavimentos de la Universidad Señor de Sipán, laboratorio que cuenta con equipos calibrados y certificados para tal actividad.

3) Replicabilidad

El diseño y modelación de nuestro proyecto en estudio es supeditado a diversos factores que van a contribuir con los resultados a obtener:

Factores climáticos: Lluvia, frío, calor, etc.

Factores económicos: Depreciación de los equipos.

Factores tecnológicos: Si se cuenta con los equipos adecuados para los ensayos en el laboratorio de suelos; esta investigación está supeditada en el Pueblo Joven Nuevo Progreso, tomando en cuenta el objetivo general.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Resultados de tablas y gráficos.

4.1.1. Estudio de mecánica de suelos.

1. Generalidades

El suelo, material bastante abundante y de uso práctico en el desarrollo de un proyecto de construcción, muchas veces no reúne las propiedades o características para su uso. Por esto, se recurre a realizar sobre él, análisis y pruebas; en este informe para su estudio se usó calicatas las cuales permiten el reconcomiendo del perfil estratigráfico.

2. Presencia de agua en el suelo

No se encontró la presencia de la Napa freática durante la exploración de las calicatas.

3. Descripción de ensayos de laboratorio

Todos los ensayos descritos a continuación se elaboraron en el laboratorio de mecánica de suelos y pavimentos de la Universidad Señor de Sipán.

3.1. Contenido de humedad

Es la cantidad total del agua que contiene la muestra de agregados al momento de efectuar la determinación de la masa, para dosificar una revoltura, puede estar constituida por la suma del agua superficial y la absorbida.

3.1.1. Equipos y materiales

- a. Balanza electrónica
- b. Horno, capaz de mantener la temperatura de $11^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- c. Muestra (terreno natural).
- d. Bandeja
- e. Cucharón

3.1.2. Procedimiento

- La muestra se obtuvo de las 8 calicatas realizadas en la Av. U. tec. Del Callao, a una profundidad de 0.70 y 0.80 m.
- De cada calicata se extrajo 2 kg de material alterado.
- Una vez obtenido el material, los 2 kg, se le colocó en un recipiente, donde dicho recipiente fue pesado antes de colocar la muestra, se obtuvo un peso del recipiente + el material (muestra de suelo alterado).
- Luego se procedió a colocar la muestra al horno con una temperatura de 105°C, por 24 horas.
- Después de las 24 horas se saca del horno, luego se deja secar para que se enfríe la muestra.
- Finalmente se pesa el material seco para luego calcular el contenido de humedad del material de la base.

3.1.3. Resultados

Tabla 8

Resumen de contenido de humedad en calicatas

Laboratorio de mecánica de suelos y pavimentos de la Universidad Señor de Sipán								
Calicata / Muestra	C1 - M1	C2-M1	C3-M1	C4-M1	C5-M1	C6-M1	C7-M1	C8-M1
Profundidad de calicata	0.70	0.70	0.70	0.80	0.70	0.70	0.75	0.75
N° de tara (n°)	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso de muestra húmeda utilizada +tara (gr)	258.03	338.01	268.78	295.60	320.32	370.34	379.40	419.46
Peso de suelo seco utilizado + tara (gr)	220.13	299.45	235.89	275.67	290.56	320.77	367.19	402.36
Peso de agua (gr)	37.90	38.57	32.89	19.93	29.76	49.57	12.21	17.10
Peso de la tara (gr)	46.34	46.38	50.13	57.34	45.65	45.23	58.37	55.62
Peso de suelo seco utilizado (gr)	173.79	253.07	185.76	218.33	244.91	275.54	308.82	346.74
Contenido de humedad (gr)	21.81	15.24	17.71	9.13	12.15	17.99	3.95	4.93

3.2. Límites de consistencia

3.2.1. Límite líquido (ASTM 4318)

El límite líquido es aquel contenido de humedad, expresado en porcentaje, para el cual el suelo se halla entre los estados líquido y plástico. Arbitrariamente se designa como el contenido de humedad al cual el surco separador de dos mitades de una pasta de suelo se cierra a lo largo de su fondo en una distancia de 13 mm (1/2 pulg) cuando se deja caer la copa 25 veces desde una altura de 1 cm a razón de dos caídas por segundo. (MTC E 110, p. 67).

3.2.1.1. Equipos y materiales

- a. Muestra. La muestra fue material que paso por la malla N° 40, aproximadamente 150gr.
- b. Copa de Casagrande. De operación manual. Es un aparato consistente en una taza de bronce con sus aditamentos.
- c. Acanalador
- d. Espátula
- e. Balanza electrónica
- f. Depósito de plástico
- g. Tamiz N°40
- h. Agua destilada
- i. Horno

3.2.1.2. Preparación de la muestra

- a. Del agregado fino se le pasó por la malla N°40, la muestra que pase (150gr.) se colocó en un recipiente de plástico.
- b. Luego a esa muestra se echó agua destilada y con una espátula se mezcló perfectamente hasta obtener una pasta espesa y suave.
- c. Luego de haberse obtenido la pasta se lo dejo reposar por un día.

3.2.1.3. Calibración de la copa Casagrande

- a. Antes de usarse la copa de Casagrande para la determinación del Límite Líquido se debe inspeccionar a fin de determinar si se halla en buen estado.
- b. La altura de caída que debe tener la copa es de un centímetro exactamente, esta altura se mide por medio del calibre del mago del acanalador.

- c. En la copa del aparato se marca una cruz con lápiz en el centro de la huella que se forma al golpearse con la base.
- d. Se da vuelta a la manija hasta que la copa se levante hasta su mayor elevación y tomando como punto de referencia a la cruz marcada se verifica la distancia entre ésta y la base con el mango del acanalador.
- e. Se aflojan los tornillos de cierre y se gira el tornillo hasta que la distancia sea de un centímetro.

3.2.1.4. Procedimiento

- a. Se tomó una porción de la pasta preparada y se colocó en el plato de bronce de la copa Casagrande, donde fue nivelada por una espátula.
- b. La pasta fue dividida con un corte firme del acanalador, diametralmente al plato de bronce de arriba hacia abajo, donde se formó un surco bien definido.
- c. Posteriormente el plato de bronce es levantado y soltado, a través del manubrio a una velocidad de golpes por segundo aproximadamente, el número de golpes será hasta que las dos mitades de la pasta se una en su base, una vez unida la pasta a una distancia aproximadamente de $\frac{1}{2}$ " se registró el número de golpes.
- d. Se tomó la porción de la pasta que se unió, cortando la sección que se unió, esta porción se coloca en una tara, la cual será pesada con y sin la muestra., para después ser llevada al horno (105°C - 110°C) por 24 horas, para obtener su contenido de humedad.
- e. La pasta que se quedó en el plato de bronce se colocó en el recipiente de plástico, se echó nuevamente agua y repitió el ensayo.
- f. Se hicieron tres ensayos los cuales fueron entre 15 y 35 golpes.
- g. Pasada las 24 horas se sacaron las muestras y se sacó el peso seco de las muestras, para determinar su contenido de humedad.

3.2.1.5. Resultados

Para la **calicata 1** se obtuvieron los siguientes datos y cálculos

Tabla 9

Datos y cálculos de límite líquido en calicata 01 – M1

Datos de ensayo.	Límite líquido		
N° de tarro	1	2	3
N° de golpes	33	21	18
Tarro + suelo húmedo	56.98	63.96	52.61
Tarro + suelo seco	53.17	58.57	48.59
Agua	3.81	5.39	4.02
Peso del tarro	36.46	38.45	33.91
Peso del suelo seco	16.71	20.12	14.68
Porcentaje de humedad	22.80	26.79	27.38

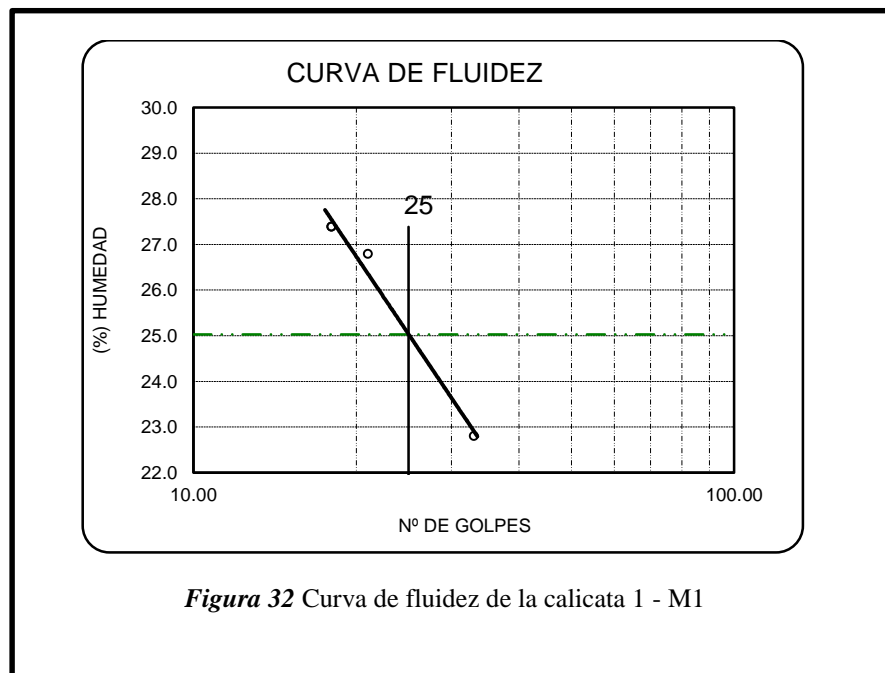


Figura 32 Curva de fluidez de la calicata 1 - M1

Al procesar estos datos con la curva de fluidez se obtuvo como resultado que la calicata 01 – M1, tiene un límite líquido de 25.03%.

Este mismo proceso se realizó para las otras 7 calicatas, obteniendo los resultados mostrados en la siguiente tabla de resumen:

Tabla 10

Cuadro de resultados de limite liquido de las calicatas de estudio

N° Calicata	Muestra	Límite líquido (%)
C1	M1	25.03
C2	M1	22.37
C3	M1	27.14
C4	M1	24.18
C5	M1	25.00
C6	M1	27.22
C7	M1	24.18
C8	M1	24.46

Donde observamos que en todas las calicatas el rango del límite líquido se encuentra entre los valores (%) de 22 a 27.

3.2.2. Limite plástico (ASTM D 4318)

Se denomina límite plástico (L.P.) a la humedad más baja con la que pueden formarse barritas de suelo de unos 3,2 mm (1/8") de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa (vidrio esmerilado), sin que dichas barritas se desmoronen. (MTC E 111 p. 72).

3.2.2.1. Equipos y materiales

- a. Espátula
- b. Recipiente para almacenar la muestra
- c. Balanza electrónica
- d. Horno
- e. Tamiz N°40
- f. Agua destilada
- g. Superficie de rodadura, de vidrio grueso.

3.2.2.2. Preparación de la muestra

- a. Del agregado fino se le pasó por la malla N°40, la muestra que pase (150gr.) se colocó en un recipiente de plástico.
- b. Luego a esa muestra se echó agua destilada y con una espátula se mezcló perfectamente hasta obtener una pasta espesa y suave.
- c. Luego de haberse obtenido la pasta se lo dejo de un día para otro.

3.2.2.3. Procedimiento

- a. De la muestra que se utilizó para el límite líquido se separó una porción y se tomó la mitad de esa porción.
- b. Tomada una porción de esa muestra con la palma de la mano se fue eliminando la humedad, haciendo rodar la muestra sobre un vidrio empavonado, hasta obtener unos rollitos de aproximadamente 1/8" (3.17 mm) de diámetro
- c. El límite plástico se alcanzó cuando el bastoncillo se desmigaja en varias piezas al ser rodado.
- d. Los bastoncillos fueron colocados en un recipiente y colocados en el horno con la finalidad de determinar su contenido de humedad que es el límite plástico de la muestra.

3.2.2.4. Resultados

Para la **calicata 1** se obtuvieron los siguientes datos y cálculos:

Tabla 11

Datos y cálculos de límite plástico para la calicata 01

Datos de ensayo.	Límite Plástico	
N° de tarro	1	
N° de golpes	 	
Tarro + suelo húmedo	47.17	
Tarro + suelo seco	46.2	
Agua	0.97	
Peso del tarro	34.19	
Peso del suelo seco	12.01	
Porcentaje de humedad	8.08	

Obteniendo que para la calicata 01 se tiene un valor de limite plástico de 8.08%.

Este mismo procedimiento de cálculo se aplicó para las muestras de las calicatas restantes; y se resume en la siguiente tabla:

Tabla 12

Cuadro de resultados de limite plástico de las calicatas de estudio

N° Calicata	Muestra	Límite Plástico (%)
C1	M1	8.08
C2	M1	8.08
C3	M1	16.06
C4	M1	22.59
C5	M1	13.33
C6	M1	26.57
C7	M1	21.22
C8	M1	22.07

De acuerdo a los resultados obtenidos sobre los límites plásticos se observa que en las primeras 2 calicatas tenemos un bajo porcentaje de límite plástico esto indica que estos suelos son poco plásticos con referencia a las muestras en las otras calicatas. En las calicatas siguientes obtenemos un límite plástico que oscila entre el 16% hasta 26%.

Obtenidos los límites líquidos y plásticos podemos obtener los índices de plasticidad, los cuales se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 13

Cuadro de Índice de plasticidad de las calicatas de estudio.

N° Calicata	Muestra	Índice plástico(%)
C1	M1	16.95
C2	M1	14.29
C3	M1	11.08
C4	M1	1.60
C5	M1	11.66
C6	M1	0.65
C7	M1	2.96
C8	M1	2.39

En este cuadro se observa que los índices plásticos en la calicata 04 y la calicata 06 son muy inferiores respecto a las muestras de las otras calicatas.

3.3. Granulometría

Este Modo Operativo describe el método para determinar los porcentajes de suelo que pasan por los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta el de 74 mm (Nº 200). (MTC E 107 p. 44).

3.3.1. Equipos y materiales

- a. Juego de tamices que varan desde las 3" hasta la Nº 200.
- b. Balanza electrónica.
- c. Horno de temperatura constante (105°C - 110°C)
- d. Brochas
- e. Bandejas

3.3.2. Procedimiento

- a. Se tamizo la muestra desde la malla Nº 10 hasta la Nº 200, se tomó los pesos retenidos en cada malla.
- b. Se pasó cierta cantidad de muestra por la malla Nº4, el material que paso fue superior a los 120 gr el cual se remojo por 24 horas.
- c. Después de las 24 horas el material se lava y se lleva al horno (105°C - 110°C) por 24 horas.
- d. Pasada las 24 horas en el horno se pesa el material.
- e. Posteriormente se procede al tamizado de la muestra desde la malla Nº10 hasta la malla Nº200, se tomó los pesos retenidos en cada malla.

3.3.3. Resultados

Para la **calicata 1** se realizó el tamizado, anotando todos los pesos retenidos en cada malla para una muestra de 181.2 gramos; y se obtuvo la siguiente curva granulométrica:

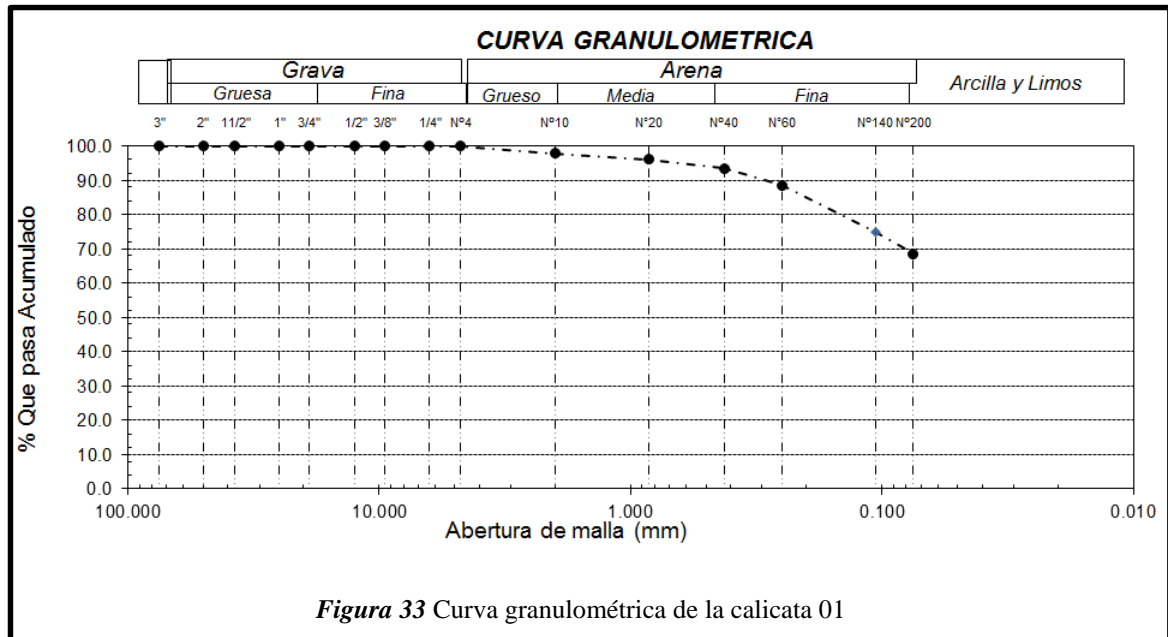


Figura 33 Curva granulométrica de la calicata 01

De acuerdo a la curva granulométrica de la calicata observamos un fuerte crecimiento a partir del tamiz n° 40, de esto se puede decir que tiene una gran presencia de limos y arcillas y esto se comprueba con los resultados que son:

Arena: 31.40% y Arcillas y limos: 68.6 %.

El mismo proceso de mado se realizó para las siguientes calicatas, así como también su respectiva curva granulométrica obteniendo los siguientes resultados de % de arena, grava, arcilla y limo; así como se observa en la siguiente tabla:

Tabla 14

Cuadro de resumen granulométrico de suelos en las calicatas de investigación

N° Calicata	Muestra	% Grava	% Arena	% Arcilla y Limo
C1	M1	0	31.4	68.6
C2	M1	0	41.3	58.7
C3	M1	1.2	40.3	50.5
C4	M1	0	46.4	53.6
C5	M1	0	39.6	60.4
C6	M1	0	47.9	52.1
C7	M1	0	38.0	62.0
C8	M1	1.6	35.8	62.6

Se observa que en todas las calicatas se encuentra un valor de arcilla y limo mayor al 50 %; entonces esto nos indica que son suelos finos con casi nada de grava y cumplen con los requerimientos de esta tesis ya que el desarrollo de este informe se limita al estudio solo de suelos cohesivos.

Con el desarrollo de los estudios de mecánica de suelos (contenido de humedad, límite líquido, límite plástico, granulometría) se puede determinar el tipo de suelos según la clasificación SUCS, que es el empleado en este informe de tesis.

Entonces el tipo de suelo según los datos obtenidos de acuerdo a la clasificación SUCS es:

Tabla 15

Clasificación del tipo de suelo según SUCS en las calicatas de estudio

N° Calicata	Muestra	Clasificación SUCS	Descripción del suelo
C1	M1	CL	Arcilla arenosa de baja plasticidad
C2	M1	CL	Arcilla arenosa de baja plasticidad
C3	M1	CL	Arcilla arenosa de baja plasticidad
C4	M1	ML	Limo arenoso de baja plasticidad
C5	M1	CL	Arcilla arenosa de baja plasticidad
C6	M1	ML	Limo arenoso de baja plasticidad
C7	M1	ML	Limo arenoso de baja plasticidad
C8	M1	ML	Limo arenoso de baja plasticidad

4.1.2. Resultados de la resistencia a la compresión inconfiada

Para la realización de este ensayo se siguen los pasos que se describieron en el capítulo III parte metodológica de este informe.

En la **muestra 01** de la **calicata 01** se tomaron los siguientes datos y se obtuvieron los siguientes cálculos:

Tabla 16

Datos y cálculos obtenidos de muestra 01 - Calicata 01 para Compresión inconfiada

Dimensiones de la Muestra (Tamaño de la Probeta ya Tallada)	
Diámetro promedio inicial (cm)	4.02
Altura promedio inicial (cm)	8.04
Relación Altura/Diámetro:	2.00050
Ok, Lado. Base, Lo \geq35 mm. (1.4")	
Ok, Cumple con la Relación Ho/Lo \geq2	
Área inicial promedio (cm ²):	12.69234848
Volumen, V _o (cm ³):	102.07186647
Determinación del Contenido de Agua	
Peso Suelo Húmedo + Cazuela:	320.38
Peso Suelo Seco + Cazuela:	281.35
Peso de la Cazuela:	40.00
Peso del Suelo Seco:	241.35
Peso del Agua:	39.03
% de Humedad:	16.2 %
Pesos Unitarios	
Peso Unit. Húmedo, γ [ton/m ³]:	2.747
Peso Unit. Seco, γ_d [ton/m ³]:	2.365

En el cuadro se observa que la muestra cumple con la relación altura – diámetro mayor a 2, que es un parámetro necesario para la realización de este ensayo; así como también se calculó el contenido de humedad y su peso unitario tanto para la muestra humedad para la muestra seca.

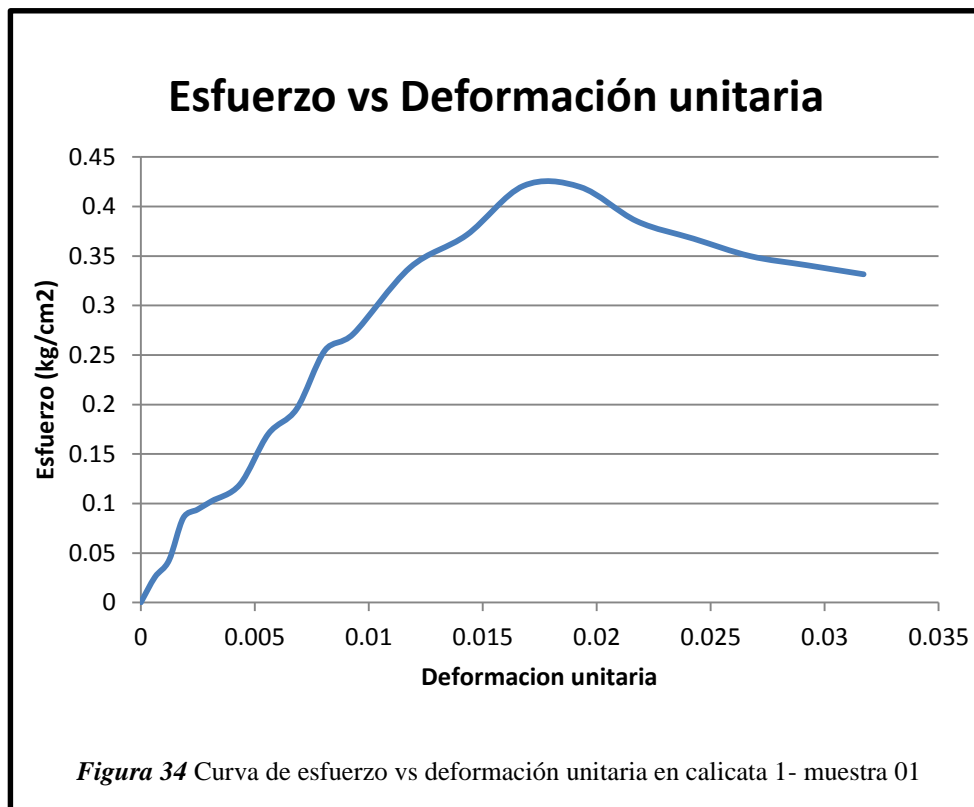
Para poder calcular la resistencia a la compresión inconfiada la muestra ya tallada se sometió a la máquina de carga axial; los datos calculados para esta muestra en la calicata 01 se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 17*Ensayo de compresión inconfiada en muestra 01 – calicata 01*

ENSAYO DE COMPRESIÓN INCONFINADA EN SUELOS COHESIVOS							
TIEMPO	MICROMETRO DE CARGA	CARGA AXIAL (KG)	DIAL DE DEFORMACION	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO (KG/CM2)
0'00"	0.000	0	0	0	0	0	0
15"	0.003	0.325920	0.005	0.005	0.000621736	12.7002447	0.025662498
30"	0.005	0.543200	0.005	0.010	0.001243472	12.7081507	0.042744221
45"	0.010	1.086400	0.005	0.015	0.001865208	12.7160666	0.085435224
1' 00"	0.011	1.195040	0.005	0.020	0.002486944	12.7239923	0.093920208
1' 15"	0.012	1.303680	0.005	0.025	0.003108679	12.731928	0.102394547
1' 30"	0.014	1.520960	0.010	0.035	0.004352151	12.747829	0.119311296
1' 45"	0.020	2.172800	0.010	0.045	0.005595623	12.7637697	0.17023184
2' 00"	0.023	2.498720	0.010	0.055	0.006839095	12.7797504	0.195521815
2' 15"	0.030	3.259200	0.010	0.065	0.008082567	12.7957712	0.254709151
2' 30"	0.032	3.476480	0.010	0.075	0.009326038	12.8118321	0.271349169
2' 45"	0.040	4.345600	0.020	0.095	0.011812982	12.8440753	0.338334983
3' 00"	0.044	4.780160	0.020	0.115	0.014299925	12.8764812	0.371231855
3' 15"	0.050	5.432000	0.020	0.135	0.016786869	12.909051	0.420790032
3' 30"	0.050	5.432000	0.020	0.155	0.019273812	12.941786	0.419725684
3' 45"	0.046	4.997440	0.020	0.175	0.021760756	12.9746875	0.385168429
4' 00"	0.044	4.780160	0.020	0.195	0.024247700	13.0077567	0.367485349
4' 15"	0.042	4.562880	0.020	0.215	0.026734643	13.0409948	0.349887417
4' 30"	0.041	4.454240	0.020	0.235	0.029221587	13.0744033	0.340683999
4' 45"	0.040	4.345600	0.020	0.255	0.031708530	13.1079834	0.331523155

Para este ensayo se contó con los siguientes datos: constante del anillo de carga (factor $k = 108.64$), dial de deformación y el tiempo que para la toma de datos es cada 15 segundos. Los otros datos se calcularon con las formulas especificadas en el capítulo III de este informe.

La muestra inalterada tomada de esta calicata nos dio una resistencia a la compresión inconfiada de 0.42 kg/cm^2 que es el valor máximo que resulta de la división entre la carga axial y el área corregida, lo cual se comprueba visiblemente con ayuda de la siguiente curva (esfuerzo vs deformación unitaria):



Con el valor obtenido de la resistencia a la compresión inconfiada en la calicata 01 que es de 0.42 kg/cm² se puede determinar también el tipo de consistencia del suelo con ayuda de la siguiente tabla:

Tabla 18

Tipo de consistencia del suelo con respecto a la compresión inconfiada.

Consistencia del suelo	Resistencia a la Compresión no confinada	
	kg/cm ²	(kPa)
Muy blanda	< 0.25	(< 25)
Blanda	0.25-0.50	(25- 50)
Mediana	0.50-1.00	(50-100)
Firme	1.00-2.00	(100-200)
Muy firme	2.00-4.00	(200-400)
Dura	> 4.00	(> 400)

Fuente: (MTC, 2009)

Por lo tanto, se puede decir que la calicata 01 a 0.70 de profundidad presenta un suelo de consistencia blanda.

Para las muestras de las siguientes calicatas se siguió con el mismo procedimiento de cálculo (cálculos, y curvas), estos resultados se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 19

Cuadro de resumen de cálculos del ensayo de compresión inconfiada

N° Calicata	Muestra	Resistencia a la compresión inconfiada (kg/cm2)	Consistencia del suelo	Contenido de Humedad (%)
C1	M1	0.42	Blanda	16.20
C2	M1	0.45	Blanda	13.30
C3	M1	0.51	Mediana	8.30
C4	M1	0.54	Mediana	10.00
C5	M1	0.40	Blanda	8.70
C6	M1	0.54	Mediana	8.74
C7	M1	0.59	Mediana	7.30
C8	M1	0.42	Blanda	7.26

Fuente: propia

De acuerdo a lo observado en la tabla 19, observamos que el contenido de humedad no es un parámetro tan influyente en cuanto al tipo de consistencia del suelo ya que por ejemplo en la calicata 1 muestra un contenido de humedad 16.20 % y presenta una consistencia del suelo blanda, y la calicata 8 que cuenta con un contenido de humedad de 7.26 % presenta de igual manera una consistencia de suelo blanda.

4.1.3. Resultados del valor de soporte de california (CBR) con muestras inalteradas en suelos cohesivos.

Este ensayo se aplicó a muestras inalteradas las cuales fueron obtenidas de cada una de las calicatas a una profundidad de entre 0.70 a 0.80 m, los pasos para este ensayo se detallaron el capítulo III de este informe.

Para la **muestra 01** de la **calicata 01** se inició primero desparafinando ambas caras del molde de CBR, luego al momento de enrasar se obtuvo dos muestras de suelo de ambas caras para poder determinar el contenido de humedad de la muestra inalterada en estado natural, esto mismo se realizó luego para la muestra ya saturada y en ensayada por penetración, la cual estuvo sumergido 4 días.

Los datos y cálculos realizados con la muestra 01 de la calicata se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 20

Datos cálculos y obtenidos de la muestra 01 – calicata 01, en estado natural y saturado

Nº Molde	A			
	Estado Natural		Saturado	
Peso molde + Suelo húmedo	10946		11098	
Peso de molde (g)	7950		7950	
Peso del suelo húmedo (g)	2996		3148	
Volumen del molde (cc)	2098		2098	
Densidad húmeda (g/cc)	1.428		1.500	
% de humedad	13.33		20.80	
Densidad seca (g/cc)	1.260		1.242	
CONTENIDO DE HUMEDAD				
Tarro Nº	-	-	-	-
Tarro + Suelo húmedo (gr.)	467	430	315	392
Tarro + Suelo seco (gr.)	424	388	263	338
Peso del Agua (gr.)	43	42	52	54
Peso del tarro (gr.)	96	75	38	45
Peso del suelo seco (gr.)	328	313	225	293
% de humedad	13	13	23	18
Promedio de Humedad (%)	13.33		20.80	

Una vez obtenidos estos datos de la muestra en estado natural, se procedió a realizar la penetración de la misma; esto mismo se realizó para la muestra ya saturada, la cual estuvo sumergida por 4 días, en los cuales se tomó los datos expansión midiendo diariamente con el deformímetro.

En la siguiente tabla se puede observar el ensayo de penetración de la muestra tanto en estado natural como saturada.

Tabla 21

Penetración de muestra 01 - calicata 01 en estado natural y saturado

PENETRACIÓN											
PENETRACIÓN		TIEMPO	CARGA STAND.	MOLDE A / ESTADO NATURAL				MOLDE A / ESTADO SATURADO			
				CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN	
mm.	pulg.		Lbs/pulg2	Lect. Dial	Lbs/pulg2	Lbs/pulg2	%	Lect. Dial	Lbs/pulg2	Lbs/pulg2	%
0.000	0.000	0'00"		0	0			0	0		
0.640	0.025	0'30"		11	11			28	7		
1.270	0.050	1'00"		15	14			34	8		
1.910	0.075	1'30"		21	19			41	10		
2.540	0.100	2'00"	1000	24	22	15.9	1.6	47	11	7.6	0.8
3.180	0.125	2'30"		27	24			52	13		
3.810	0.150	3'00"		29	26			56	13		
4.450	0.175	3'30"		32	29			59	14		
5.080	0.200	4'00"	1500	34	30	28.5	1.9	62	15	13.6	0.9
7.620	0.300	6'00"		43	38			75	18		
10.160	0.400	8'00"		48	42			81	19		
12.700	0.500	10'00"		50	44			82	20		

En la tabla n° 22 se observa las lecturas de la expansión medida diariamente mientras la muestra se encuentra en saturación.

Tabla 22

Lecturas diarias de expansión de la muestra 01 en la calicata 01

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL (mm)	EXPANSIÓN	
				mm.	%
27/10/2016	12.48	0	0.12	0	0
28/10/2016	12.48	24	0.30	0.18	
29/10/2016	12.48	48	0.34	0.22	
30/10/2016	12.48	72	0.40	0.28	
31/10/2016	12.48	96	0.41	0.29	
			11.64	total	0.02

Con los datos obtenidos del ensayo de penetración se realizaron unas curvas de penetración vs cargas tanto para las muestras inalteradas en estado natural como para las saturadas, y esto observamos en las siguientes figuras:

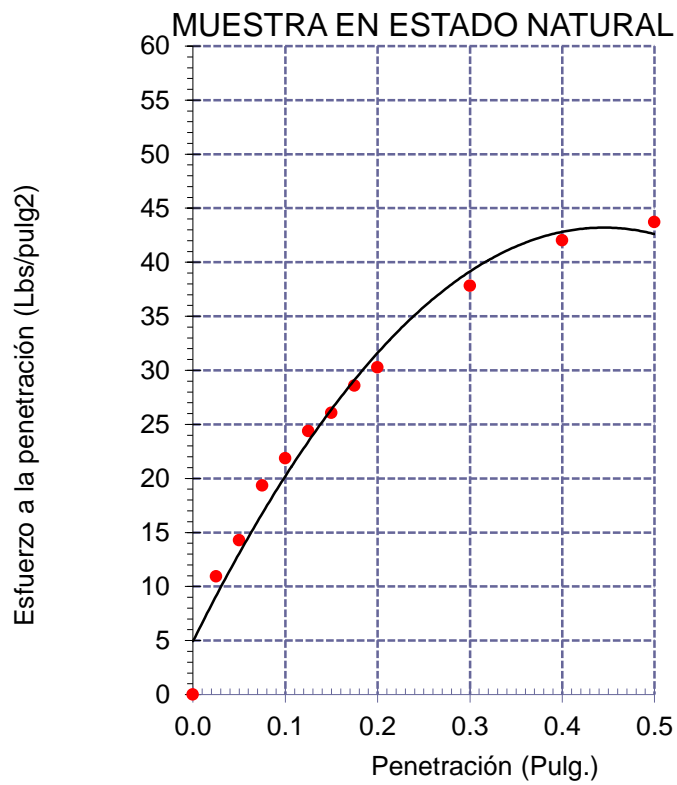


Figura 35 Gráfica de penetración vs carga en estado natural de la muestra 01 - calicata 01

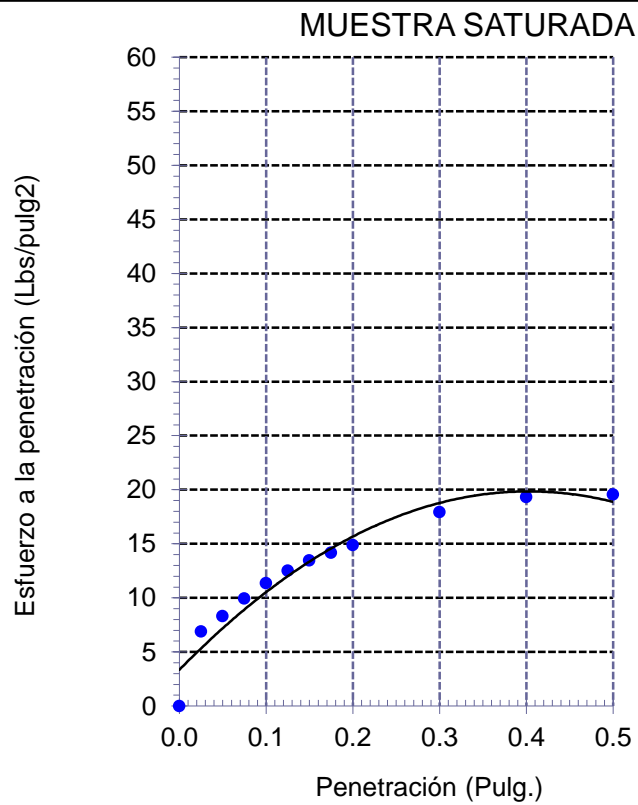


Figura 36 Gráfica de penetración vs carga en estado saturado de calicata 01 - muestra 01

Para las siguientes calicatas se realizaron los mismos pasos de cálculos que para la muestra 01 en la calicata 01 y se resumen en la siguiente tabla (n°23):

Tabla 23

Resumen de ensayo de CBR en muestras inalteradas en estado natural y saturado

RESUMEN DE ENSAYO CBR EN MUESTRAS INALTERADAS							
CALICATA - MUESTRA	Ensayo	Densidad Humeda (g/cm3)	Densidad Seca (g/cm3)	Humedad (%)	Expansión (%)	CBR a la penetración (Pulg)	CBR (%)
Calicata 01 - M 01	Estado Natural	1.428	1.260	13.33	---	0.1"	1.6
						0.2"	1.9
	Saturada	1.500	1.242	20.80	0.02	0.1"	0.8
						0.2"	0.9
Calicata 01 - M 02	Estado Natural	2.058	1.721	19.62	---	0.1"	1.9
						0.2"	2.1
	Saturada	2.104	1.747	20.44	0.03	0.1"	0.8
						0.2"	1.0
Calicata 01 - M 03	Estado Natural	2.029	1.784	13.71	---	0.1"	2.3
						0.2"	2.8
	Saturada	2.102	1.711	22.85	0.03	0.1"	0.8
						0.2"	1.0
Calicata 01 - M 04	Estado Natural	1.948	1.687	15.47	---	0.1"	2.4
						0.2"	2.7
	Saturada	2.139	1.718	24.49	0.04	0.1"	0.7
						0.2"	0.8
Calicata 01 - M 05	Estado Natural	2.079	1.766	17.67	---	0.1"	1.4
						0.2"	1.7
	Saturada	2.133	1.731	23.21	0.04	0.1"	0.8
						0.2"	1.0
Calicata 01 - M 06	Estado Natural	2.105	1.988	5.85	---	0.1"	1.9
						0.2"	2.2
	Saturada	2.183	1.707	27.86	0.02	0.1"	1.0
						0.2"	1.2
Calicata 01 - M 07	Estado Natural	1.868	1.471	26.99	---	0.1"	2.2
						0.2"	2.6
	Saturada	1.944	1.486	30.80	0.04	0.1"	0.9
						0.2"	1.0
Calicata 01 - M 08	Estado Natural	1.387	1.033	34.21	---	0.1"	1.5
						0.2"	1.7
	Saturada	1.391	0.941	47.79	0.03	0.1"	0.9
						0.2"	1.1

4.1.4. Cuadro de resumen de resultados

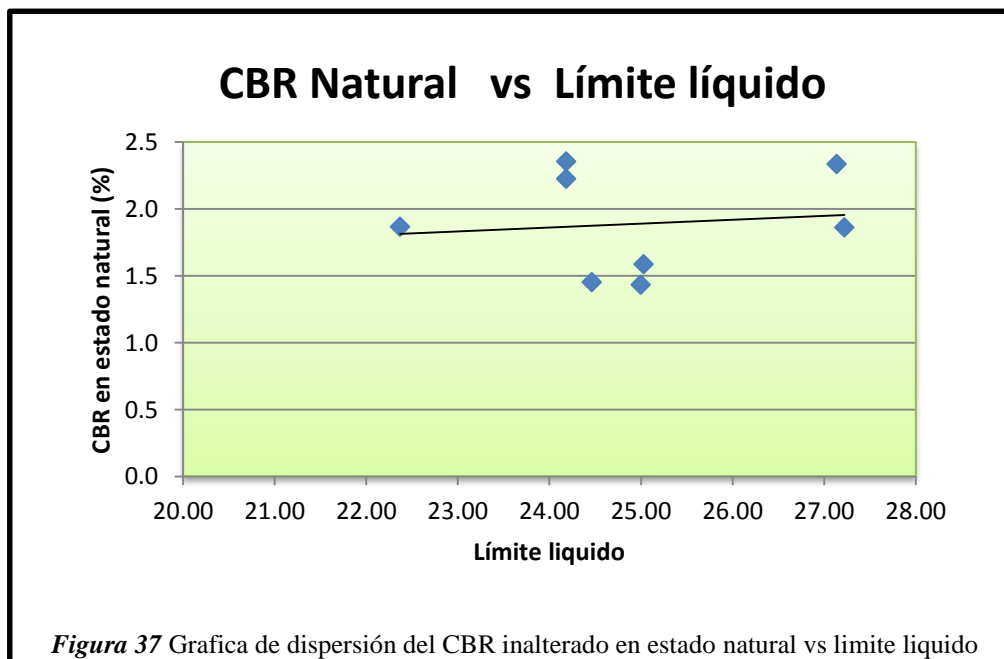
CALICATA	TIPO DE SUELO	CBR ESTADO NATURAL (%)	CBR ESTADO SATURADO (%)	COMPRESION INCONFINADA (KG/CM2)	LIMITE LIQUIDO	INDICE DE PLASTICIDAD
C1	CL	1.6	0.8	0.42	25.03	16.95
C2	CL	1.9	0.8	0.45	22.37	14.29
C3	CL	2.3	0.8	0.51	27.14	11.08
C4	ML	2.4	0.7	0.54	24.18	1.60
C5	CL	1.4	0.8	0.40	25.00	11.66
C6	ML	1.9	1.0	0.54	27.22	0.65
C7	ML	2.2	0.9	0.59	24.18	2.96
C8	ML	1.5	0.9	0.42	24.46	2.39

4.1.5. Análisis estadístico de las muestras.

4.1.5.1. Diagramas de dispersión

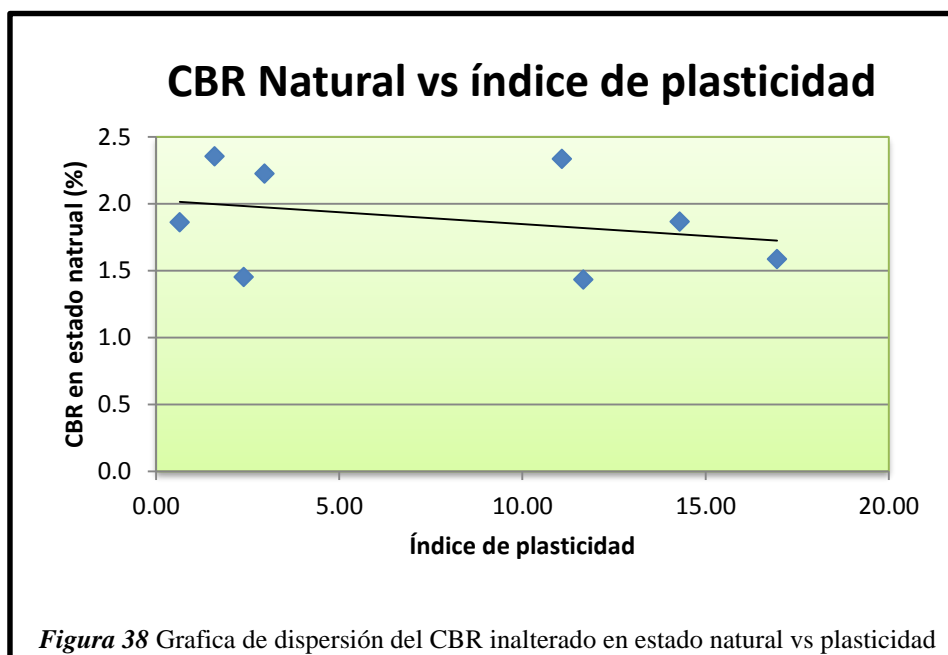
1. CBR natural

1.1. CBR natural vs límite líquido



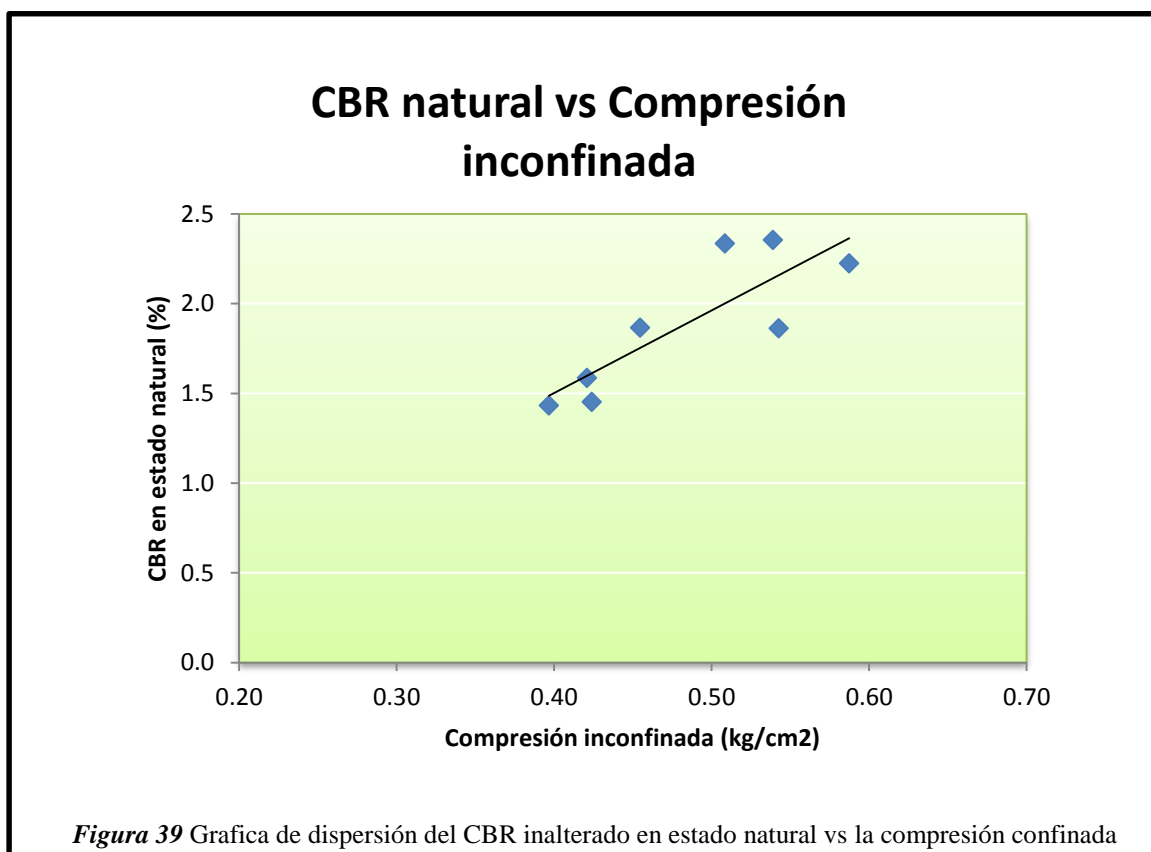
En esta figura observamos que los datos no presentan una tendencia lineal ni agrupada por tal motivo el límite líquido queda descartado como un parámetro para poder realizar la correlación.

1.2. CBR natural vs Índice de plasticidad



En esta figura observamos que los datos no presentan una tendencia lineal ni agrupada por tal motivo la plasticidad queda descartado como un parámetro para poder realizar la correlación.

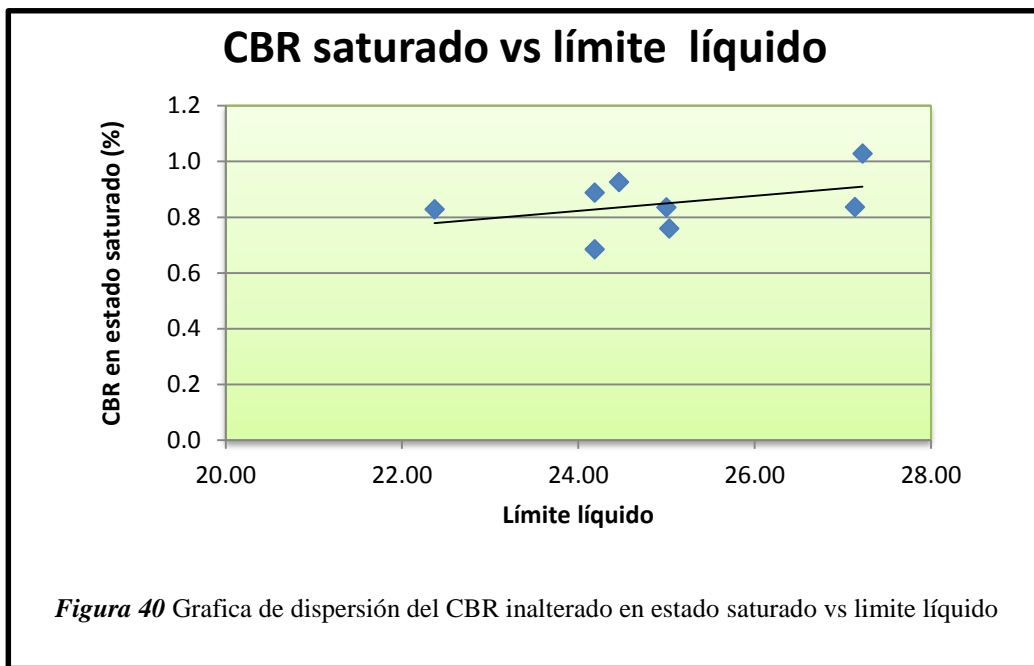
1.3. CBR natural vs Compresión inconfiada



En la figura 39 C.B.R en estado natural VS compresión inconfiada, se observa que la nube de puntos está mejor agrupada y aproximadamente sigue una tendencia de tipo lineal en comparación con los otros parámetros, por lo que resulta útil realizar un análisis más detallado para hallar alguna correlación entre la compresión inconfiada y el C.B.R en estado natural.

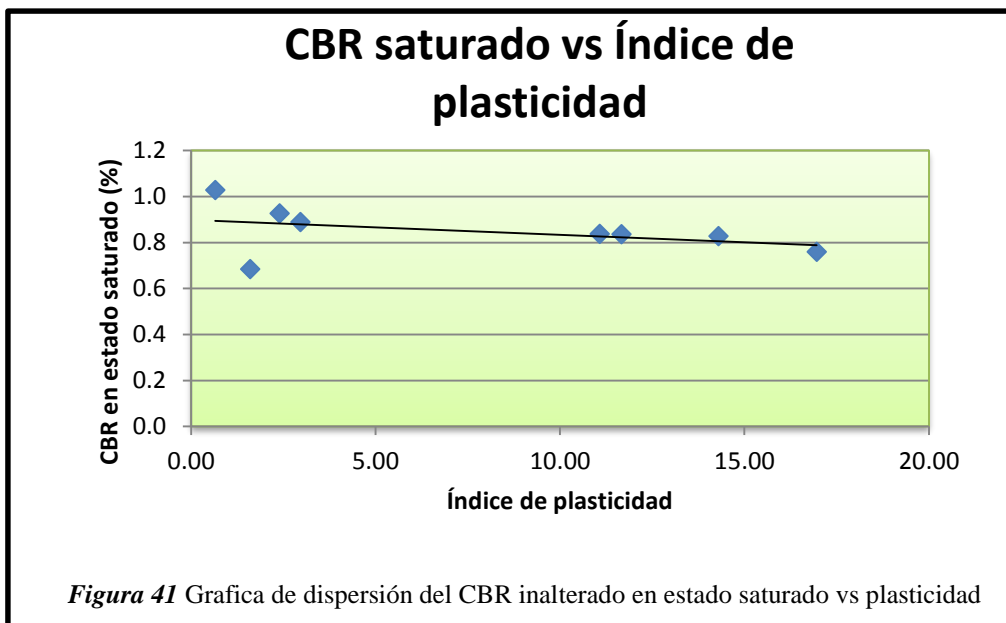
2. CBR saturado

2.1. CBR saturado vs límite líquido



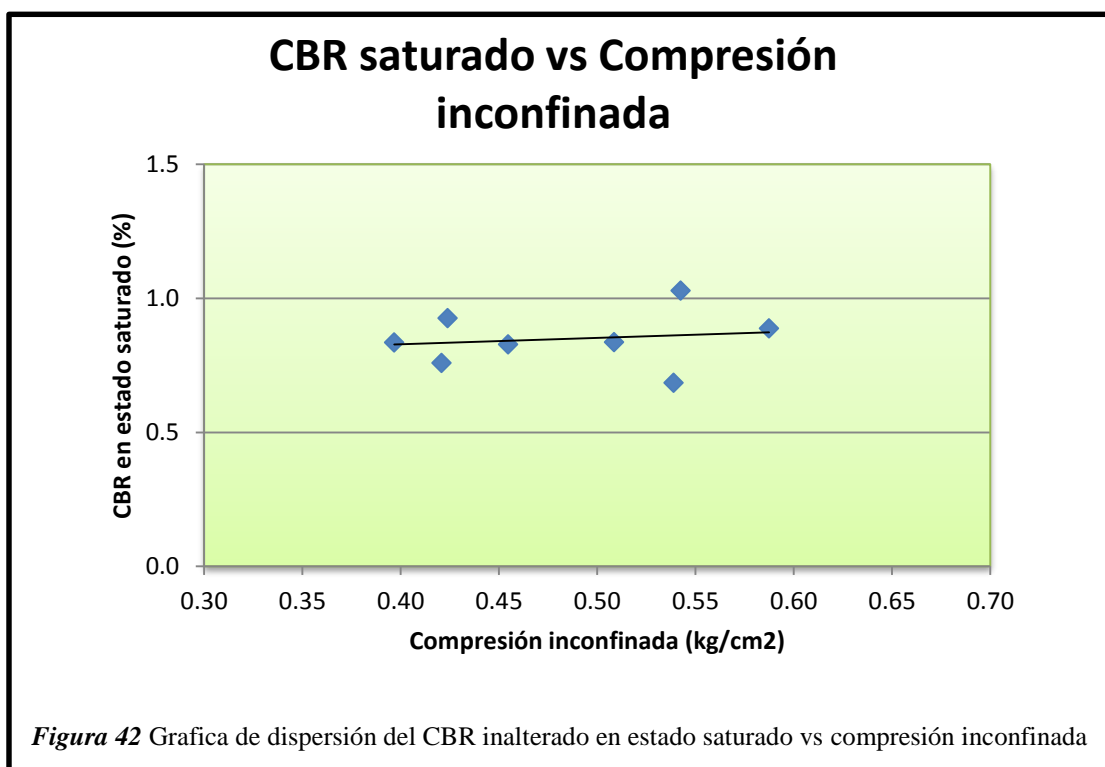
En esta figura de dispersión se aprecia que el CBR en estado saturado presenta una cierta tendencia lineal pero no muy agrupado con respecto al límite líquido por tal motivo se descarta como un parámetro para poder hacer su correlación.

2.2. CBR saturado vs Índice de plasticidad



En esta figura observamos que los datos no presentan una tendencia lineal ni agrupada por tal motivo la plasticidad queda descartado como un parámetro para poder realizar la correlación.

2.3. CBR saturado vs Compresión inconfiada



De la misma forma que para el C.B.R en estado natural, en la figura 40 el C.B.R saturado VS. Límite líquido y en la **figura 41** el C.B.R saturado vs. Índice de plasticidad se observa que la nube de puntos es muy dispersa no presenta ninguna tendencia que permita realizar algún tipo de análisis estadístico, por tal motivo se puede establecer que el C.B.R en estado saturado no presenta relación con el límite líquido y el índice de plasticidad; pero en la **figura 42** el C.B.R en estado saturado VS. Compresión inconfiada se puede observar que la nube de puntos sufre una leve dispersión pero sigue algún tipo de tendencia y puede ser analizada por algún método estadístico para determinar el grado de relación que presenta el C.B.R saturado con la compresión inconfiada.

4.1.5.2. Regresión lineal simple (MINITAB 17)

De lo observado en las gráficas de dispersión analizadas, se pudo establecer que la compresión inconfiada presenta cierta tendencia lineal con los valores de C.B.R natural y saturados; omitiendo el tipo suelo se procedió a hacer el análisis de regresión lineal simple.

1. Estadística de CBR natural vs. Compresión inconfiada

De las gráficas de dispersión se observó que hay una buena relación entre estas dos variables, por lo cual se plantea el siguiente modelo para el análisis estadístico:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \varepsilon$$

Ecuación 17 Modelo de regresión planteado para análisis estadístico-CBR natural

Dónde:

y = valor de CBR natural

x₁ = valor de la compresión inconfiada

B₀, B₁= coeficiente a estimar

ε = error

Para corroborar que este modelo planteado es adecuado o no, se hizo la comprobación a través de las siguientes graficas realizadas en el software Minitab 17, las cuales fueron: grafica de probabilidad normal de residuos, histograma de residuos, dispersión de residuos vs ajustes; estas graficas deben cumplir que tenga una distribución normal de residuos, linealidad entre respuesta y regresores, varianza constante para residuos, residuos con media cero.

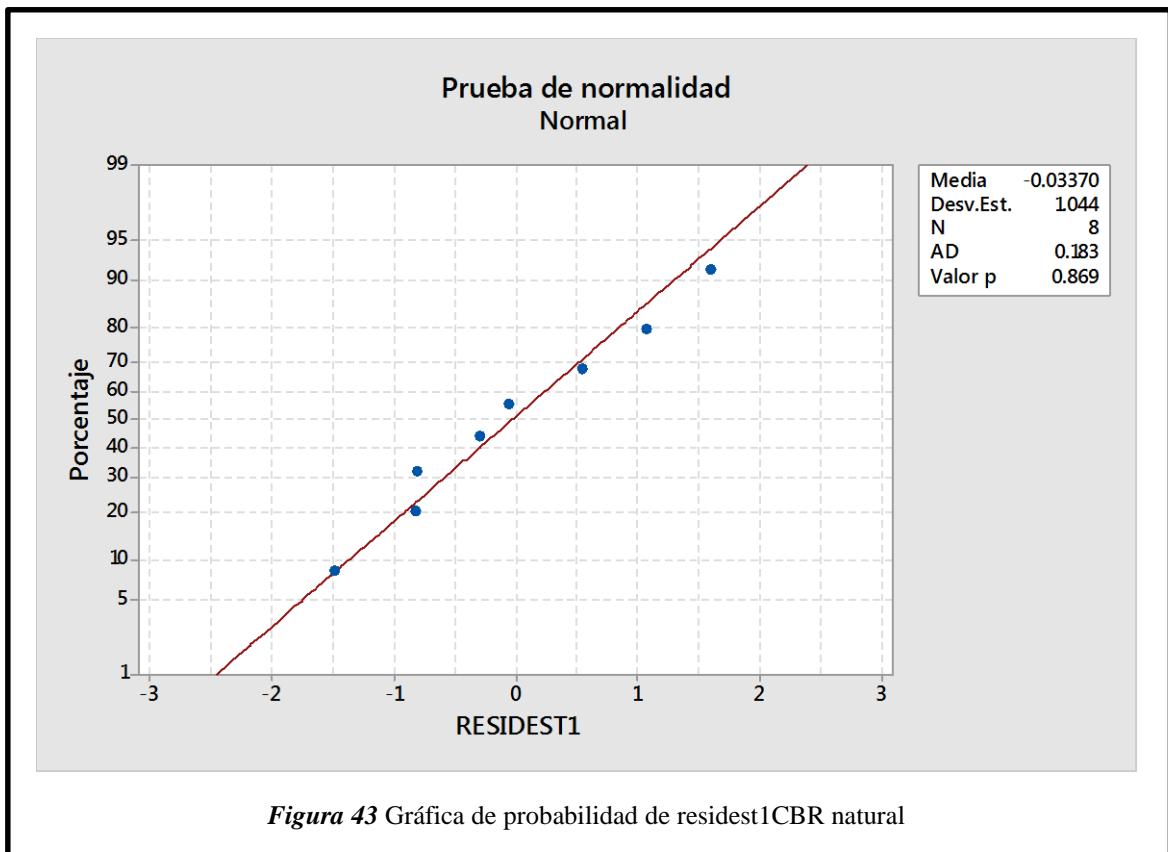
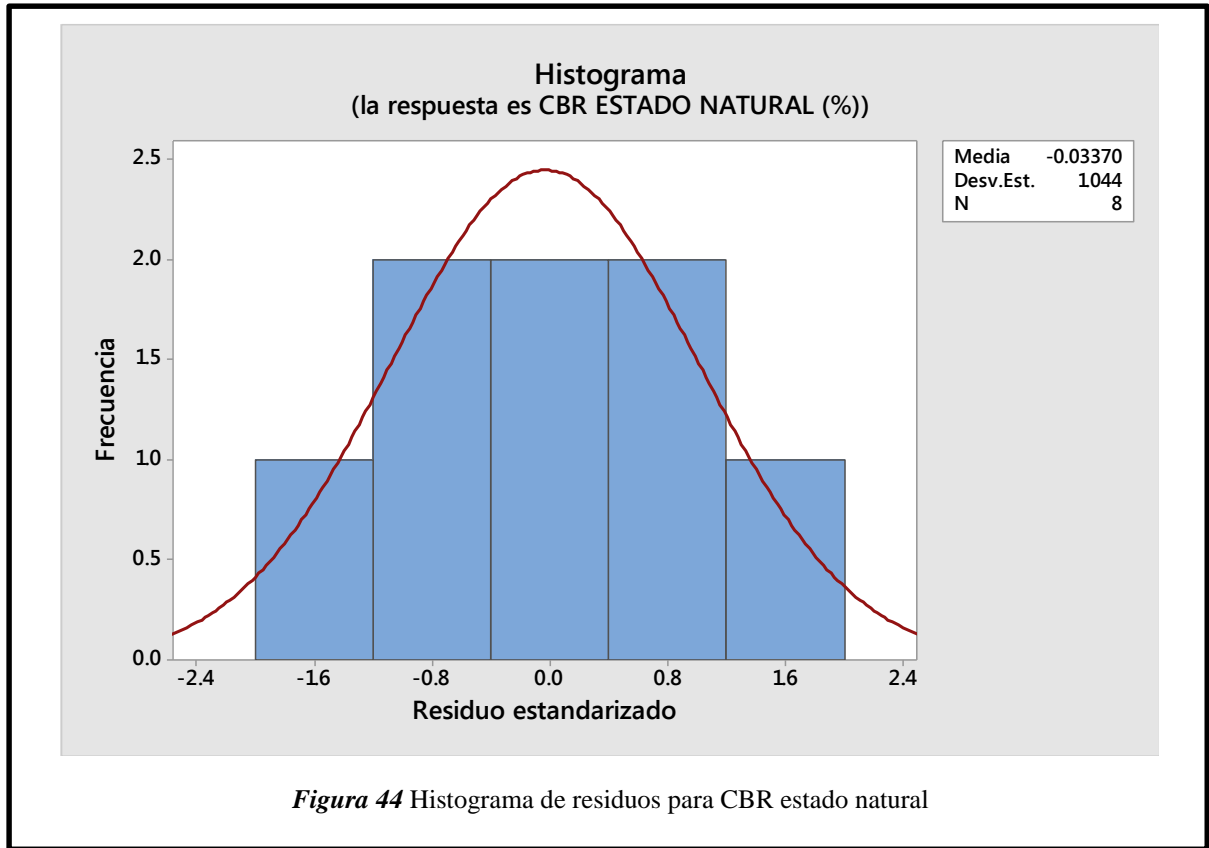
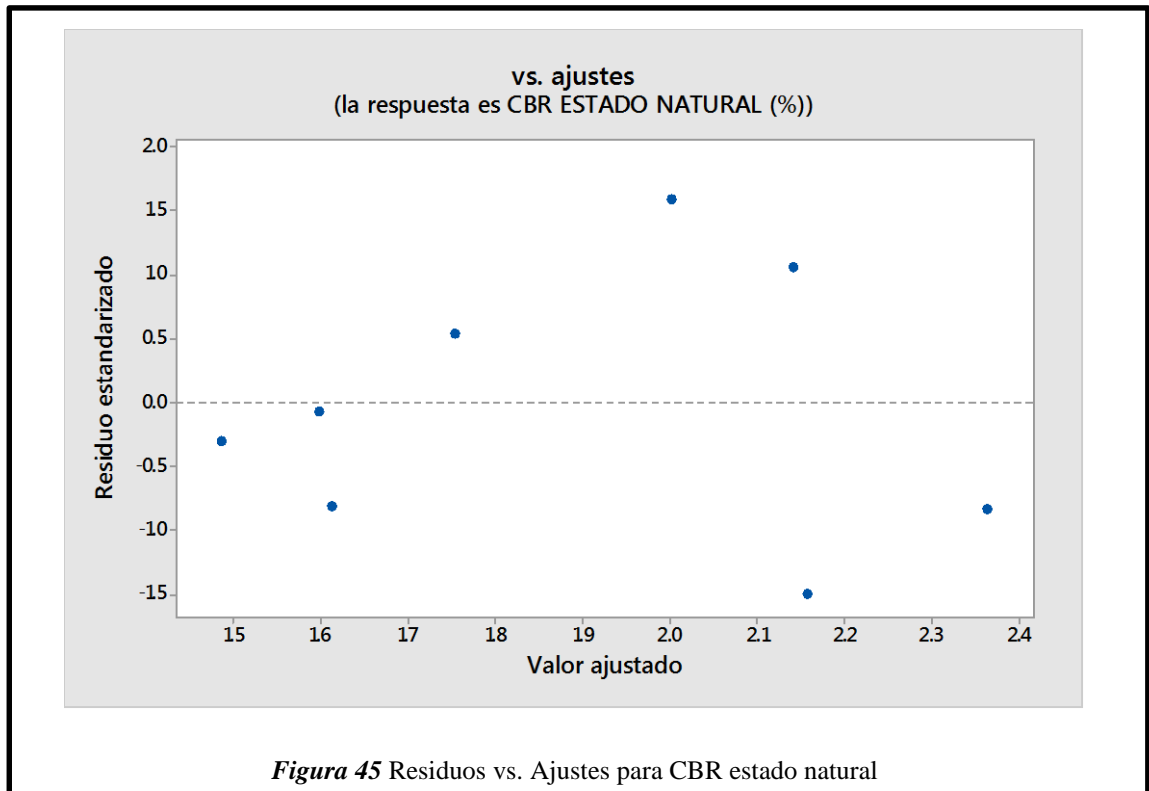


Figura 43 Gráfica de probabilidad de residest1CBR natural

De acuerdo a esta grafica de probabilidad de residuos el valor de $P = 0.869$, esto significa que como hipótesis nula los residuales tienen distribución normal (valor de $P = 0.869 > 0.05$)



El valor de su media es de -0.03370, es decir que se cumple que la media de los residuales es muy cercana a cero.



En la gráfica de dispersión de residuos VS ajustes ilustrada en la **Figura 45**, se puede determinar si no hay linealidad y si su varianza no es constante. Debido a que la gráfica muestra un cambio en la dispersión de la nube de puntos en forma de embudo abierto hacia afuera, el supuesto de varianza constante no se cumple, no hay homogeneidad en la distribución de la nube de puntos, por lo cual se debe realizar una transformación a la variable de respuesta para mejorar el modelo.

a. Transformación de CBR natural usando logaritmo

Realizando la transformación a los valores de C.B.R natural se plantea la siguiente ecuación

$$\text{Log}(y) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \varepsilon$$

Ecuación 18 Modelo de regresión planteado para análisis estadístico usando logaritmo- CBR natural

Dónde:

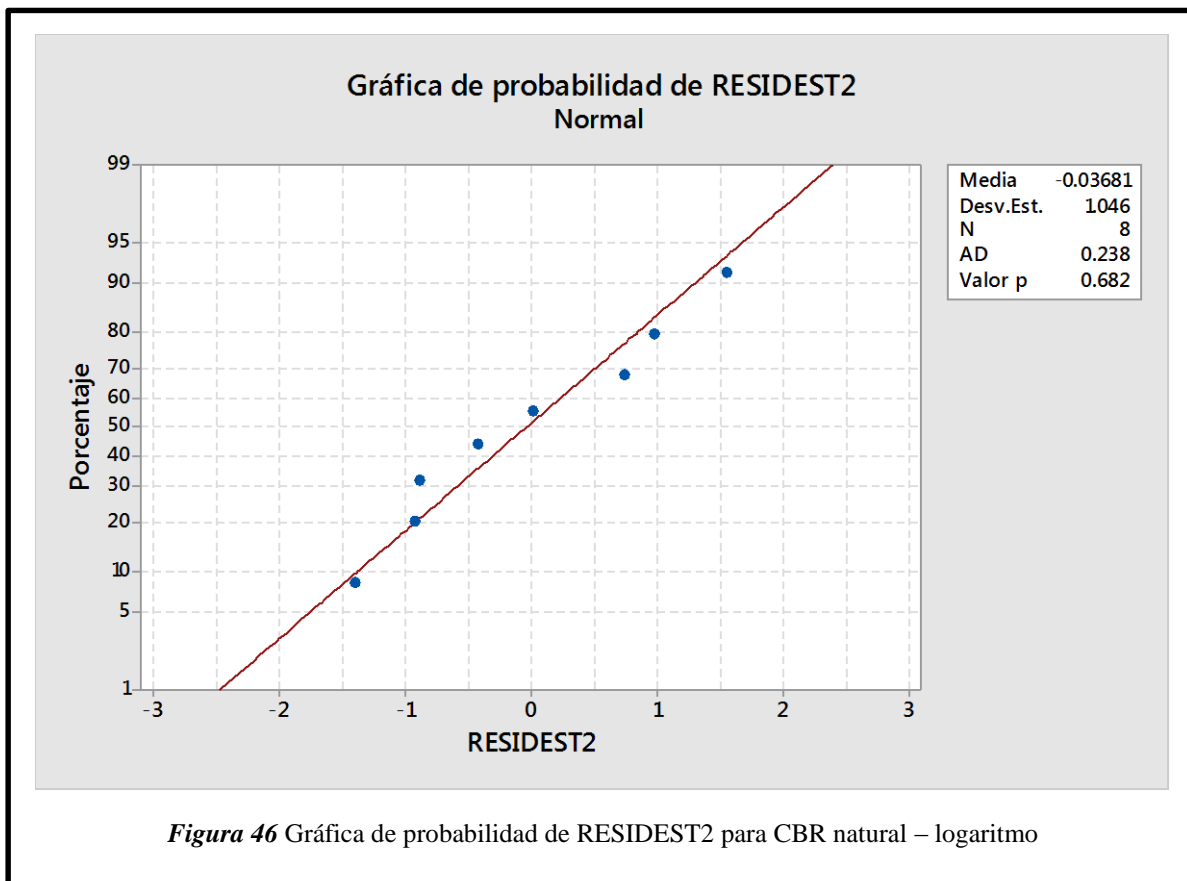
Log (y) = valor de CBR natural

x_1 = valor de la compresión inconfiada

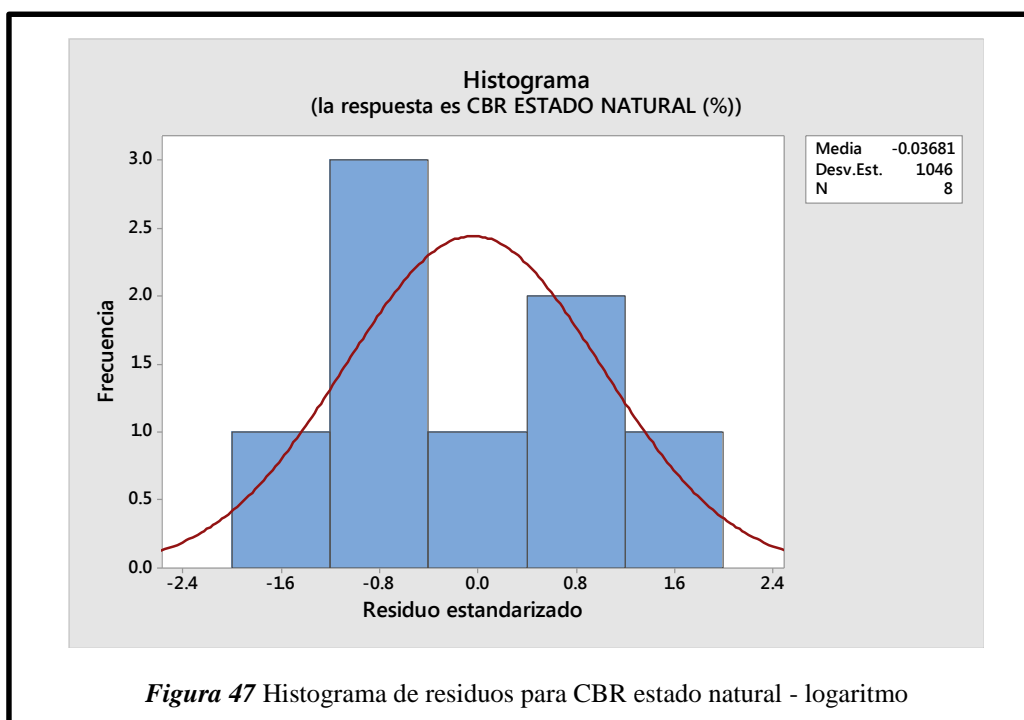
B_0, B_1 = coeficiente a estimar

ε = error

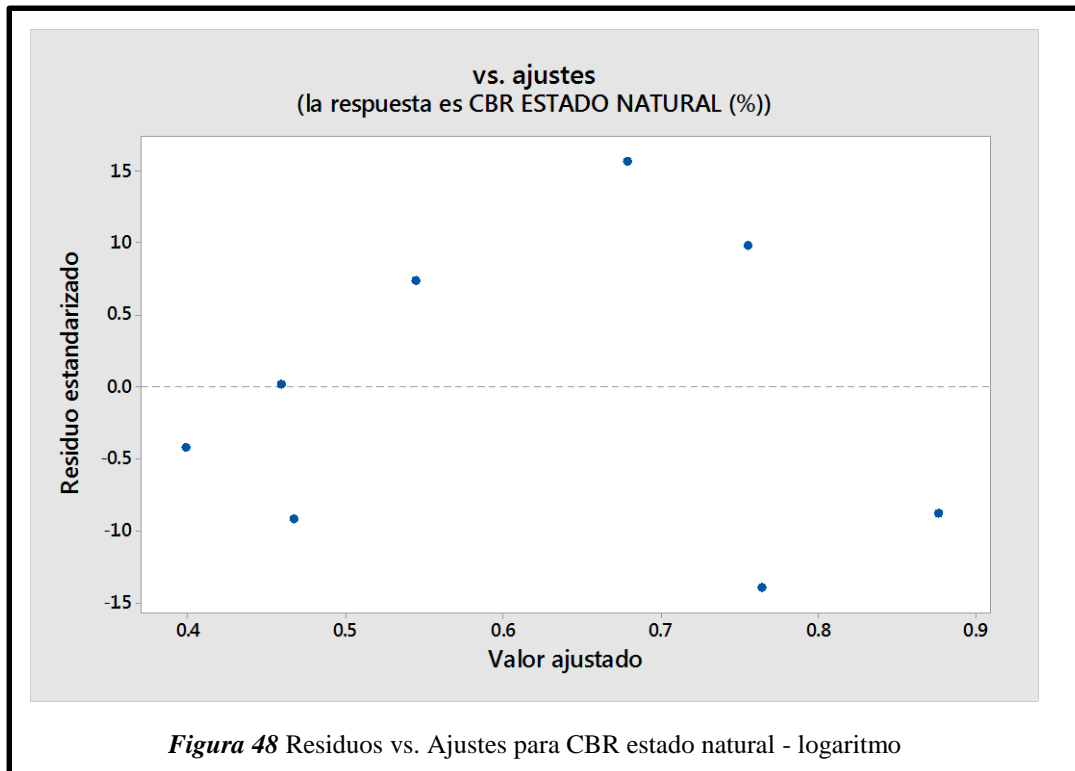
Para verificar este modelo propuesto es adecuado o no, se hizo la comprobación a través de las siguientes graficas realizadas en el software Minitab 17, las cuales fueron: grafica de probabilidad normal de residuos, histograma de residuos, dispersión de residuos vs ajustes; estas graficas deben cumplir que tenga una distribución normal de residuos, linealidad entre respuesta y regresores, varianza constante para residuos, residuos con media cero.



Según lo observado en la gráfica de probabilidad de residuos ilustrada en la Figura 46, para la transformación de los valores de C.B.R en estado natural por el logaritmo, se obtiene que el valor $P=0.682$, esto significa que como hipótesis nula los residuales tienen distribución normal (valor de $P=0.682 > 0.05$)



El histograma de residuos no tiene una distribución muy simétrica desde el centro de la campana hacia sus extremos; el valor de su media es de -0.03681 , es decir que se cumple que la media de los residuales es muy cercana a cero.



Analizando la gráfica de dispersión de residuos vs ajuste ilustrada en la figura 48, se puede apreciar que la nube de puntos no tiene una tendencia constante y homogénea, por lo cual el supuesto de varianza constante tampoco se cumple.

Dado que el supuesto de normalidad y varianza constante no se cumplen, se establece que la transformación de logaritmo usada, no es la adecuada para ajustar el modelo de regresión, por lo que se debe realizar un nuevo ajuste con otro tipo de transformación.

b. Transformación de CBR natural usando raíz cuadrada

Realizando la transformación a los valores de C.B.R natural se plantea la siguiente ecuación:

$$\sqrt{y} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \varepsilon$$

Ecuación 19 Modelo de regresión planteado para análisis estadístico usando raíz cuadrada – CBR natural

Dónde:

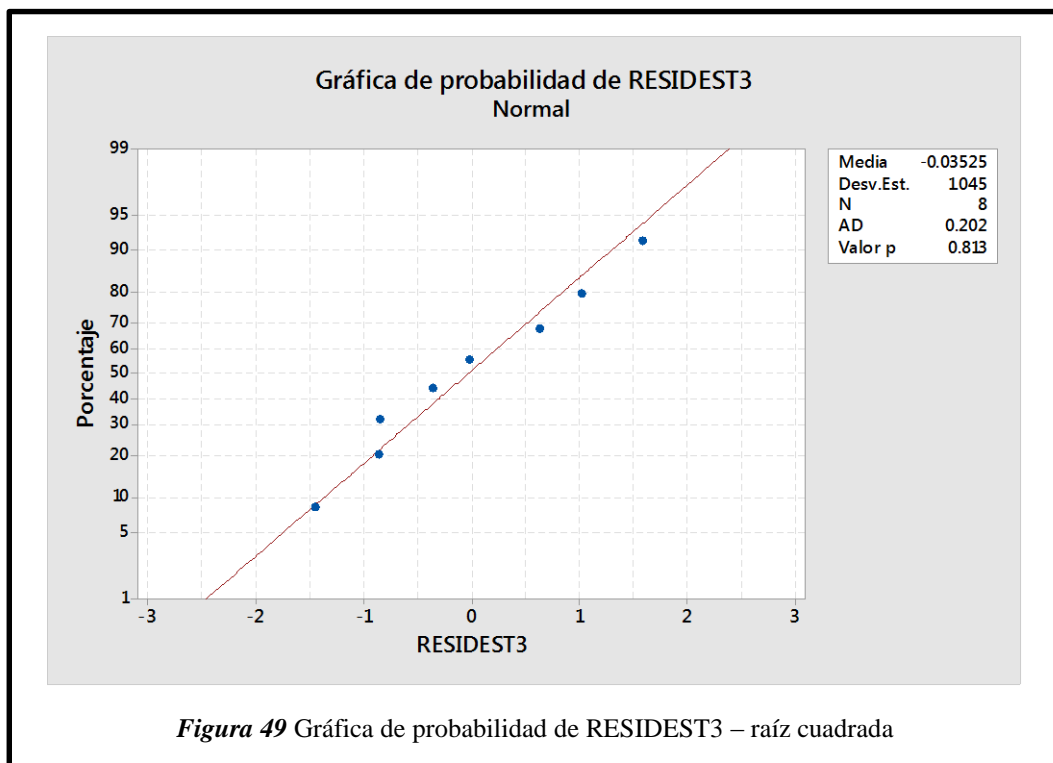
\sqrt{y} = valor de CBR natural

x_1 = valor de la compresión inconfiada

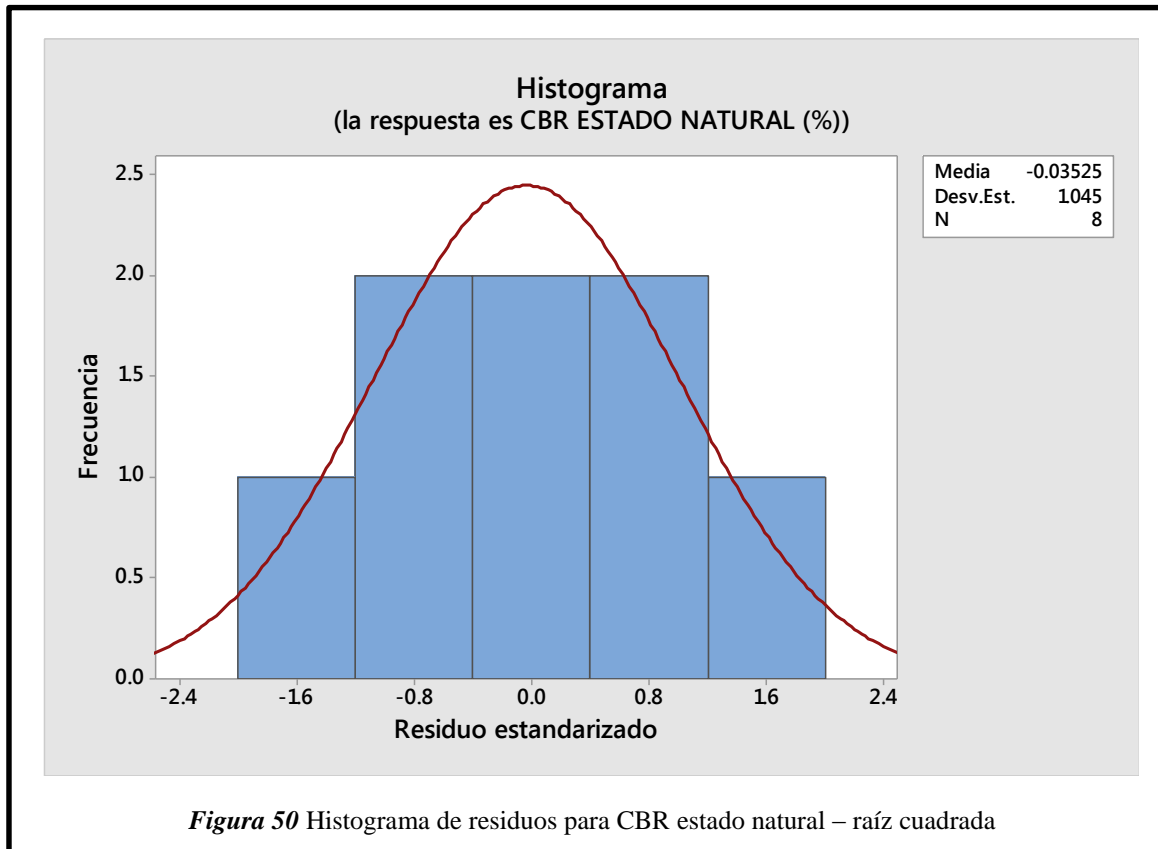
B_0, B_1 = coeficiente a estimar

ε = error

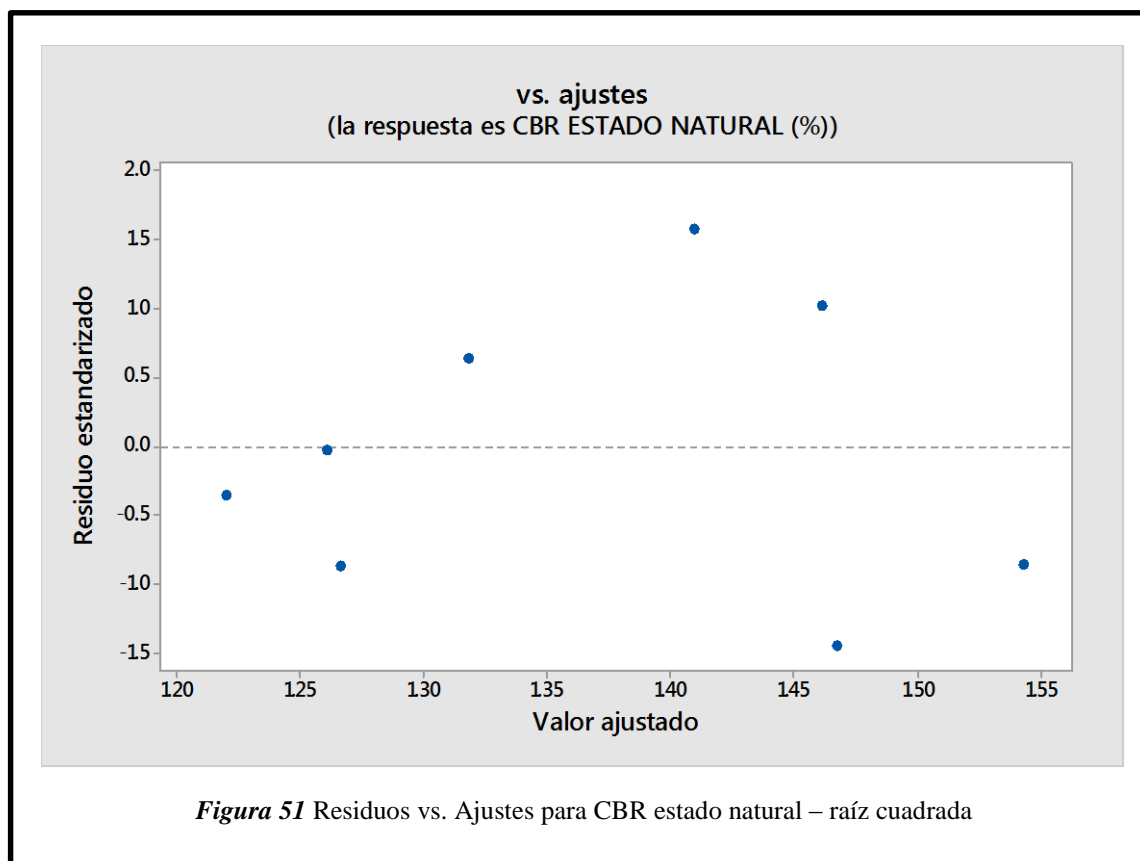
Para verificar este modelo propuesto es adecuado o no, se hizo la comprobación a través de las siguientes graficas realizadas en el software Minitab 17, las cuales fueron: grafica de probabilidad normal de residuos, histograma de residuos, dispersión de residuos vs ajustes; estas graficas deben cumplir que tenga una distribución normal de residuos, linealidad entre respuesta y regresores, varianza constante para residuos, residuos con media cero.



De la gráfica de probabilidad de residuos ilustrada en la Figura 49, se obtuvo que el valor $P= 0.813 > 0.05$, es decir que como hipótesis nula los residuales tienen distribución normal.



El histograma de residuos tiene una distribución muy simétrica desde el centro de la campana hacia sus extremos; el valor de su media es de -0.03525, es decir que se cumple que la media de los residuales es muy cercana a cero.



De la gráfica de dispersión de residuos VS ajustes, ilustrada en la Figura 51, se puede apreciar que la nube de puntos alrededor de cero, no presenta cambios en su dispersión, satisfaciendo así los supuestos de linealidad y varianza constante.

Lo anterior representa que el modelo realizado es apropiado, los resultados de dicho modelo se muestran en la siguiente tabla (n°24).

Tabla 24

Resultados del modelo raíz cuadra de CBR en estado natural vs compresión inconfínada

Análisis de regresión: RaizCBR en estado natural (%) vs. Compresión inconfínada (kg/cm2)				
La ecuación de regresión es				
RaizCBR Natural = 0.549 + 1.694 Comp. Inconfínada				
Término	Coef	EE del coef	Valor de T	Valor de P
Constante	0.549	0.214	2.56	0.043
Com. Inconfínada	1.694	0.439	3.86	0.008
Correlación de Pearson de RaizCBR natural y Compresión inconfínada = 0.838				
S = 0.0806531 R-cuad. = 71.31% R-cuad.(ajustado) = 66.52%				

Por lo tanto, se concluye que la ecuación que mejor permite estimar el valor del C.B.R natural a partir de la compresión inconfiada es:

$$CBR\ Natural\ (\%) = \left(0.549 + 1.694\ compresion\ inconfiada\ \frac{kg}{cm^2}\right)^2$$

Ecuación 20 Ecuación para determinar el CBR natural a partir de la compresión inconfiada

Con un coeficiente de correlación de 0.838.

2. Estadística de CBR saturado vs. Compresión inconfiada

Sabiendo que el C.B.R natural está correlacionado con la compresión inconfiada, también se procede a analizar si el C.B.R saturado vs compresión inconfiada tienen una correlación. Para ello se plantea la siguiente ecuación:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \varepsilon$$

Ecuación 21 Modelo de regresión planteado para análisis estadístico - CBR saturado

Dónde:

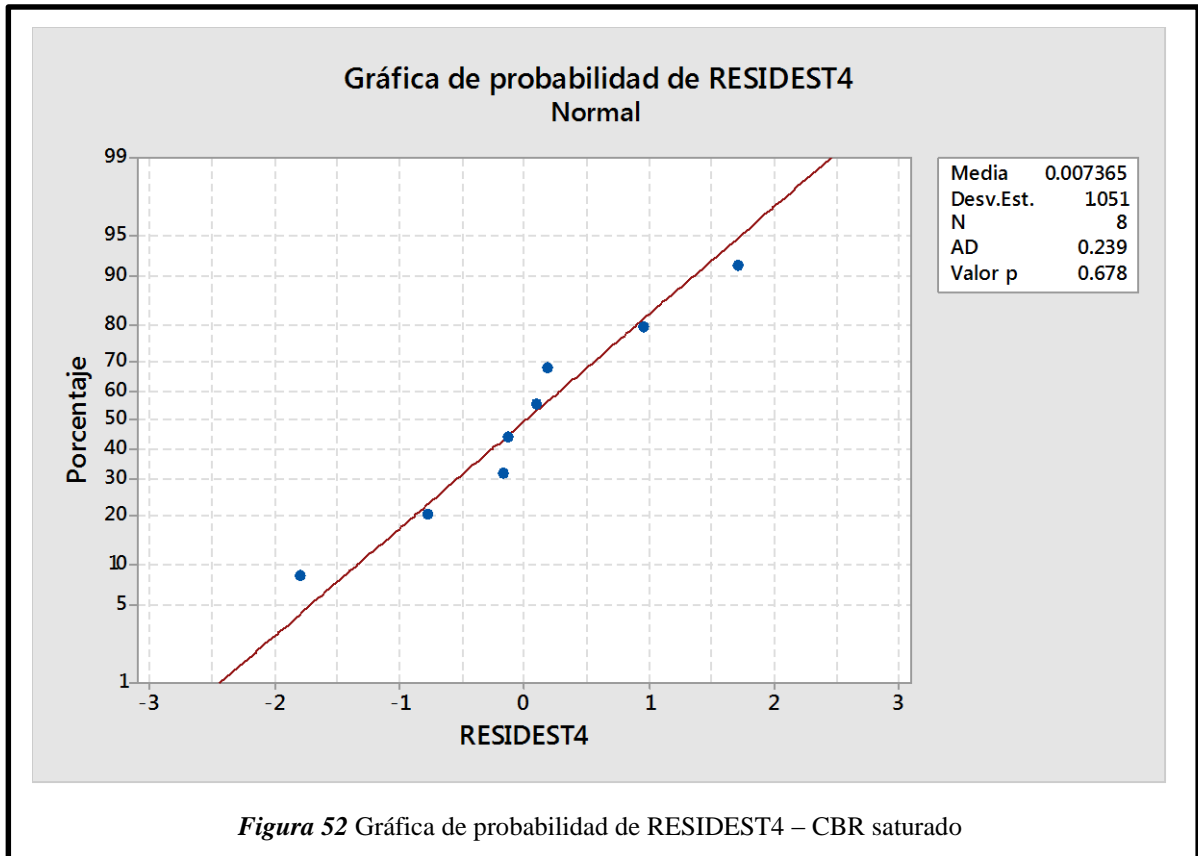
y = valor de CBR saturado

x₁ = valor de la compresión inconfiada

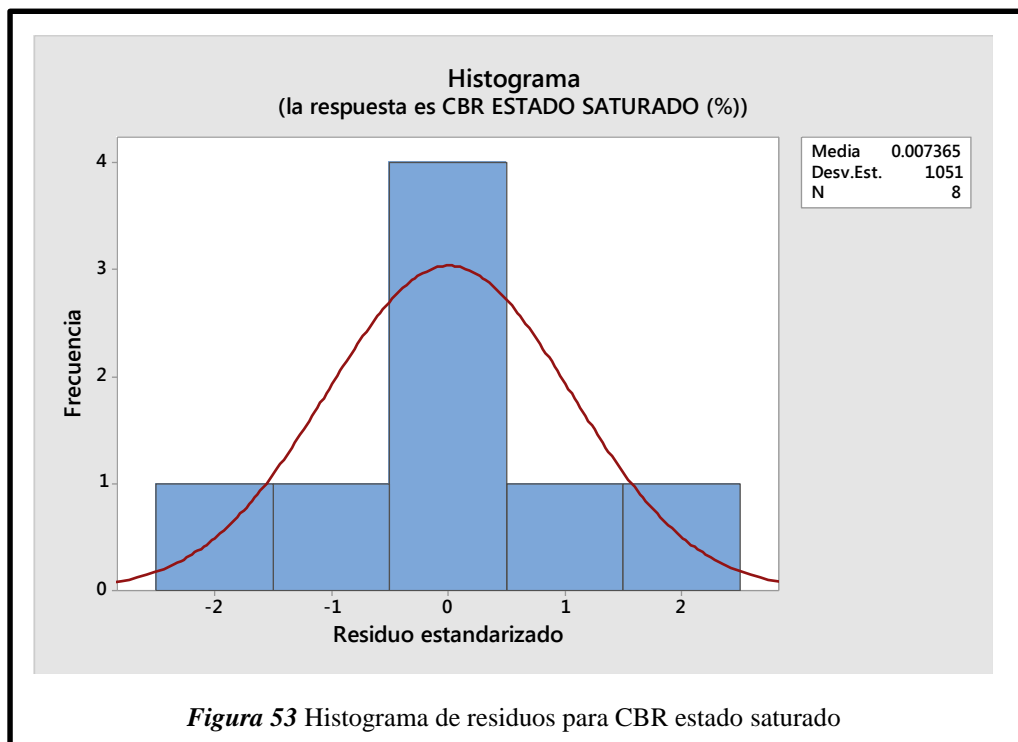
B₀, B₁= coeficiente a estimar

ε = error

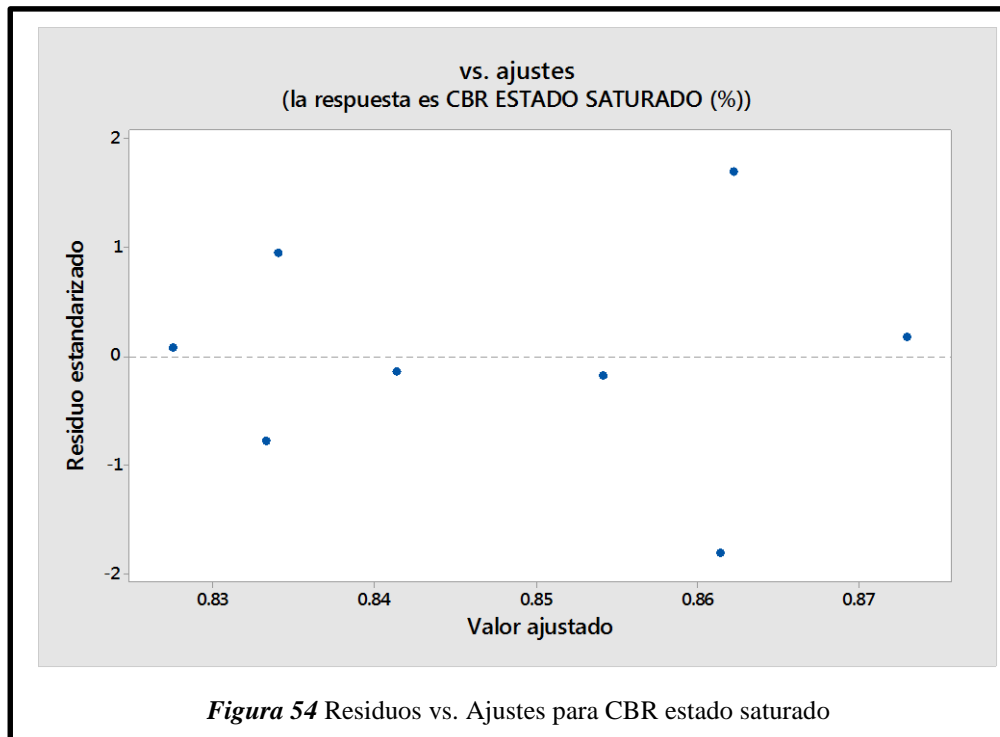
Para verificar este modelo propuesto es adecuado o no, se hizo la comprobación a través de las siguientes graficas realizadas en el software Minitab 17, las cuales fueron: grafica de probabilidad normal de residuos, histograma de residuos, dispersión de residuos vs ajustes; estas graficas deben cumplir que tenga una distribución normal de residuos, linealidad entre respuesta y regresores, varianza constante para residuos, residuos con media cero.



De la gráfica de probabilidad de residuos ilustrada en la Figura 4.18, se obtiene que el valor $P=0.678$, lo cual implica que ($\text{valor } P=0.678 > 0.05$) como hipótesis nula los residuales tienen distribución normal.



El valor de la media es 0.007365, cumpliendo que el valor de la media de los residuales es cercano a cero.



De la gráfica de dispersión de residuos vs ajustes, ilustrada en la Figura 54, se observa que hay cierta tendencia o cambio en la dispersión de la nube de puntos, por lo que el supuesto de varianza constante no se cumple.

Aunque el valor de la media es 0.007365, cumpliendo que el valor de la media de los residuales es cercano a cero, el modelo no es adecuado para explicar la relación del C.B.R saturado vs compresión inconfiada.

a. Transformación de CBR saturado usando logaritmo

Realizando la transformación a los valores de C.B.R natural se plantea la siguiente ecuación

$$\text{Log}(y) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \varepsilon$$

Ecuación 22 Modelo de regresión planteado para análisis estadístico usando logaritmo- CBR saturado

Dónde:

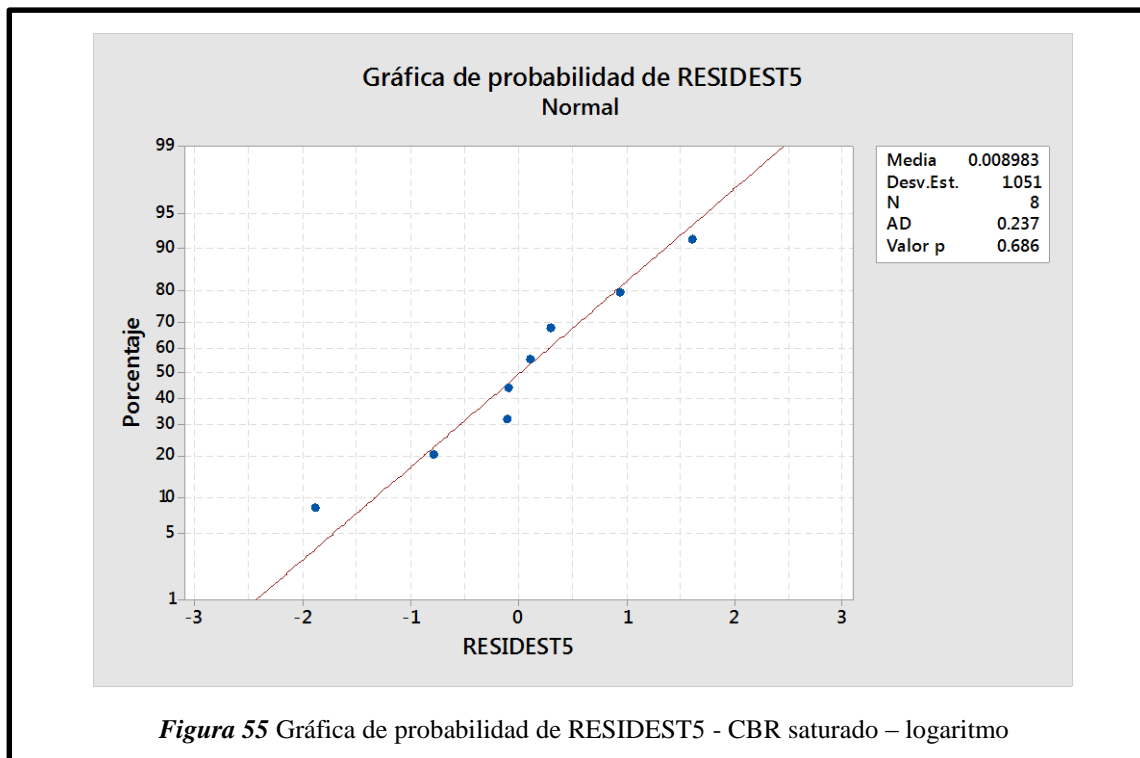
Log (y) = valor de CBR saturado

x₁ = valor de la compresión inconfiada

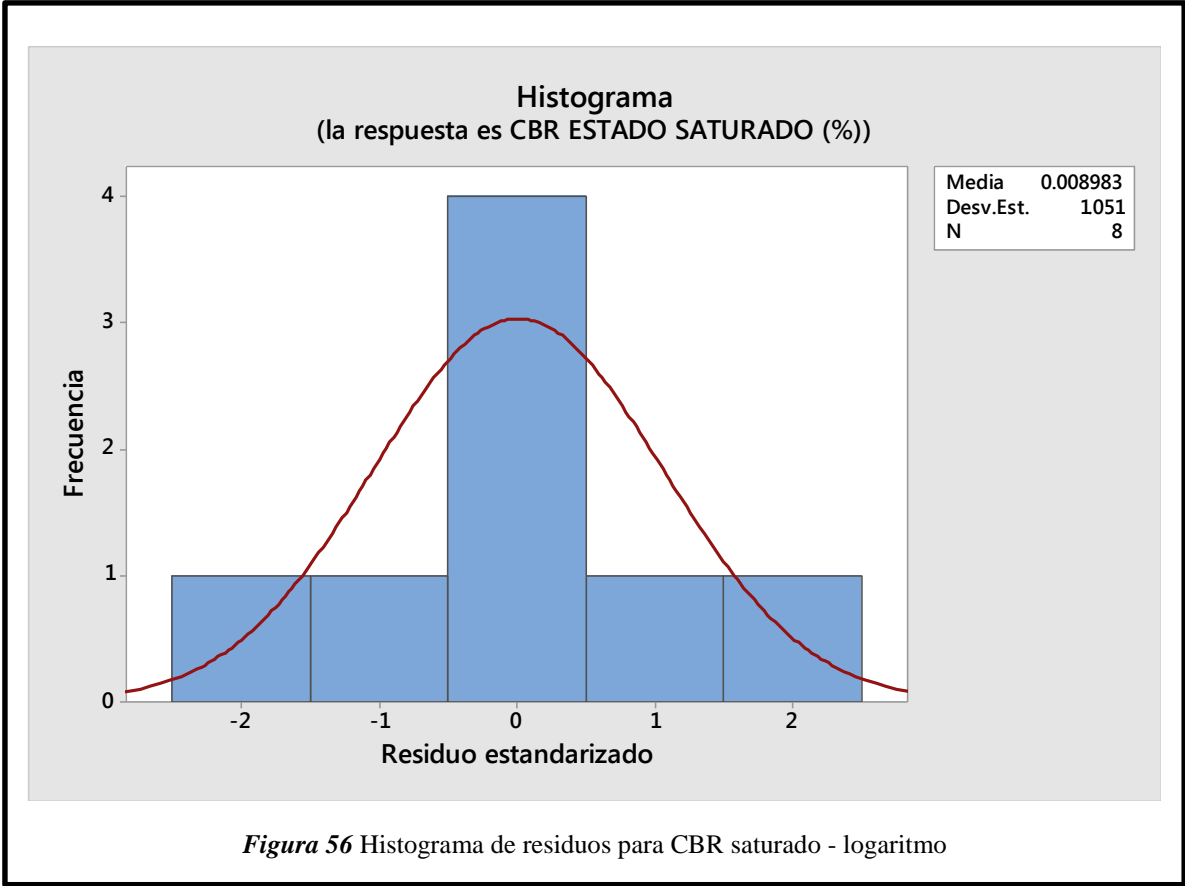
$B_0, B_1 =$ coeficiente a estimar

$\varepsilon =$ error

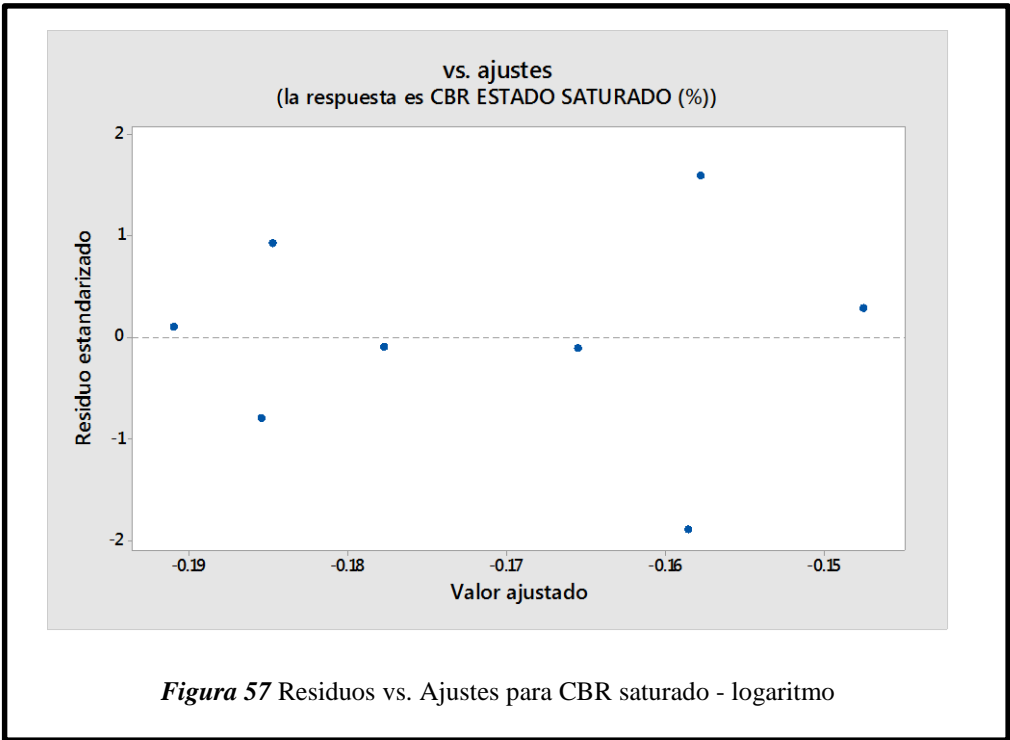
Para verificar este modelo propuesto es adecuado o no, se hizo la comprobación a través de las siguientes graficas realizadas en el software Minitab 17, las cuales fueron: grafica de probabilidad normal de residuos, histograma de residuos, dispersión de residuos vs ajustes; estas graficas deben cumplir que tenga una distribución normal de residuos, linealidad entre respuesta y regresores, varianza constante para residuos, residuos con media cero.



De la gráfica de probabilidad de residuos ilustrada en la Figura 55, se obtiene que el valor $P = 0.686$, por lo tanto, como hipótesis nula los residuales tienen distribución normal (valor $P = 0.686 > 0.05$).



El gráfico del histograma de residuos de la Figura 4.22 se acerca mucho a la campana de Gauss. El valor de la media es de 0.008983, cumpliendo así el supuesto de media cero para los residuos.



Sin embargo, la gráfica de dispersión de residuos vs ajustes ilustrada en la Figura 57, se observa que la nube de puntos presenta cierta dispersión en forma de embudo, por lo cual el supuesto de varianza constante no se cumple.

b. Transformación de CBR saturado usando raíz cuadrada

Realizando la transformación a los valores de C.B.R natural se plantea la siguiente ecuación:

$$\sqrt{y} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \varepsilon$$

Ecuación 23 Modelo de regresión planteado para análisis estadístico usando raíz cuadrada – CBR saturado

Dónde:

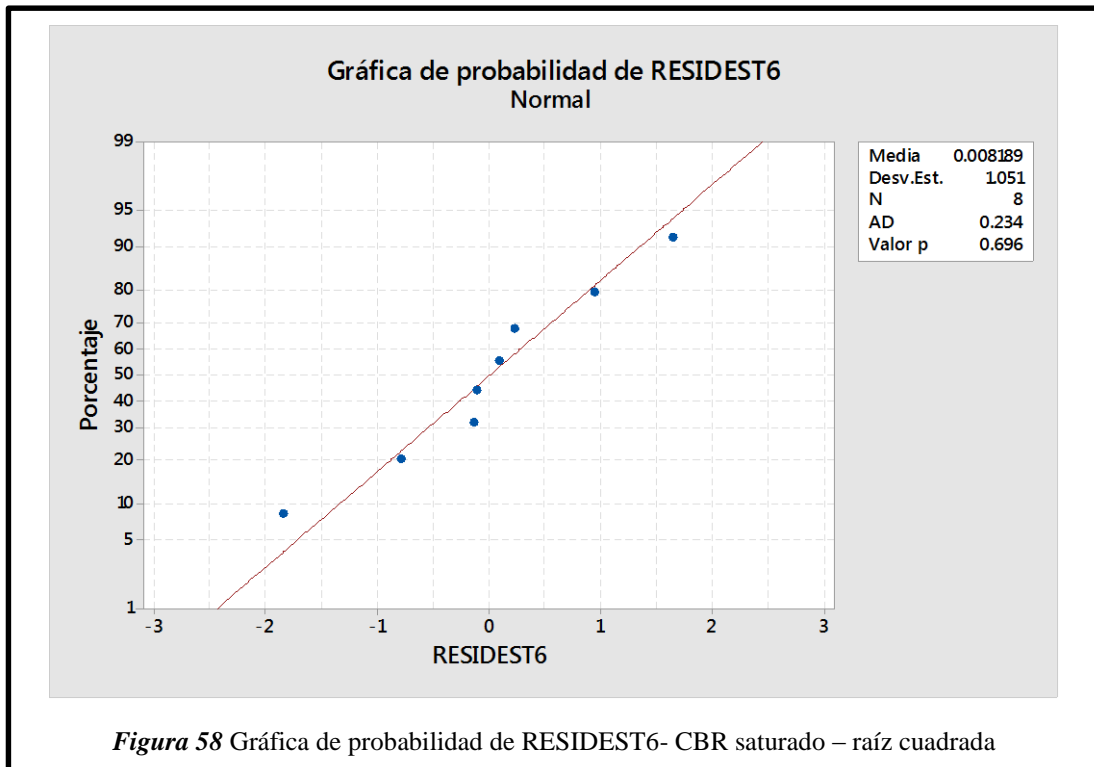
\sqrt{y} = valor de CBR saturado

x_1 = valor de la compresión inconfiada

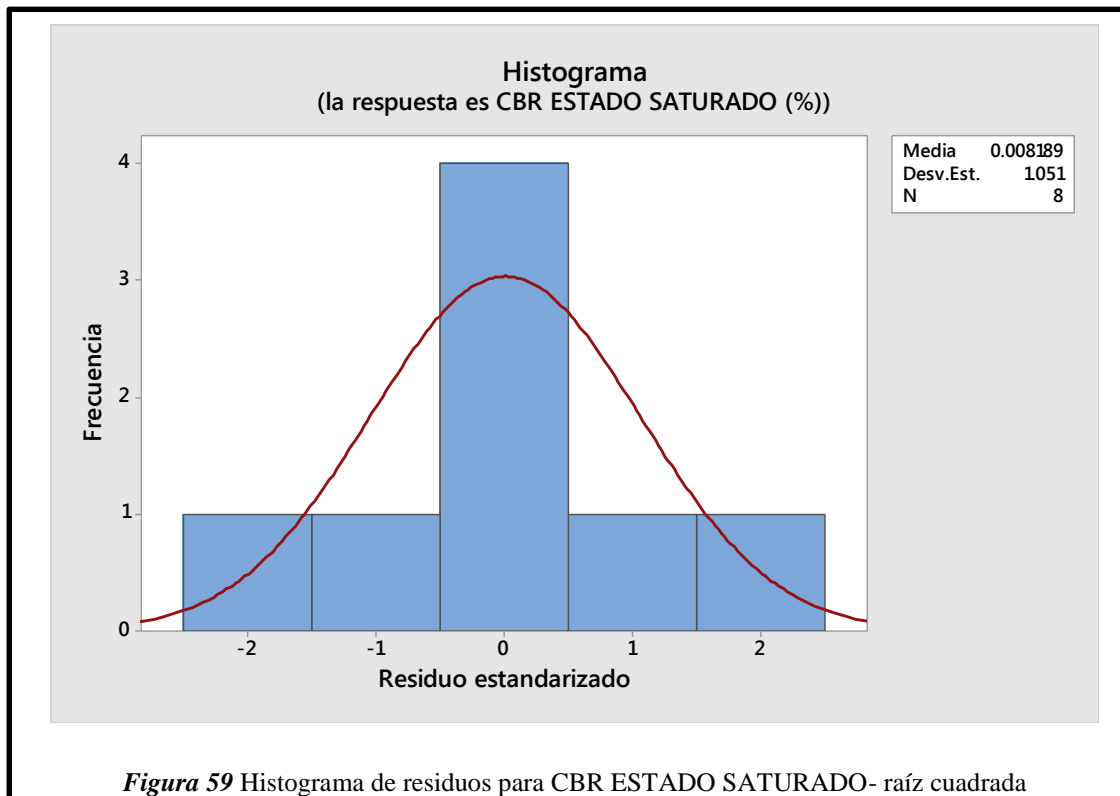
B_0, B_1 = coeficiente a estimar

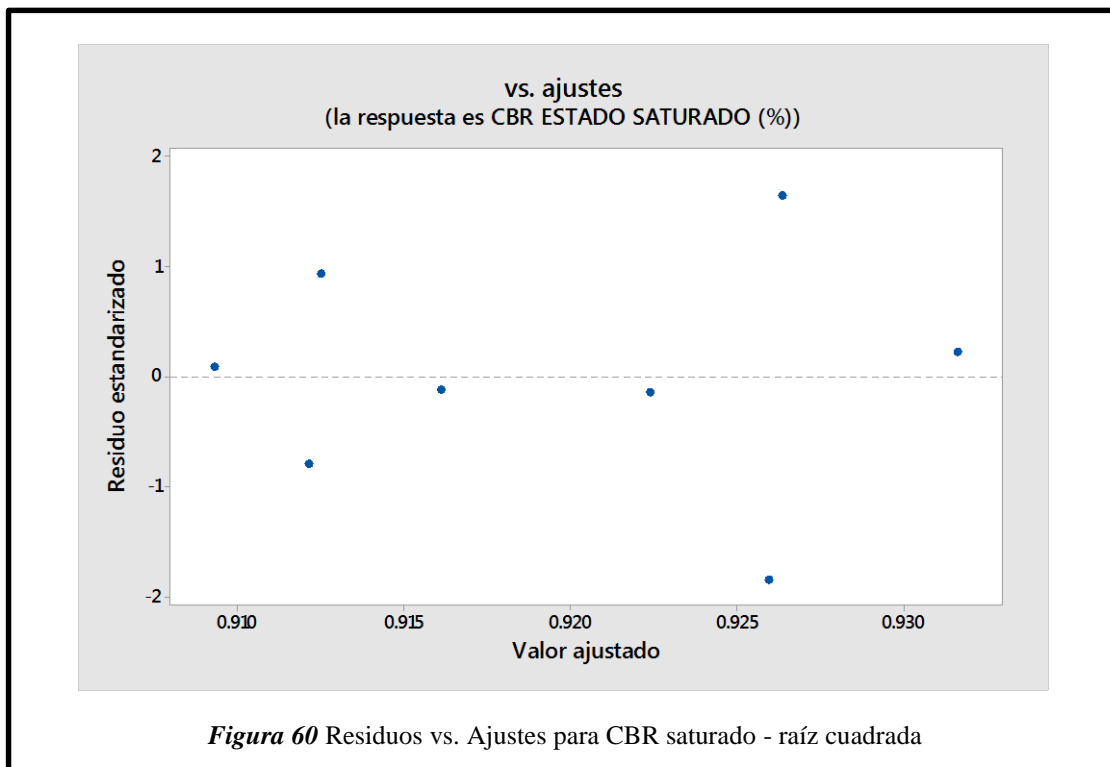
ε = error

Para verificar este modelo propuesto es adecuado o no, se hizo la comprobación a través de las siguientes graficas realizadas en el software Minitab 17, las cuales fueron: grafica de probabilidad normal de residuos, histograma de residuos, dispersión de residuos vs ajustes; estas graficas deben cumplir que tenga una distribución normal de residuos, linealidad entre respuesta y regresores, varianza constante para residuos, residuos con media cero.



De la gráfica de probabilidad de residuos ilustrada en la Figura 57, se obtiene que el valor $P = 0,696$, lo que se significa que como hipótesis nula los residuales tienen distribución normal (valor $P = 0,696 > 0.05$), de igual manera la media cumple con el supuesto dado que el valor obtenido de esta es de 0.008189





De la gráfica de dispersión de residuos VS ajustes ilustrada en la Figura 59, se puede observar que la nube de puntos no presenta cambios de dispersión, presentando homogeneidad en la distribución de estos, por lo cual satisface los supuestos linealidad y varianza constante.

Los resultados obtenidos representan que el modelo realizado es apropiado, los resultados son mostrados en la Tabla 25

Tabla 25

Resultados del modelo raíz cuadra de CBR en estado saturado vs compresión inconfiada

Análisis de regresión: RaizCBR en estado saturado (%) vs. Compresión inconfiada (kg/cm2)				
La ecuación de regresión es				
RaizCBR Saturado = 0.863 + 0.117 Comp. Inconfiada				
Término	Coef	EE del coef	Valor de T	Valor de P
Constante	0.863	0.16	5.38	0.002
Com. Inconfiada	0.117	0.328	0.36	0.733
Correlación de Pearson de RaizCBR natural y Compresión inconfiada = 0.159				
S = 0.0806531 R-cuad. = 12.08 % R-cuad.(ajustado) = 8.53%				

Por lo tanto, se concluye que la ecuación que mejor permite estimar el valor del C.B.R saturado a partir de la compresión inconfiada es:

$$CBR Natural (\%) = \left(0.863 + 0.117 \text{ compresión inconfiada } \frac{kg}{cm^2}\right)^2$$

Ecuación 24 Ecuación para determinar el CBR saturado a partir de la compresión inconfiada

Con un coeficiente de correlación de 0.159.

4.2. Discusión de resultados

En los resultados obtenidos durante el desarrollo de esta investigación se cumplió con el objetivo general que es “Determinar la correlación entre el Valor de Soporte de California (CBR) y la Compresión Inconfiada en suelos cohesivos” así como con los objetivos específicos; se pudo apreciar que el CBR en estado saturado tiene un grado de correlación con la compresión inconfiada de 0.159 menor en comparación al ensayo de CBR natural respecto a la compresión inconfiada que tiene un coeficiente de correlación de 0.838; lo cual nos indica que el ensayo de compresión inconfiada tiene un buen grado de correlación con el ensayo en muestras inalteradas de CBR en estado natural; estos resultados coincide con lo encontrado por Rivera (2013) en su investigación “correlación del valor de soporte de california y la resistencia a la Compresión Inconfiada en suelos cohesivos y la plasticidad de los suelos” donde se encontró que “el CBR en estado natural presenta un coeficiente de correlación respecto a la compresión inconfiada de 0.811” (pág. 75).

Para el cumplimiento de los objetivos específicos se calculó el CBR en muestras inalteradas lo cual nos dio unos valores que se encuentran entre 1.4 y 2.4 % en estado natural y saturadas entre 0.7 y 1 %; valores que de acuerdo al MTC (2013) en la categoría de subrasante “CBR < 3%, la subrasante es inadecuada ” (pág. 40); de acuerdo a lo establecido por el MTC (2013) “por los CBR obtenidos sera materia de un estudio especial para la estabilización, mejoramiento o reemplazo de la subrasante” (pág. 107)

Otro de los resultados de esta investigación fueron las fórmulas para determinar el CBR a partir de la compresión inconfiada, que tanto para las

muestras en estado natural como para las saturadas se realizó una transformación a la variable de respuesta con el propósito de mejorar el modelo, a la variable de respuesta se hizo el cambio tanto para logaritmo como para raíz cuadrada comparando y obteniendo el mejor modelo posible; en este caso coincidieron ambos ensayos en que el mejor modelo se dio con la raíz cuadrada, sin embargo Rivera (2013) en su investigación lo realizó al contrario ya que los mejores modelos los obtuvo transformando la variable de respuesta por logaritmo.

Algunas pequeñas variaciones de los resultados se pueden haber debido al traslado de las muestras inalteradas; también al momento de extraer las muestras inalteradas se pudo haber originado alguna vibración en la muestra extraída en el molde.

CAPÍTULO V: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

5.1. Propuesta de investigación.

Después de haber realizado todos los ensayos, obtenidos los cálculos y analizado estadísticamente en cuanto correlación; se obtuvo por resultado que el ensayo de Compresión Inconfinada en suelos cohesivos si presenta un buen grado de correlación con el ensayo de CBR en muestras inalteradas; el cual se da en mayor grado en las muestras en estado natural que en las saturadas.

Se recomienda realizar este mismo estudio de correlación, pero con un suelo específico y/o con más muestras inalteradas para ambos ensayos; las muestras de suelo pueden ser obtenidas de diferentes puntos de nuestro País lo cual sería importante porque permitirá un mejor estudio y caracterización del suelo y así poder afianzar mucho más nuestra investigación.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

1. El valor del CBR en estado natural presenta una buena correlación con el ensayo de compresión inconfiada, lo cual se verificó con la realización de modelos estadísticos, determinando así la ecuación cuadrática (ecuación 20) con un coeficiente de determinación $R^2=66.52\%$ y con un coeficiente de correlación $R= 83.8$, por lo tanto, el modelo resulta muy apropiado para estimar el valor del CBR natural a partir de la compresión inconfiada.
2. El valor de CBR en estado natural como en estado saturado, no presenta relación con el índice de plasticidad y el límite líquido, y se comprobó observando que en las gráficas de dispersión de las diferentes figuras mostraron que para los dos casos se presenta demasiada variabilidad en los datos, por lo cual no se realizó ningún análisis con esta información.
3. Se verificó que el CBR en estado saturado presenta una correlación con la compresión inconfiada menor que en estado natural. La realización del análisis estadístico permitió obtener una ecuación cuadrática (ecuación 24) con un coeficiente de determinación $R^2= 8.53\%$ y con un coeficiente de correlación de $R=15.9\%$.
4. El coeficiente de determinación del modelo donde se utilizan los valores del CBR natural en comparación al coeficiente de determinación del modelo donde se utilizan los valores de CBR saturado bajo un 57.99% por lo cual se concluye que el agua afecta de manera significativa la correlación del CBR con la compresión inconfiada. Esto se debe a que el ensayo de compresión inconfiada se realiza para condiciones de humedad natural.

6.2. Recomendaciones

1. Se recomienda para futuras investigaciones del tema, aumentar la cantidad de datos, con el propósito de obtener correlaciones independientes para cada tipo de suelo fino (CH, CL, MH, ML)
2. Se recomienda en que al momento de transportar las muestras inalteradas se haga con mucho cuidado para evitar vibraciones y así obtener resultados con mínima variabilidad.
3. Los resultados obtenidos en esta investigación no eximen al ingeniero constructor de realizar los ensayos mínimos exigidos por las normas peruanas que rigen el diseño de pavimentos (MTC); sin embargo dichos resultados ayudaran a conocer mejor la caracterización de la subrasante para el diseño de la estructura del pavimento.

REFERENCIAS:

- Araujo, w. (2014). *Ecuaciones de correlación del CBR con propiedades índice de suelos para la ciudad de Piura*. Piura. Peru: Universidad de Piura. Recuperado el 15 de Junio de 2016, de https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/123456789/2192/ICI_208.pdf?sequence=1
- Arenas, H. (2000). *Conferencia Teoría De Los Pavimentos*. Colombia: Universidad del Cauca. Recuperado el 2 de Septiembre de 2016, de <ftp://ftp.unicauca.edu.co/cuentas/.cuentasbajadas29092009/harenas.anterior/docs/PAVIMIENTOS%202009/PROGRAMAS/PROGRAMA%20PAVIMIENTOS%20FIC%2009.pdf>
- Back, H. y Cayssials, R. (1971). *Estabilidad estructural de algunos suelos del Uruguay*. Montevideo,. Dirección de Suelos y Fertilizantes, Montevideo. Uruguay: Ministerio de Agricultura y Pesca, . Recuperado el 28 de Mayo de 2016, de Back, H. y Cayssials, R. . (1971). Estabilidad estructural de algunos suelos del Uruguay. Montevideo, Ministerio de Agricultura y Pesca, Dirección de Suelos y Fertilizantes. Uruguay: 58 p. (Mimeografiado).
- Bañón , L., & Beviá, J. (2000). *Manual De Carreteras 2, Construcción y Mantenimiento*. Manual (pdf), Alicante. Recuperado el 25 de Junio de 2016, de <https://rua.ua.es/dspace/handle/10045/1787>
- Bin, N. (2000). Soils and Land Survey Lab. Recuperado el 22 de Mayo de 2016, de <https://hbp.usm.my/index.php/en/support-facilities/2015-09-07-03-47-50/soil-land-survey-lab>
- Borja, M. (2012). *Metodología de la investigación científica para Ingenieros*. Universidad nacional Pedro Ruiz Gallo. Chiclayo: CIP. Recuperado el 15 de Abril de 2016, de <http://es.slideshare.net/manborja/metodologia-de-inv-cientifica-para-ing-civil>
- Castañeda , J., & Gil, J. (2005). *Una mirada al valor de P en la investigación*. Colombia: Estadística. Recuperado el 30 de Mayo de 2016, de <http://www.redalyc.org/pdf/806/80634308.pdf>
- Coronado, J. (2002). *Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos*. SIECA: Secretaria de Integración Económica Centroamericana.
- Das, B. . (2001). *Fundamentos De Ingeniería Geotécnica*. California. Sacramento: Learning.
- Hoyos, F. (2001). *Geotecnia diccionario basico*. Universidad de Colombia, Facultad de ingeniería de minas. Medellín: Escuela de Ingeniería Civil. Recuperado el 26 de abril de 2016, de <https://mecanicadesuelosuc.files.wordpress.com/2014/07/geotecnia-diccionario-bc3a1sico-2012.pdf>
- Injante, H. E. (2012). *Resistencia insitu de de subrasante utilizando el penetrómetro dinámico de cono en la ciudad de Ica*. Lima. Lima: Universidad nacional de ingeniería. Recuperado el 15 de Junio de 2016, de http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1135/1/injante_lh.pdf

- INVIAS. (2007). *Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos para Vías con Bajos Volúmenes de Tránsito*. Colombia, Bogota, Bogotá. Recuperado el 12 de Junio de 2016, de https://www.idu.gov.co/documents/20181/2121098/gu-ic-019_guia_diseno_pavimentos_para_bajos_volumenes_v1.pdf/de2dbabf-f5af-4937-8f95-ea1bfe4c3544
- Lacera , G. F. (2006). *Correlacion entre los valores de resistencia a la penetración cónica D.C.P. y el valor de relación de soporte C.B.R. de suelos para la región geológica del área local de valledupar*. (Tesis), Universidad industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. Recuperado el 15 de junio de 2016, de <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/1729/2/119409.pdf>
- Lambe, W., & Whitman, R. . (1979). *Mecánica de Suelos*. R. México D.F: Limusa. Recuperado el 25 de Junio de 2016, de <https://es.scribd.com/doc/79931132/Mecanica-de-Suelos-Lambe-W-y-Whitman>
- Leon , R., Salazar , A., & Petit, J. (2011). *Suelos cohesivos*. Escuela de ingeniería civil . Venezuela: Universidad nacional experimental politecnica de la fuerza armada bolivariana.
- Llanos , A. H., & Reyes , S. K. (2016). *Estudio comparativo de los ensayos california bearing ratio (CBR) de laboratorio y penetración dinámica de cono (PDC) en la localidad de picsi*. Universidad señor de sipan, Lambayeque. Chiclayo: Escuela de ingeniería civil.
- Márquez, J. (2006). *Mecánica De Suelos y Estudios Geotécnicos En Obras De Ingeniería*. Recuperado el 22 de Agosto de 2016, de <https://es.scribd.com/document/2567443/mecanica-de-suelos-y-estudios-geotecnicos>
- Martinez, N. E., Arista, M. E., & Anglas, J. (2004). *El Penetrometro Dinámico de Cono como una Alternativa para Determinar el CBR del Suelo (PDC vs CBR)" (Lima Perú)*. Lima. Peru: Universidad Federico Villareal. Recuperado el 15 de Junio de 2016, de http://www.cismid.uni.edu.pe/descargas/a_labgeo/labgeo12_p.pdf
- Montgomery , D., Peck, E., & Vining, G. (2002). *Introducción al análisis de regresión lineal*. Mexico. Distrito federal de Mexico: Continental. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/236932246/Libro-de-Diseño-y-Análisis-de-Experimentos-Montgomery>
- Montgomery, D. (2004). *Diseño y analisis de experimentos*. Distrito Federeal de Mexico. México: Limusa Wiley. Recuperado el 29 de Agosto de 2016, de http://www.academia.edu/9101936/Dise%C3%B1o_y_an%C3%A1lisis_de_experimentos_Douglas_C._Montgomery
- MTC. (2009). *Glosario referido a definición de los términos más usuales del manual de ensayos de materiales para Carreteras EM-2000*. (M. G. 2000, Ed.) Lima, Perú: ICG – Instituto de la Construcción y Gerencia. Recuperado el 12 de Abril de 2016, de https://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/EM-2000/Glosario.pdf

- MTC. (2013). *Manual de carreteras - suelos, geología, geotecnia y pavimentos*. Viceministerio de transportes, Lima. Lima: Dirección general de caminos y ferrocarriles. Recuperado el 28 de Agosto de 2016, de [https://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/RD%20N%C2%B0%2018-2016-MTC-14%20\(Manual%20Ensayo%20Materiales\).pdf](https://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/RD%20N%C2%B0%2018-2016-MTC-14%20(Manual%20Ensayo%20Materiales).pdf)
- MTC. (2016). *Manual de ensayo de materiales*. Ministerio de transportes y comunicaciones - viceministerio de transportes, Lima. Lima: Dirección general de caminos y ferrocarriles. Recuperado el 25 de Junio de 2016, de http://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/RD%2036%202016%20MTC%2014%20Aprueba%20Manual%20Tuneles_Original_A.pdf
- Navarro , D., & Gómez, F. (2004). *Correlaciones entre métodos convencionales y alternativos para estimar la resistencia y compactación de suelos*. Instituto de tecnológico de Costa Rica. Costa Rica: Escuela de ingeniería en construcción. Recuperado el 15 de Junio de 2016, de <http://bibliodigital.itcr.ac.cr/bitstream/handle/2238/256/Trabajo%20Final.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Osorio, J. F., & Casas, A. N. (2011). *Correlación P.D.C. con C.B.R. para suelos en la localidad de Suba*. (Tesis de grado), Univesidad militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia. Recuperado el 15 de Junio de 2016, de <http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/3653/2/OsorioMartinezJoseFernando2011.pdf>
- Rivera , W. (2013). *Correlacion del valor de soporte de california (C.B.R) con la resitencia a la compresioón inconfnada y la plasticidad del suelo*. (Tesis de pregrado), Universidad del Valle, Santiago de Cali, Colombia. Recuperado el 15 de junio de 2016, de <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/7832/1/CB-0478826.pdf>
- Sánchez, F. (2012). *¿Qué es el CBR en un suelo?, Blog de conceptos y aplicaciones de la tecnología, Ramcones en suelos y mezclas asfálticas*. Blog, Bogota, Colombia. Recuperado el 10 de Mayo de 2016, de <http://blogramcodes.blogspot.pe/2012/08/que-es-el-cbr.html>
- Walpole, R., Myers, R., & Myers, S. (1998). *Probabilidad y estadística para ingenieros*. Distrito federal de Mexico. México: Pearson Educación. Recuperado el 12 de Junio de 2016, de http://biologia.iztacala.unam.mx/anterior/avisos/modif_plan_estudios/PBTII_6-3-15.pdf

ANEXOS

ANEXO 01

Plano de ubicación del pueblo joven “Nuevo Progreso”




Plano de ubicación de las calicatas en estudio – en Av. Universidad tec. Del Callao



ANEXO 02

Clasificación de suelos C1-M1



UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN
 FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO
 ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

TESIS : CORRELACIÓN DEL VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) CON LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN INCOFINADA EN SUELOS COHESIVOS EN EL DISTRITO DE PIMENTEL, PROVINCIA DE CHICLAYO, REGIÓN LAMBAYEQUE

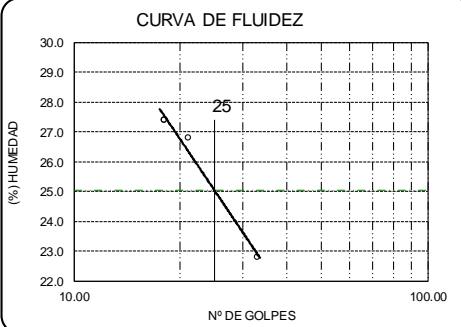
AUTORES : Bach. CARRASCO MENDOZA, Bayron Alexis.

UBICACIÓN : Disto. Pimentel, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque

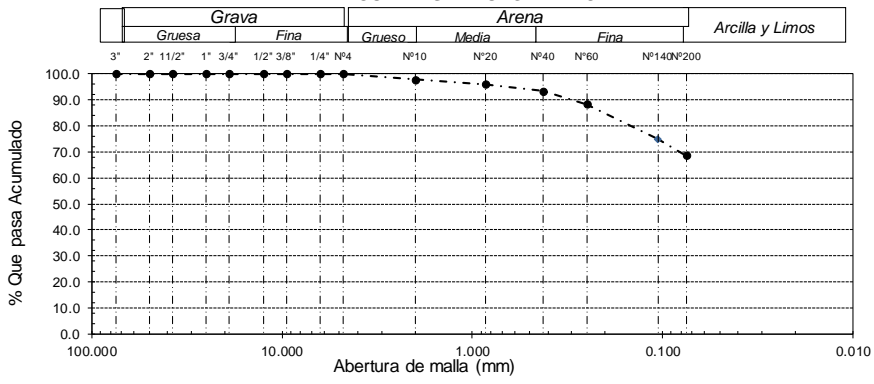
ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para el análisis granulométrico
 : SUELO. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del suelo
 : SUELOS. Métodos de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo. 1a. ed.

NORMA DE REFERENCIA : N.T.P. 399.128 : 1999
 : N.T.P. 399.131
 : N.T.P. 339.127: 1998

Calicata : Muestra: N°1 Profundidad: 70

Análisis Granulométrico por tamizado				Ensayo de Límite de Atterberg			
N° Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulados					
		Retenido	Que pasa				
3"	75.000	0.0	100.0	Límite líquido (LL)	25.03 (%)		
2"	50.000	0.0	100.0	Límite Plástico (LP)	8.08 (%)		
1 1/2"	37.500	0.0	100.0	Índice Plástico (IP)	16.95 (%)		
1"	25.000	0.0	100.0				
3/4"	19.000	0.0	100.0				
1/2"	12.500	0.0	100.0				
3/8"	9.500	0.0	100.0				
1/4"	6.300	0.0	100.0				
N° 4	4.750	0.0	100.0				
N° 10	2.000	2.1	97.9				
N° 20	0.850	4.0	96.0				
N° 40	0.425	6.5	93.5				
N° 60	0.250	11.5	88.5				
N° 140	0.106	25.1	74.9				
N° 200	0.075	31.4	68.6				
Distribución granulométrica							
% Grava	G.G. %	0.0				CL	
	G.F. %	0.0					
% Arena	A.G. %	2.1				Arcilla arenosa de baja plasticidad	
	A.M. %	4.4					
	A.F. %	24.9					
% Arcilla y Limo		68.6	31.4	Clasificación (AASHTO) A-6 (10)			
Total		100.0		Descripción MALO			
Contenido de Humedad			21.88				

CURVA GRANULOMETRICA



Clasificación de suelos C2-M1



UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN

FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO
 ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

TESIS : CORRELACIÓN DEL VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) CON LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN INCOFINADA EN SUELOS COHESIVOS EN EL DISTRITO DE PIMENTEL, PROVINCIA DE CHICLAYO, REGIÓN LAMBAYEQUE

AUTORES : Bach. CARRASCO MENDOZA, Bayron Alexis.

UBICACIÓN : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque

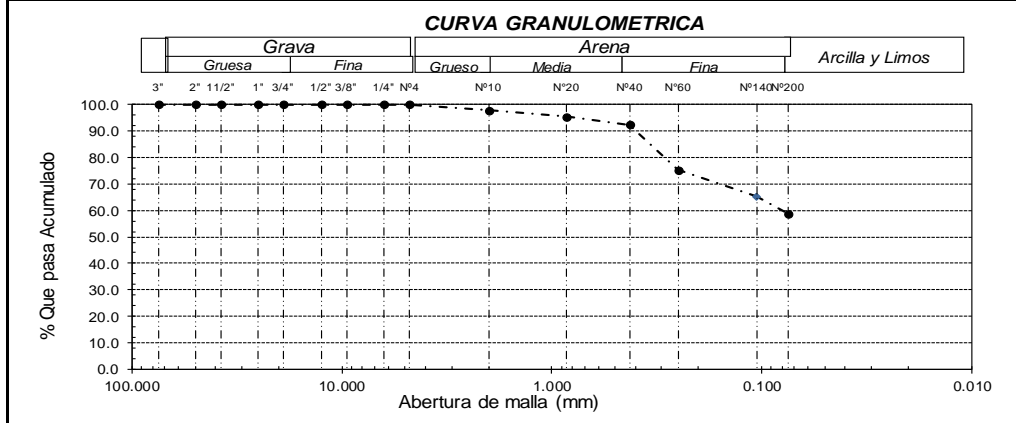
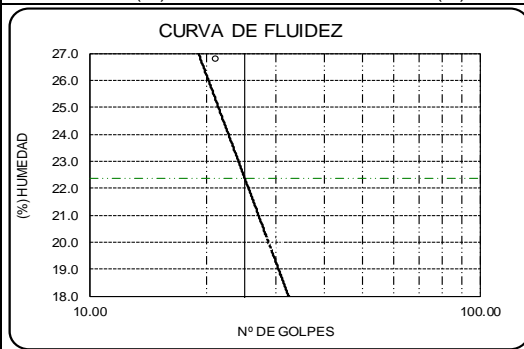
ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para el análisis granulométrico
 : SUELO. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del suelo
 : SUELOS. Métodos de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo. 1a. ed.

NORMA DE REFERENCIA : N.T.P. 399.128 : 1999
 : N.T.P. 399.131
 : N.T.P. 339.127: 1998

Calicata : Muestra: N°1

Profundidad: 70

Análisis Granulométrico por tamizado				Ensayo de Límite de Atterberg	
N° Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulados Retenido	Que pasa		
3"	75.000	0.0	100.0	Límite líquido (LL)	22.37 (%)
2"	50.000	0.0	100.0	Límite Plástico (LP)	8.08 (%)
1 1/2"	37.500	0.0	100.0	Índice Plástico (IP)	14.29 (%)
1"	25.000	0.0	100.0		
3/4"	19.000	0.0	100.0		
1/2"	12.500	0.0	100.0		
3/8"	9.500	0.0	100.0		
1/4"	6.300	0.0	100.0		
N° 4	4.750	0.0	100.0		
N° 10	2.000	2.1	97.9		
N° 20	0.850	4.6	95.4		
N° 40	0.425	7.5	92.5		
N° 60	0.250	24.7	75.3		
N° 140	0.106	34.8	65.2		
N° 200	0.075	41.3	58.7		
Distribución granulométrica					
% Grava	G.G. %	0.0			
	G. F %	0.0	0.0		
	A.G %	2.1			
% Arena	A.M %	5.4			
	A.F %	33.8	41.3		
% Arcilla y Limo		58.7	58.7		
Total			100.0		
Contenido de Humedad			15.23	MALO	



Clasificación de suelos C4-M1



UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN
 FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO
 ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

TESIS : CORRELACIÓN DEL VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) CON LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN INCOFINADA EN SUELOS COHESIVOS EN EL DISTRITO DE PIMENTEL, PROVINCIA DE CHICLAYO, REGIÓN LAMBAYEQUE

AUTORES : Bach. CARRASCO MENDOZA, Bayron Alexis.

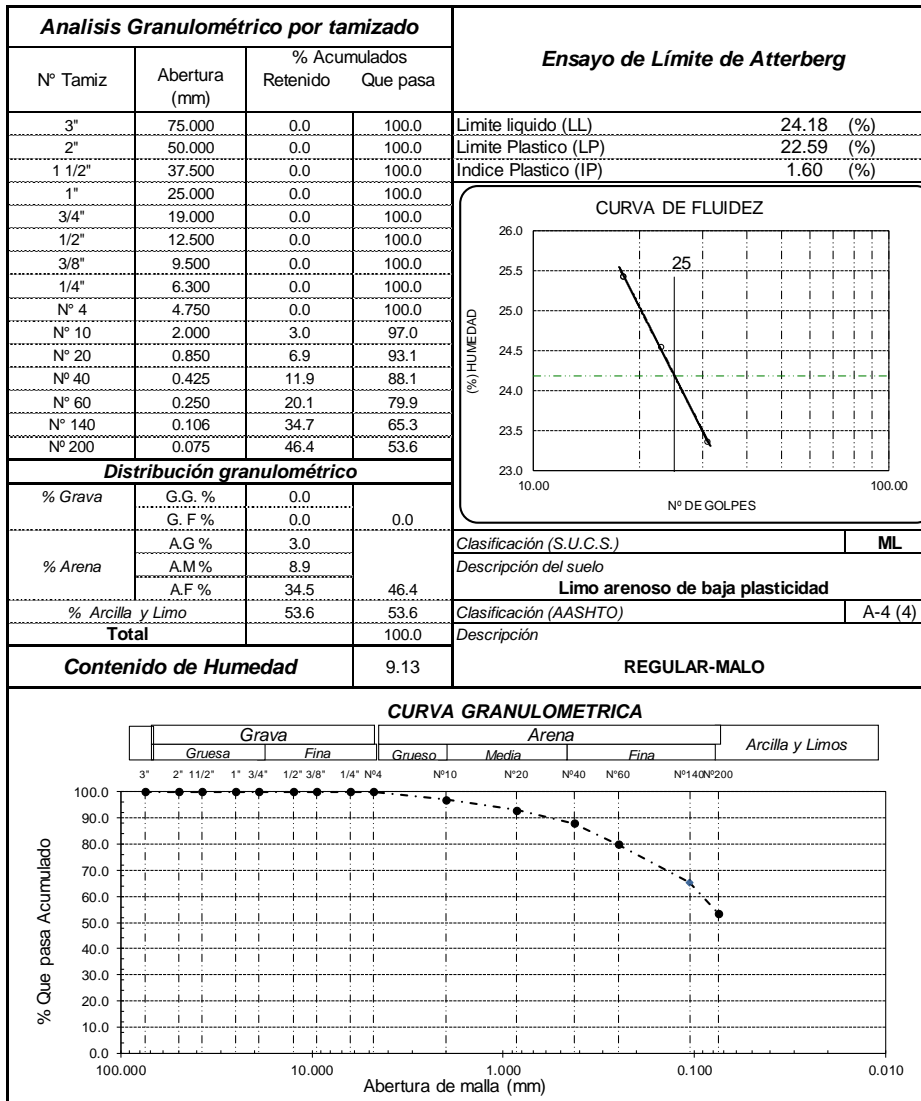
UBICACIÓN : Disto. Pimentel, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque

ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para el análisis granulométrico
 : SUELO. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del suelo
 : SUELOS. Métodos de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo. 1a. ed.

NORMA DE REFERENCIA : N.T.P. 399.128 : 1999
 : N.T.P. 399.131
 : N.T.P. 339.127: 1998

Calicata : Muestra: N°1

Profundidad: 80



Clasificación de suelos C5-M1



UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN
 FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO
 ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

TESIS : CORRELACIÓN DEL VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) CON LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN INCOFINADA EN SUELOS COHESIVOS EN EL DISTRITO DE PIMENTEL, PROVINCIA DE CHICLAYO, REGIÓN LAMBAEQUE

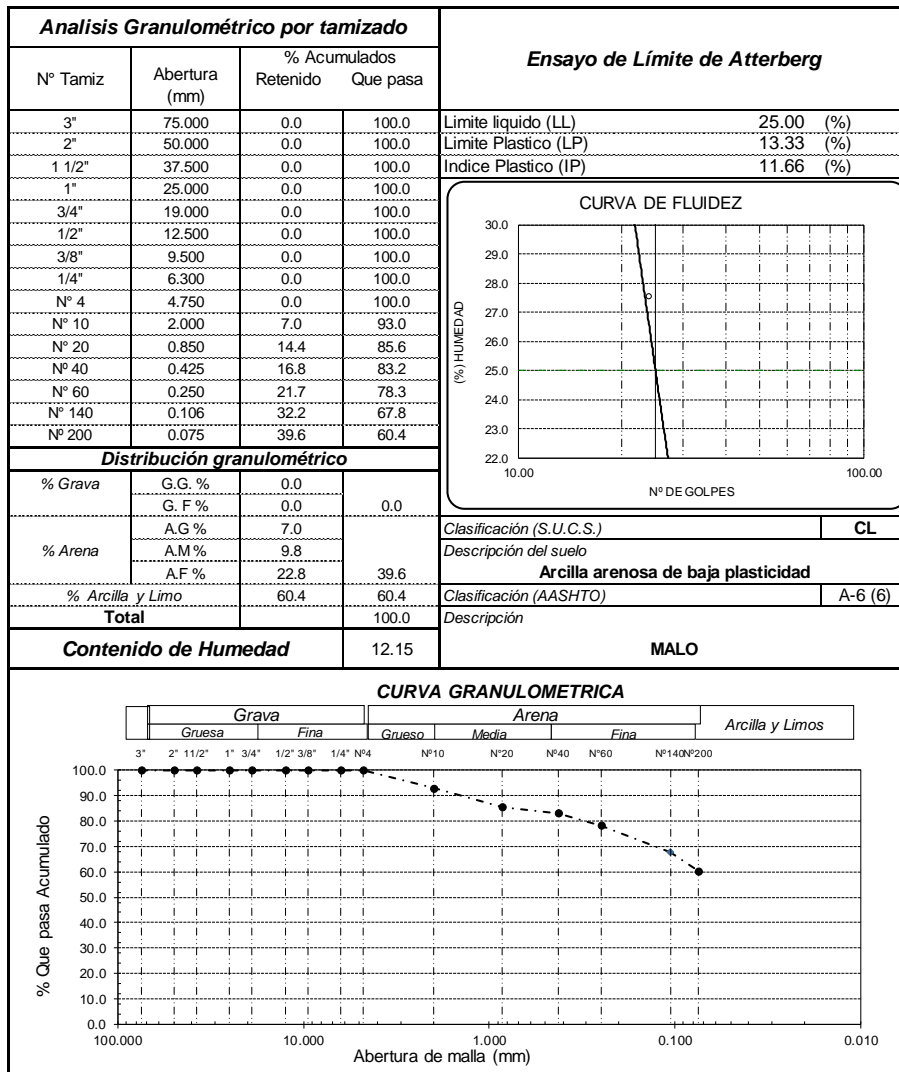
AUTORES : Bach. CARRASCO MENDOZA, Bayron Alexis.

UBICACIÓN : Disto. Pimentel, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque

ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para el análisis granulométrico
 : SUELO. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del suelo
 : SUELOS. Métodos de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo. 1a. ed.

NORMA DE REFERENCIA : N.T.P. 399.128 : 1999
 : N.T.P. 399.131
 : N.T.P. 339.127: 1998

Calicata : Muestra: N°1 Profundidad: 70



Clasificación de suelos C6-M1



UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN
 FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO
 ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

TESIS : CORRELACIÓN DEL VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) CON LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN INCOFINADA EN SUELOS COHESIVOS EN EL DISTRITO DE PIMENTEL, PROVINCIA DE CHICLAYO, REGIÓN LAMBAYEQUE

AUTORES : Bach. CARRASCO MENDOZA, Bayron Alexis.

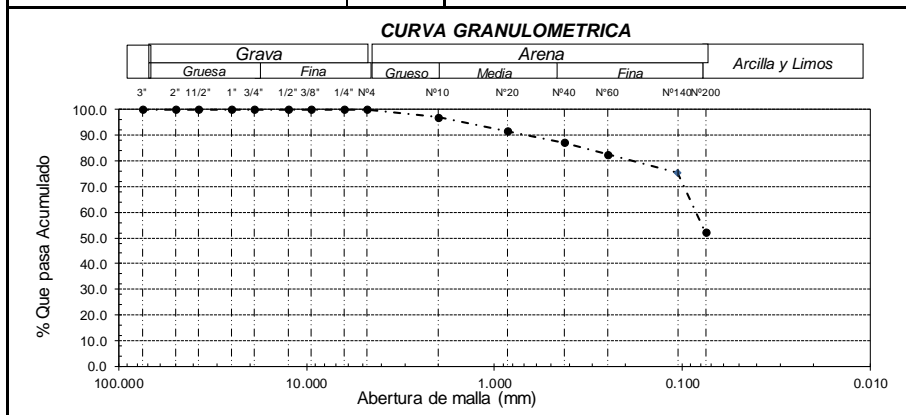
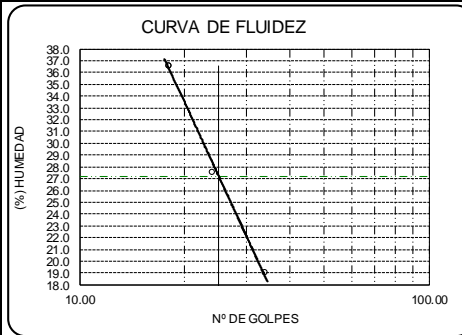
UBICACIÓN : Disto. Pimentel, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque

ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para el análisis granulométrico
 : SUELO. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del suelo
 : SUELOS. Métodos de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo. 1a. ed.

NORMA DE REFERENCIA : N.T.P. 399.128 : 1999
 : N.T.P. 399.131
 : N.T.P. 339.127: 1998

Calicata : Muestra: N°1 Profundidad: 70

Análisis Granulométrico por tamizado				Ensayo de Límite de Atterberg	
N° Tamiz	Abertura (mm)	% Retenido	% Acumulados Que pasa		
3"	75.000	0.0	100.0	Límite líquido (LL)	27.22 (%)
2"	50.000	0.0	100.0	Límite Plástico (LP)	26.57 (%)
1 1/2"	37.500	0.0	100.0	Índice Plástico (IP)	0.65 (%)
1"	25.000	0.0	100.0		
3/4"	19.000	0.0	100.0		
1/2"	12.500	0.0	100.0		
3/8"	9.500	0.0	100.0		
1/4"	6.300	0.0	100.0		
N° 4	4.750	0.0	100.0		
N° 10	2.000	2.9	97.1		
N° 20	0.850	8.3	91.7		
N° 40	0.425	12.8	87.2		
N° 60	0.250	17.4	82.6		
N° 140	0.106	24.6	75.4		
N° 200	0.075	47.9	52.1		
Distribución granulométrico					
% Grava	G.G. %	0.0	0.0	Clasificación (S.U.C.S.)	
	G. F %	0.0		ML	
% Arena	A.G %	2.9	47.9	Descripción del suelo	
	A.M %	9.9		Limo arenoso de baja plasticidad	
	A.F %	35.1		Clasificación (AASHTO)	
% Arcilla y Limo		52.1	52.1	A-4 (4)	
Total			100.0	Descripción	
Contenido de Humedad			17.99	REGULAR-MALO	



Clasificación de suelos C7-M1



UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN
 FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO
 ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

TESIS : CORRELACIÓN DEL VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) CON LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN INCOFINADA EN SUELOS COHESIVOS EN EL DISTRITO DE PIMENTEL, PROVINCIA DE CHICLAYO, REGIÓN LAMBAYEQUE

AUTORES : Bach. CARRASCO MENDOZA, Bayron Alexis.

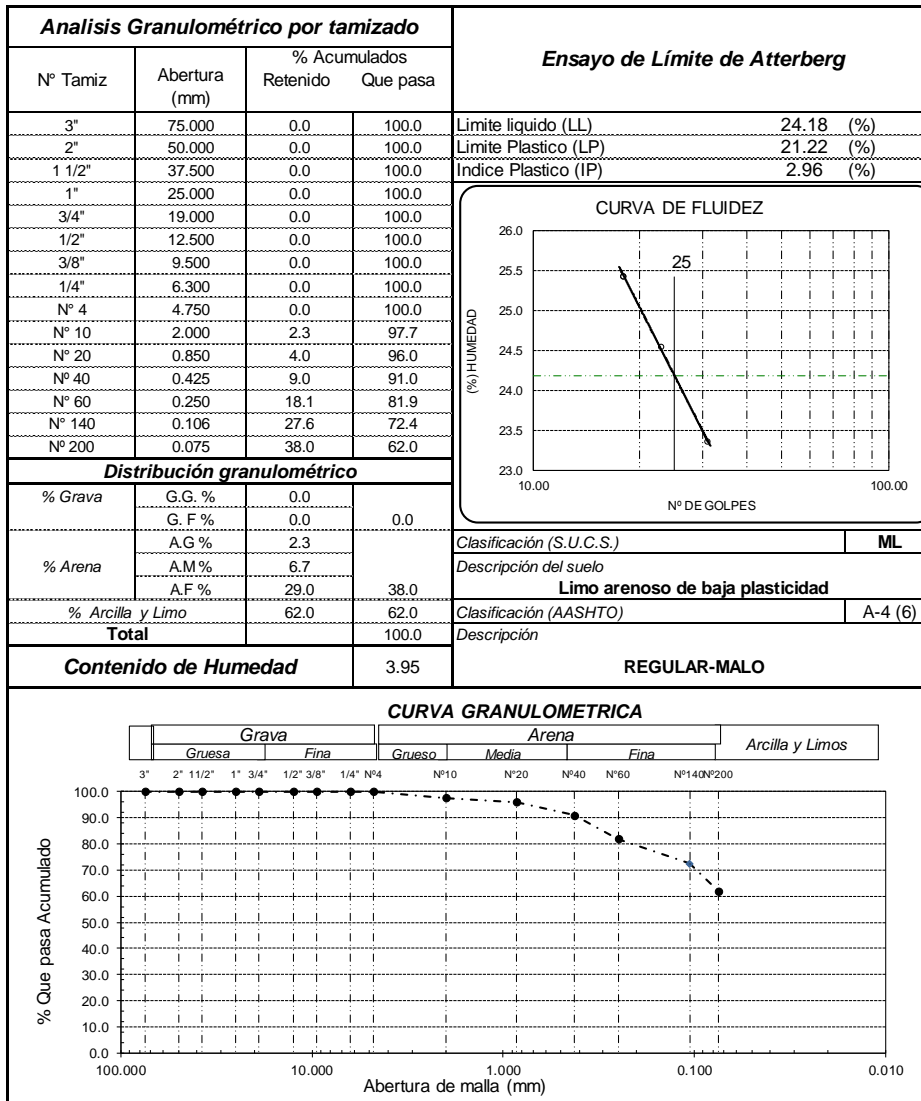
UBICACIÓN : Disto. Pimentel, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque

ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para el análisis granulométrico
 : SUELO. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del suelo
 : SUELOS. Métodos de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo. 1a. ed.

NORMA DE REFERENCIA : N.T.P. 399.128 : 1999
 : N.T.P. 399.131
 : N.T.P. 339.127: 1998

Calicata : Muestra: N°1

Profundidad: 75



Clasificación de suelos C8-M1



UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN
 FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO
 ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

TESIS : CORRELACIÓN DEL VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) CON LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN INCOFINADA EN SUELOS COHESIVOS EN EL DISTRITO DE PIMENTEL, PROVINCIA DE CHICLAYO, REGIÓN LAMBAYEQUE

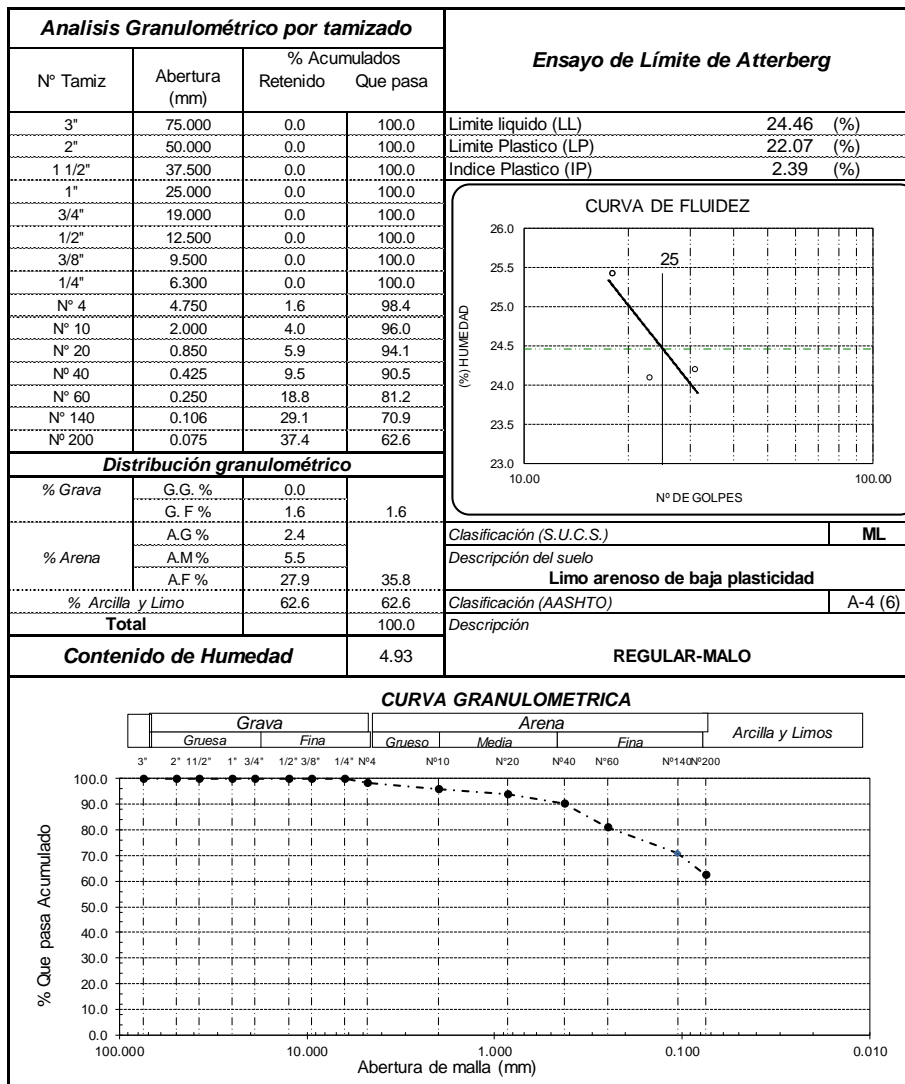
AUTORES : Bach. CARRASCO MENDOZA, Bayron Alexis.

UBICACIÓN : Disto. Pimentel, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque

ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para el análisis granulométrico
 : SUELO. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del suelo
 : SUELOS. Métodos de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo. 1a. ed.

NORMA DE REFERENCIA : N.T.P. 399.128 : 1999
 : N.T.P. 399.131
 : N.T.P. 339.127: 1998

Calicata : Muestra: Nº1 Profundidad: 75



ANEXO 03

CBR natural – CBR saturado (calicata 01 - M1)



UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN
 FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO
 ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

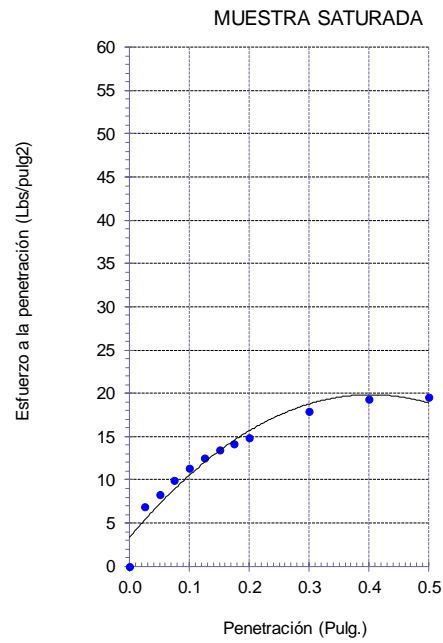
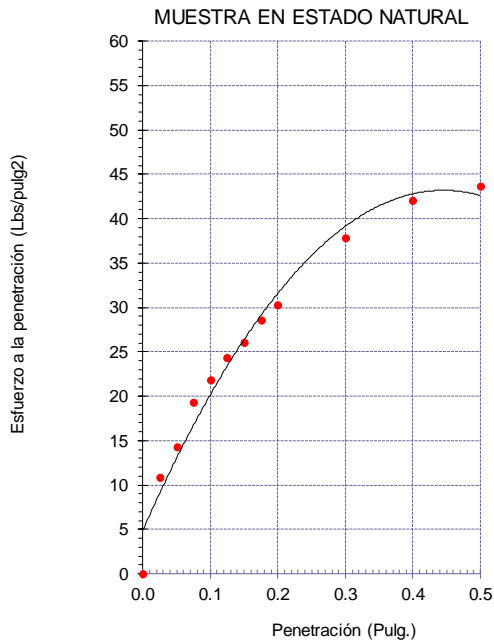
INFORME DE ENSAYO

(Pág. 01 de 01)

AUTOR :
 TESIS :
 ENSAYO :
 NORMA DE REFERENCIA :

: CARRASCO MENDOZA, Bayron Alexis
 : CORRELACIÓN DEL VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) CON LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN INCONFINADA EN SUELOS COHESIVOS EN EL DISTRITO DE PIMENTEL, PROVINCIA DE CHICLAYO, REGIÓN LAMBAYEQUE
 : CBR EN EL TERRENO (CBR IN SITU)
 : N.T.P. 339.145 / ASTM D-4429
 : Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración

DIAGRAMA DE PENETRACIÓN DE ESPECIMENES INALTERADAS SIN SATURAR Y SATURADAS.



Ensayo	Densidad Humeda (g/cm3)	Densidad Seca (g/cm3)	Humedad (%)	Expansión (%)	CBR a la penetración (Pulg)	CBR (%)
Estado Natural	1.428	1.260	13.33	---	0.1"	1.6
					0.2"	1.9
Saturada	1.500	1.242	20.80	0.02	0.1"	0.8
					0.2"	0.9

CBR natural – CBR saturado (calicata 02 - M1)



UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN
FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO
ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

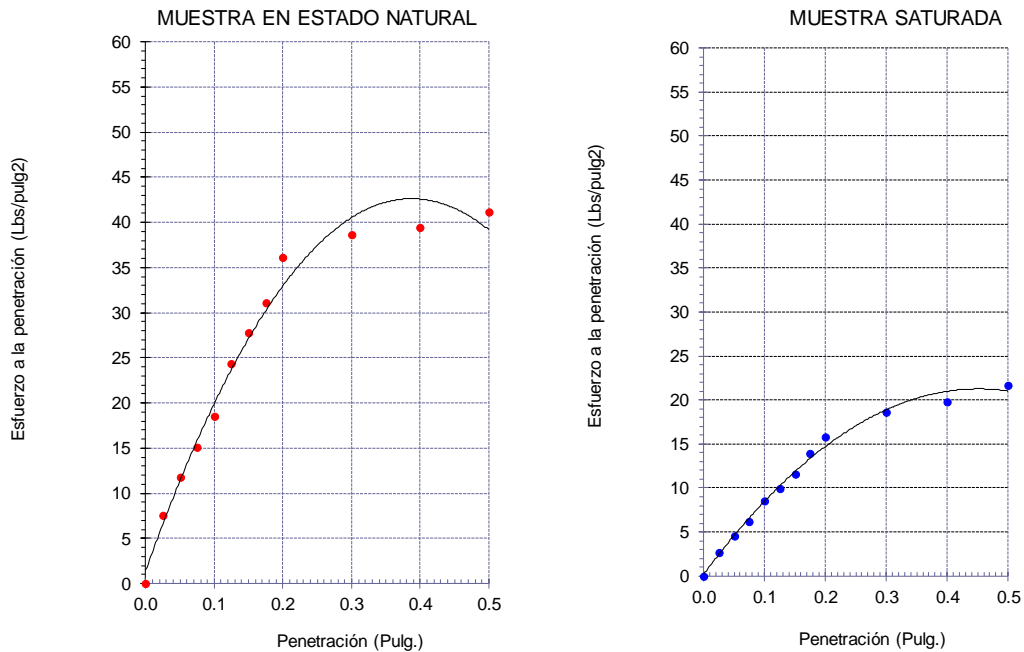
INFORME DE ENSAYO

(Pág. 01 de 01)

AUTOR :
TESIS :
ENSAYO :
NORMA DE REFERENCIA :

: CARRASCO MENDOZA, Bayron Alexis
: CORRELACIÓN DEL VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) CON LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN INCONFINADA EN SUELOS COHESIVOS EN EL DISTRITO DE PIMENTEL, PROVINCIA DE CHICLAYO, REGIÓN LAMBAYEQUE
: CBR EN EL TERRENO (CBR IN SITU)
: **N.T.P. 339.145** / ASTM D-4429
: Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración

DIAGRAMA DE PENETRACIÓN DE ESPECIMENES INALTERADAS SIN SATURAR Y SATURADAS.



Ensayo	Densidad Humeda (g/cm3)	Densidad Seca (g/cm3)	Humedad (%)	Expansión (%)	Penetración (Pulg.)	
					CBR a la penetración (Pulg)	CBR (%)
Estado Natural	2.058	1.721	19.62	---	0.1"	1.9
					0.2"	2.1
Saturada	2.104	1.747	20.44	0.03	0.1"	0.8
					0.2"	1.0

CBR natural – CBR saturado (calicata 03 - M1)



UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN
FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO
ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

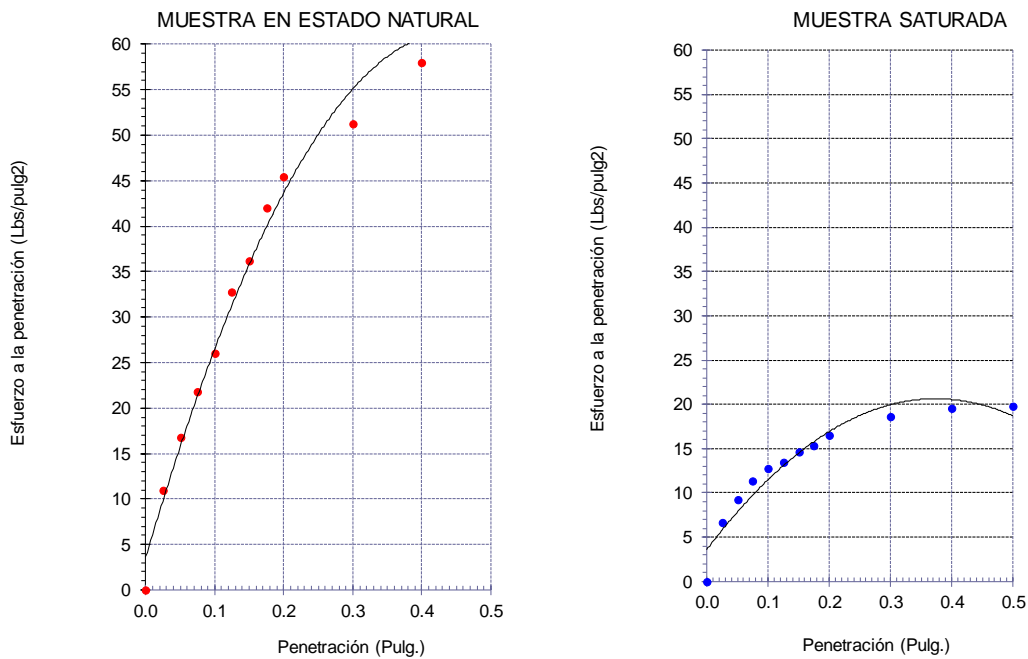
INFORME DE ENSAYO

(Pág. 01 de 01)

AUTOR :
 TESIS :
 ENSAYO :
 NORMA DE REFERENCIA :

: CARRASCO MENDOZA, Bayron Alexis
 : CORRELACIÓN DEL VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) CON LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN INCONFINADA EN SUELOS COHESIVOS EN EL DISTRITO DE PIMENTEL, PROVINCIA DE CHICLAYO, REGIÓN LAMBAYEQUE
 : CBR EN EL TERRENO (CBR IN SITU)
 : **N.T.P. 339.145** / ASTM D-4429
 : Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración

DIAGRAMA DE PENETRACIÓN DE ESPECIMENES INALTERADAS SIN SATURAR Y SATURADAS.



Ensayo	Densidad Humeda (g/cm3)	Densidad Seca (g/cm3)	Humedad (%)	Expansión (%)	CBR a la penetración (Pulg)	CBR (%)
Estado Natural	2.029	1.784	13.71	---	0.1"	2.3
					0.2"	2.8
Saturada	2.102	1.711	22.85	0.03	0.1"	0.8
					0.2"	1.0

CBR natural – CBR saturado (calicata 05 - M1)



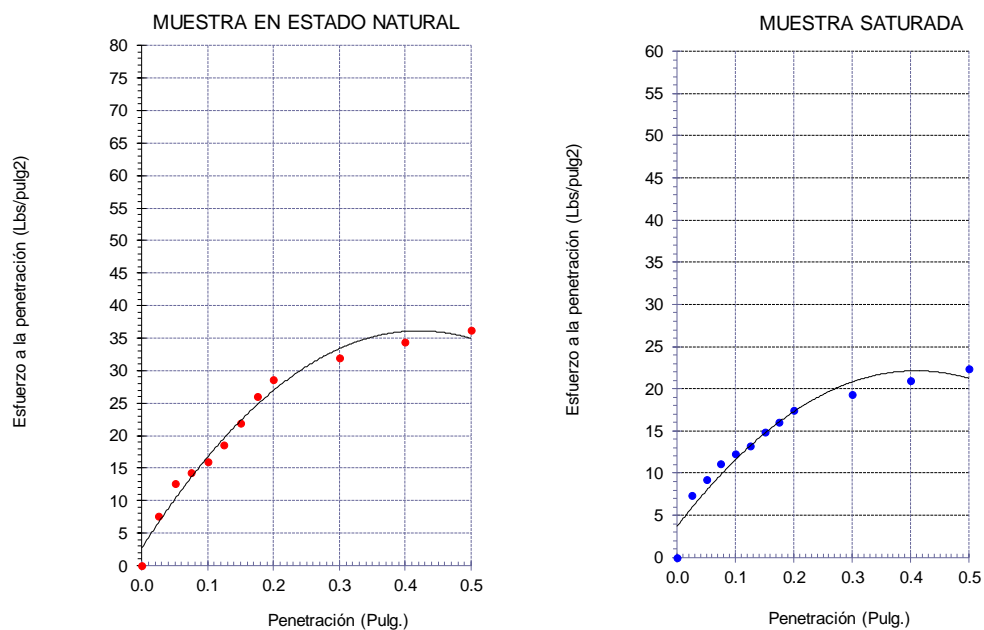
UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN
 FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO
 ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

INFORME DE ENSAYO

(Pág. 01 de 01)

AUTOR : CARRASCO MENDOZA, Bayron Alexis
 TESIS : CORRELACIÓN DEL VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) CON LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN INCONFINADA EN SUELOS COHESIVOS EN EL DISTRITO DE PIMENTEL, PROVINCIA DE CHICLAYO, REGIÓN LAMBAYEQUE
 ENSAYO : CBR EN EL TERRENO (CBR IN SITU)
 NORMA DE REFERENCIA : N.T.P. 339.145 / ASTM D-4429
 Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración

DIAGRAMA DE PENETRACIÓN DE ESPECIMENES INALTERADAS SIN SATURAR Y SATURADAS.



Ensayo	Densidad Humeda (g/cm ³)	Densidad Seca (g/cm ³)	Humedad (%)	Expansión (%)	CBR a la penetración (Pulg.)	CBR (%)
Estado Natural	2.079	1.766	17.67	---	0.1"	1.4
					0.2"	1.7
Saturada	2.133	1.731	23.21	0.04	0.1"	0.8
					0.2"	1.0

CBR natural – CBR saturado (calicata 06 - M1)



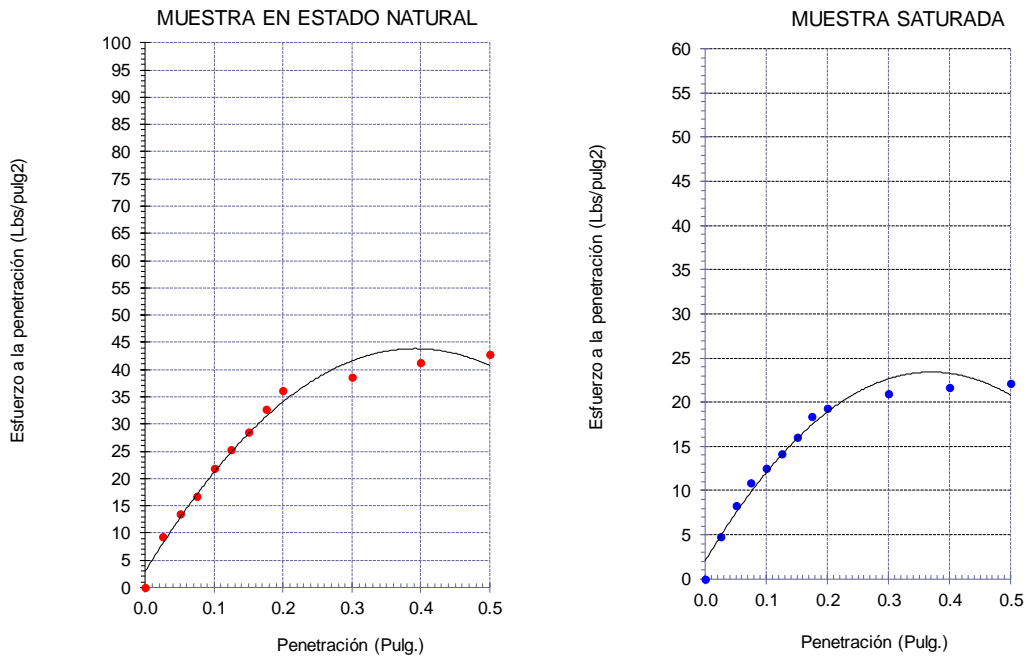
UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN
 FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO
 ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

INFORME DE ENSAYO

(Pág. 01 de 01)

AUTOR : CARRASCO MENDOZA, Bayron Alexis
 TESIS : CORRELACIÓN DEL VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) CON LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN INCONFINADA EN SUELOS COHESIVOS EN EL DISTRITO DE PIMENTEL, PROVINCIA DE CHICLAYO, REGIÓN LAMBAYEQUE
 ENSAYO : CBR EN EL TERRENO (CBR IN SITU)
 NORMA DE REFERENCIA : **N.T.P. 339.145** / ASTM D-4429
 : Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración

DIAGRAMA DE PENETRACIÓN DE ESPECIMENES INALTERADAS SIN SATURAR Y SATURADAS.



Ensayo	Densidad Humeda (g/cm3)	Densidad Seca (g/cm3)	Humedad (%)	Expansión (%)	CBR a la penetración (Pulg.)	CBR (%)
Estado Natural	2.105	1.988	5.85	---	0.1"	1.9
					0.2"	2.2
Saturada	2.183	1.707	27.86	0.02	0.1"	1.0
					0.2"	1.2

CBR natural – CBR saturado (calicata 07 - M1)



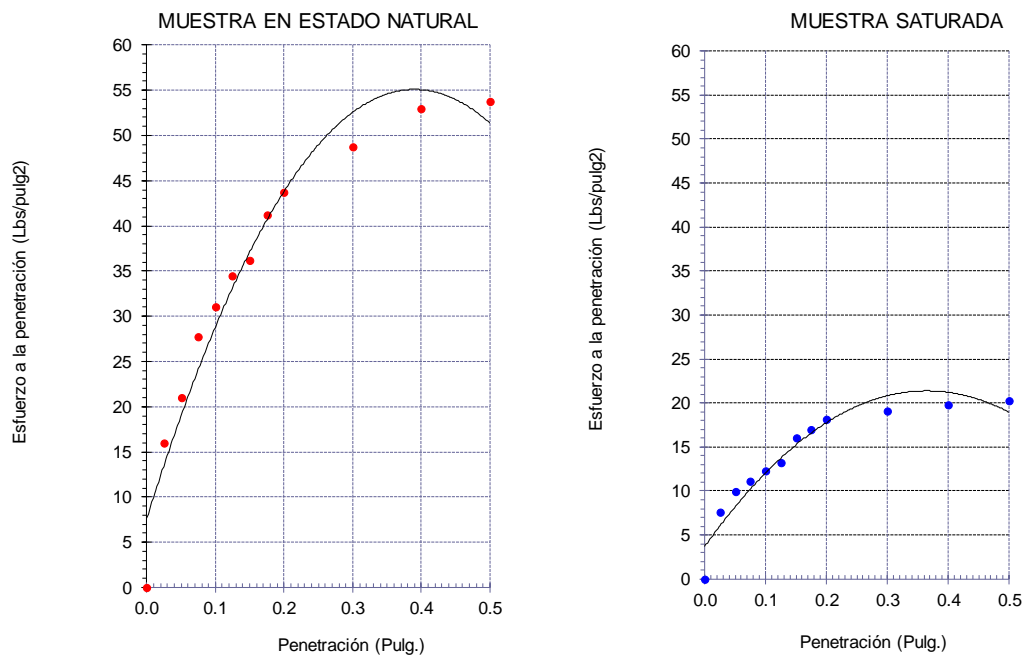
UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN
FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO
ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

INFORME DE ENSAYO

(Pág. 01 de 01)

AUTOR : CARRASCO MENDOZA, Bayron Alexis
 TESIS : CORRELACIÓN DEL VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) CON LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN INCONFINADA EN SUELOS COHESIVOS EN EL DISTRITO DE PIMENTEL, PROVINCIA DE CHICLAYO, REGIÓN LAMBAYEQUE
 ENSAYO : CBR EN EL TERRENO (CBR IN SITU)
 NORMA DE REFERENCIA : **N.T.P. 339.145** / ASTM D-4429
 : Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración

DIAGRAMA DE PENETRACIÓN DE ESPECIMENES INALTERADAS SIN SATURAR Y SATURADAS.



Ensayo	Densidad Humeda (g/cm3)	Densidad Seca (g/cm3)	Humedad (%)	Expansión (%)	CBR a la penetración (Pulg.)	
					0.1"	0.2"
Estado Natural	1.868	1.471	26.99	---	2.2	2.6
Saturada	1.944	1.486	30.80	0.04	0.9	1.0

CBR natural – CBR saturado (calicata 08 - M1)



UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN
 FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO
 ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

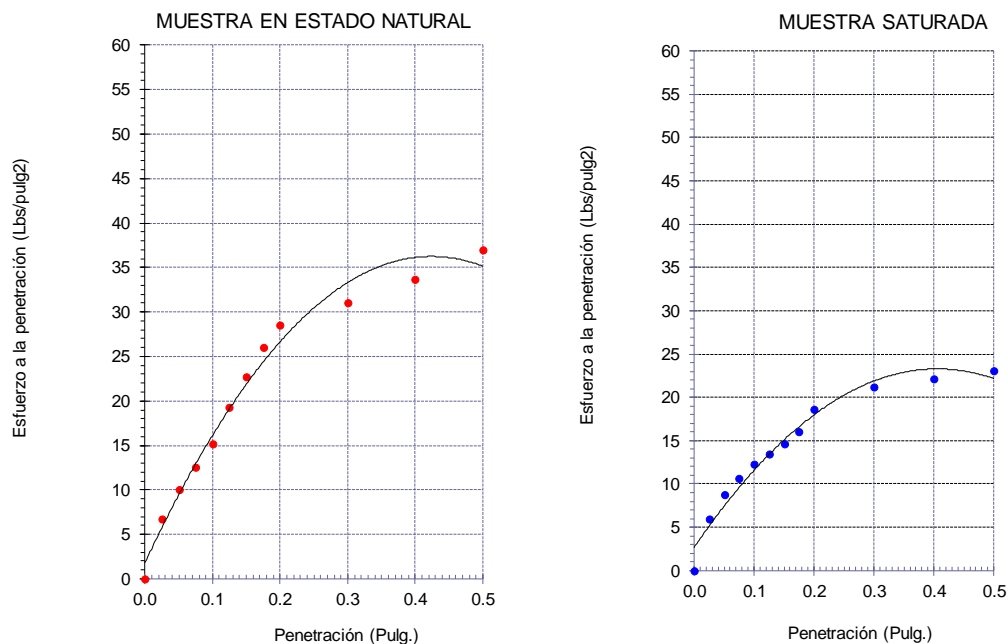
INFORME DE ENSAYO

(Pág. 01 de 01)

AUTOR :
 TESIS :
 ENSAYO :
 NORMA DE REFERENCIA :
 :

: CARRASCO MENDOZA, Bayron Alexis
 : CORRELACIÓN DEL VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) CON LA RESISTENCIA A LA
 : COMPRESIÓN INCONFINADA EN SUELOS COHESIVOS EN EL DISTRITO DE PIMENTEL, PROVINCIA DE
 CHICLAYO, REGIÓN LAMBAYEQUE
 : CBR EN EL TERRENO (CBR IN SITU)
 : **N.T.P. 339.145 / ASTM D-4429**
 : Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos
 compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración


DIAGRAMA DE PENETRACIÓN DE ESPECIMENES INALTERADAS SIN SATURAR Y SATURADAS.



Ensayo	Densidad Humeda (g/cm3)	Densidad Seca (g/cm3)	Humedad (%)	Expansión (%)	CBR a la penetración (Pulg)	CBR (%)
Estado Natural	1.387	1.033	34.21	---	0.1"	1.5
					0.2"	1.7
Saturada	1.391	0.941	47.79	0.03	0.1"	0.9
					0.2"	1.1

ANEXO 04

Compresión inconfínada (calicata 01 - M1)



UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN

FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO

ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

TESIS : CORRELACIÓN DEL VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) CON LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN INCOFINADA EN SUELOS COHESIVOS EN EL DISTRITO DE PIMENTEL, PROVINCIA DE CHICLAYO, REGIÓN LAMBAYEQUE

AUTOR : Bach. CARRASCO MENDOZA, Bayron Alexis.

UBICACIÓN : Disto. Pimentel, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque

TIPO DE SUELO:	CL
Calicata:	C1
Muestra	M1

Dimensiones de la Muestra (Tamaño de la Probeta ya Tallada)

Dímetro promedio inicial (cm)	4.02
Altura promedio inicial (cm)	8.04
Relación Altura/Dímetro:	2.00050
Ok, Lado. Base, Lo ≥35 mm. (1.4")	
Ok, Cumple con la Relación Ho/Lo ≥2	
Área inicial promedio (cm ²):	12.69234848
Volumen, Vo (cm ³):	102.07186647

Determinación del Contenido de Agua

Peso Suelo Húmedo + Cazuela:	320.38
Peso Suelo Seco + Cazuela:	281.35
Peso de la Cazuela:	40.00
Peso del Suelo Seco:	241.35
Peso del Agua:	39.03
% de Humedad:	16.2 %

Pesos Unitarios

Peso Unit. Húmedo, γ _t (ton/m ³):	2.747
Peso Unit. Seco, γ _d (ton/m ³):	2.365

Constante del Anillo de Carga

Factor K [Kg/pg]: 108.64

Resist. Comp. No-confínada, Max[σ₁-σ₃]_f

Qu = 0.42 kg/cm² = 41.27 Kpa

Resistencia al Corte No Drenada, Tf

Cu = Su = 0.21 kg/cm² = 20.63 Kpa

Ángulo de fricción interna, Φ = 0.0

Consistencia del suelo

Blanda

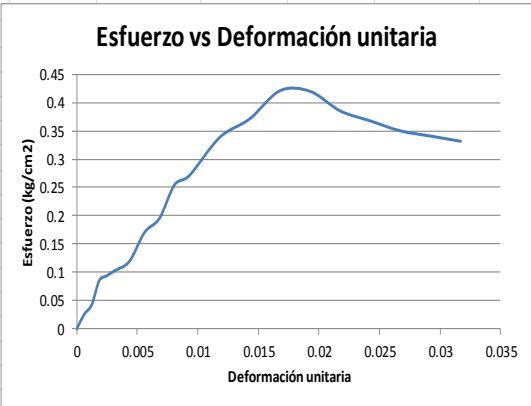
Muestra Ensayada

Dímetro promedio final (cm)	4.22
Altura promedio final (cm)	8.02
Área final promedio (cm ²):	13.98668465
Volumen final, Vo (cm ³):	112.1732109

Consistencia del suelo	Resistencia a la Compresión no confinada	
	kg/cm ²	(kPa)
Muy blanda	< 0.25	(< 25)
Blanda	0.25-0.50	(25- 50)
Mediana	0.50-1.00	(50-100)
Firme	1.00-2.00	(100-200)
Muy firme	2.00-4.00	(200-400)
Dura	> 4.00	(> 400)


ENSAYO DE COMPRESIÓN INCOFINADA EN SUELOS COHESIVOS

TIEMPO	MICROMETRO DE CARGA	CARGA AXIAL (KG)	DIAL DE DEFORMACION	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO (KG/CM2)
0'00"	0.000	0	0	0	0	0	0
15"	0.003	0.325920	0.005	0.005	0.000621736	12.7002447	0.025662498
30"	0.005	0.543200	0.005	0.010	0.001243472	12.7081507	0.042744221
45"	0.010	1.086400	0.005	0.015	0.001865208	12.7160666	0.085435224
1' 00"	0.011	1.195040	0.005	0.020	0.002486944	12.7239923	0.093920208
1' 15"	0.012	1.303680	0.005	0.025	0.003108679	12.731928	0.102394547
1' 30"	0.014	1.520960	0.010	0.035	0.004352151	12.747829	0.119311296
1' 45"	0.020	2.172800	0.010	0.045	0.005595623	12.7637697	0.17023184
2' 00"	0.023	2.498720	0.010	0.055	0.006839095	12.7797504	0.195521815
2' 15"	0.030	3.259200	0.010	0.065	0.008082567	12.7957712	0.254709151
2' 30"	0.032	3.476480	0.010	0.075	0.009326038	12.8118321	0.271349169
2' 45"	0.040	4.345600	0.020	0.095	0.011812982	12.8440753	0.338334983
3' 00"	0.044	4.780160	0.020	0.115	0.014299925	12.8764812	0.371231855
3' 15"	0.050	5.432000	0.020	0.135	0.016786869	12.909051	0.420790032
3' 30"	0.050	5.432000	0.020	0.155	0.019273812	12.941786	0.419725684
3' 45"	0.046	4.997440	0.020	0.175	0.021760756	12.9746875	0.385168429
4' 00"	0.044	4.780160	0.020	0.195	0.024247700	13.0077567	0.367485349
4' 15"	0.042	4.562880	0.020	0.215	0.026734643	13.0409948	0.349887417
4' 30"	0.041	4.454240	0.020	0.235	0.029221587	13.0744033	0.340683999
4' 45"	0.040	4.345600	0.020	0.255	0.031708530	13.1079834	0.331523155
5' 00"							



Esfuerzo vs Deformación unitaria

Compresión inconfiada (calicata 02 - M1)



UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN
 FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO
 ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

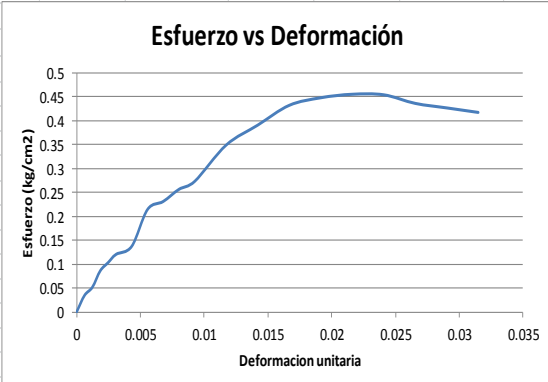
TESIS : CORRELACIÓN DEL VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) CON LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN INCOFINADA EN SUELOS COHESIVOS EN EL DISTRITO DE PIMENTEL, PROVINCIA DE CHICLAYO, REGIÓN LAMBAYEQUE

AUTOR : Bach. CARRASCO MENDOZA, Bayron Alexis.

UBICACIÓN : Disto. Pimentel, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque

Calicata: **C2**
 Muestra: **M2**

Dimensiones de la Muestra (Tamaño de la Probeta ya Tallada)		ENSAYO DE COMPRESIÓN INCONFINADA EN SUELOS COHESIVOS							
Diametro promedio inicial (cm)	4.01	TIEMPO	MICROMETR O DE CARGA	CARGA AXIAL (KG)	DIAL DE DEFORMACION	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO (KG/CM2)
Altura promedio inicial (cm)	8.10	0'00"	0.000	0	0	0	0	0	0
Relación Altura/Diámetro:	2.01995	15"	0.004	0.434784	0.005	0.005	0.000617284	12.6370817	0.034405412
Ok, Lado. Base. Lo \geq 35 mm. (1.4")		30"	0.006	0.652176	0.005	0.010	0.001234568	12.644892	0.051576241
Ok, Cumple con la Relación Ho/Lo \geq		45"	0.010	1.086960	0.005	0.015	0.001851852	12.652712	0.085907275
Area inicial promedio (cm ²):	12.62928101	1' 00"	0.012	1.304352	0.005	0.020	0.002469136	12.6605416	0.103024976
Volumen, Vo (cm ³):	102.29717616	1' 15"	0.014	1.521744	0.005	0.025	0.003086420	12.6683809	0.120121427
Determinación del Contenido de Agua		1' 30"	0.016	1.739136	0.010	0.035	0.004320988	12.6840888	0.137111623
Peso Suelo Húmedo + Cazuela:	324.64	1' 45"	0.025	2.717400	0.010	0.045	0.005555556	12.6998356	0.213971273
Peso Suelo Seco + Cazuela:	291.16	2' 00"	0.027	2.934792	0.010	0.055	0.006790123	12.7156216	0.230802086
Peso de la Cazuela:	40.00	2' 15"	0.030	3.260880	0.010	0.065	0.008024691	12.7314469	0.256127997
Peso del Suelo Seco:	251.16	2' 30"	0.032	3.478272	0.010	0.075	0.009259259	12.7473117	0.27286318
Peso del Agua:	33.48	2' 45"	0.041	4.456536	0.020	0.095	0.011728395	12.77916	0.348734657
% de Humedad:	13.3 %	3' 00"	0.046	5.000016	0.020	0.115	0.014197531	12.811168	0.390285727
Pesos Unitarios		3' 15"	0.051	5.543496	0.020	0.135	0.016666667	12.8433366	0.431624286
Peso Unit. Húmedo, γ (ton/m ³):	2.782	3' 30"	0.053	5.760888	0.020	0.155	0.019135802	12.8756672	0.447424424
Peso Unit. Seco, γ_d (ton/m ³):	2.455	3' 45"	0.054	5.869584	0.020	0.175	0.021604938	12.908161	0.454718839
Constante del Anillo de Carga		4' 00"	0.054	5.869584	0.020	0.195	0.024074074	12.9408192	0.453571284
Resist. Comp. No-confiada, $\text{Max}[\sigma_c, \sigma]_f$		4' 15"	0.052	5.652192	0.020	0.215	0.026543210	12.9736431	0.435667294
Qu = 0.45 kg/cm² = 44.59 Kpa		4' 30"	0.051	5.543496	0.020	0.235	0.029012346	13.006634	0.426205274
Resistencia al Corte No Drenada, τ_f		4' 45"	0.050	5.434800	0.020	0.255	0.031481481	13.039793	0.416785757
Cu = Su = 0.23 kg/cm² = 22.3 Kpa		5' 00"							
Ángulo de fricción interna, $\phi = 0.0$									
Consistencia del suelo									
Blanda									
Muestra Ensayada									
Diametro promedio inicial (cm)	4.2								
Altura promedio inicial (cm)	8.00								
Area inicial promedio (cm ²):	13.8544236								
Volumen final, Vo (cm ³):	110.8353888								
Consistencia del suelo	Resistencia a la Compresión no confiada								
		kg/cm ²	(kPa)						
	Muy blanda	< 0.25	(< 25)						
	Blanda	0.25-0.50	(25-50)						
	Mediana	0.50-1.00	(50-100)						
	Firme	1.00-2.00	(100-200)						
Muy firme	2.00-4.00	(200-400)							
Dura	> 4.00	(> 400)							



Esfuerzo vs Deformación

Compresión inconfínada (calicata 03 - M1)



UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN
 FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO
 ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

TESIS : CORRELACIÓN DEL VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) CON LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN INCONFINADA EN SUELOS COHESIVOS EN EL DISTRITO DE PIMENTEL, PROVINCIA DE CHICLAYO, REGIÓN LAMBAYEQUE

AUTOR : Bach. CARRASCO MENDOZA, Bayron Alexis.

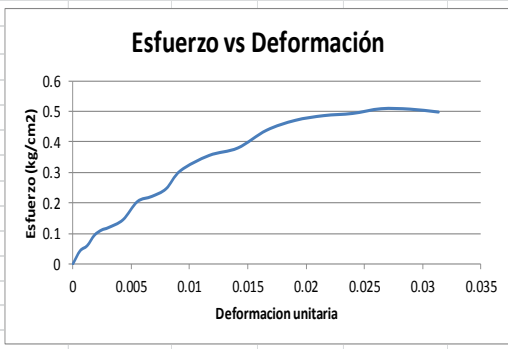
UBICACIÓN : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque

Calicata:	C3
Muestra	M1

Dimensiones de la Muestra (Tamaño de la Probeta ya Tallada)	
Díametro promedio inicial (cm)	4.02
Altura promedio inicial (cm)	8.13
Relación Altura/Díametro:	2.02239
Ok, Lado. Base, Lo ≥ 35 mm. (1.4")	
Ok, Cumple con la Relación Ho/Lo ≥ 2	
Área inicial promedio (cm ²):	12.69234848
Volumen, Vo (cm ³):	103.18879314
Determinación del Contenido de Agua	
Peso Suelo Húmedo + Cazueta:	342.87
Peso Suelo Seco + Cazueta:	319.58
Peso de la Cazueta:	40.00
Peso del Suelo Seco:	279.58
Peso del Agua:	23.29
% de Humedad:	8.3 %
Pesos Unitarios	
Peso Unit. Húmedo, γ [ton/m ³):	2.935
Peso Unit. Seco, γ_d [ton/m ³):	2.709
Constante del Anillo de Carga	
Factor K [Kg/pg]:	108.6960
Resist. Comp. No-confínada, $Max(\sigma_1 - \sigma_3) f$	
Qu = 0.51 kg/cm² = 49.87 Kpa	
Resistencia al Corte No Drenada, Tf	
Cu = Su = 0.25 kg/cm² = 24.94 Kpa	
Ángulo de fricción interna, $\Phi = 0.0$	
Consistencia del suelo	
Mediana	
Muestra Ensayada	
Díametro promedio inicial (cm)	4.21
Altura promedio inicial (cm)	8.01
Área inicial promedio (cm ²):	13.92047559
Volumen final, Vo (cm ³):	111.5030095

ENSAYO DE COMPRESIÓN INCONFINADA EN SUELOS COHESIVOS								
TIEMPO	MICROMETRO DE CARGA	CARGA AXIAL (KG)	DIAL DE DEFORMACION	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO (KG/CM ²)	
0'00"	0.000	0	0	0	0	0	0	
15"	0.005	0.543480	0.005	0.005	0.000615006	12.7001592	0.042793165	
30"	0.007	0.760872	0.005	0.010	0.001230012	12.7079795	0.059873562	
45"	0.011	1.195656	0.005	0.015	0.001845018	12.7158094	0.094029091	
1' 00"	0.013	1.413048	0.005	0.020	0.002460025	12.723649	0.111056821	
1' 15"	0.014	1.521744	0.005	0.025	0.003075031	12.7314982	0.119525917	
1' 30"	0.017	1.847832	0.010	0.035	0.004305043	12.7472258	0.144959541	
1' 45"	0.024	2.608704	0.010	0.045	0.005535055	12.7629923	0.204395954	
2' 00"	0.026	2.826096	0.010	0.055	0.006765068	12.7787979	0.221155074	
2' 15"	0.029	3.152184	0.010	0.065	0.007995080	12.7946427	0.24636749	
2' 30"	0.036	3.913056	0.010	0.075	0.009225092	12.8105268	0.305456292	
2' 45"	0.042	4.565232	0.020	0.095	0.011685117	12.8424136	0.355480842	
3' 00"	0.045	4.891320	0.020	0.115	0.014145141	12.8744595	0.379924298	
3' 15"	0.052	5.652192	0.020	0.135	0.016605166	12.9066658	0.437928128	
3' 30"	0.056	6.086976	0.020	0.155	0.019065191	12.9390336	0.470435133	
3' 45"	0.058	6.304368	0.020	0.175	0.021525215	12.9715642	0.486014478	
4' 00"	0.059	6.413064	0.020	0.195	0.023985240	13.0042587	0.493151061	
4' 15"	0.061	6.630456	0.020	0.215	0.026445264	13.0371185	0.508582935	
4' 30"	0.061	6.630456	0.020	0.235	0.028905289	13.0701448	0.507297823	
4' 45"	0.060	6.521760	0.020	0.255	0.031365314	13.1033388	0.497717421	
5' 00"								

Consistencia del suelo	Resistencia a la Compresión no confinada	
	kg/cm ²	(kPa)
Muy blanda	< 0.25	(< 25)
Blanda	0.25-0.50	(25-50)
Mediana	0.50-1.00	(50-100)
Firme	1.00-2.00	(100-200)
Muy firme	2.00-4.00	(200-400)
Dura	> 4.00	(> 400)



Compresión inconfínada (calicata 04 - M1)



UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN
 FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO
 ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

TESIS : CORRELACIÓN DEL VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) CON LA RESITENCIA A LA COMPRESIÓN INCONFINADA EN SUELOS COHESIVOS EN EL DISTRITO DE PIMENTEL, PROVINCIA DE CHICLAYO, REGIÓN LAMBAYEQUE

AUTOR : Bach. CARRASCO MENDOZA, Bayron Alexis.

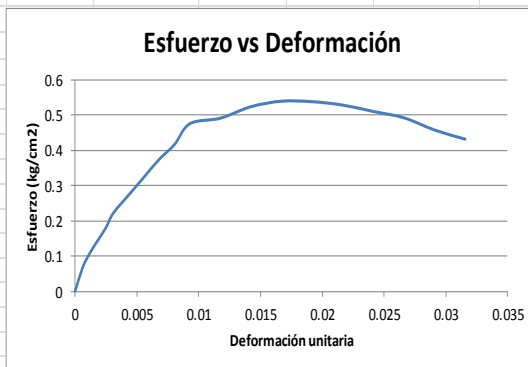
UBICACIÓN : Disto. Pimentel, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque

Calicata: **C4**
 Muestra: **M1**

ENSAYO DE COMPRESIÓN INCONFINADA EN SUELOS COHESIVOS


Dimensiones de la Muestra (Tamaño de la Probeta ya Tallada)	
Dímetro promedio inicial (cm)	4.02
Altura promedio inicial (cm)	8.08
Relación Altura/Dímetro:	2.00995
Ok, Lado. Base, Lo ≥ 35 mm. (1.4")	
Ok, Cumple con la Relación Ho/Lo ≥ 2	
Área inicial promedio (cm ²):	12.69234848
Volumen, Vo (cm ³):	102.55417572
Determinación del Contenido de Agua	
Peso Suelo Húmedo + Cazuela:	339.56
Peso Suelo Seco + Cazuela:	312.38
Peso de la Cazuela:	40.00
Peso del Suelo Seco:	272.38
Peso del Agua:	27.18
% de Humedad:	10.0 %
Pesos Unitarios	
Peso Unit. Húmeda, γ [ton/m ³]:	2.921
Peso Unit. Seco, γ_d [ton/m ³]:	2.656
Constante del Anillo de Carga	
Factor K [Kg pg.]:	108.6960
Resist. Comp. No-confínada, $Max[\sigma_1 - \sigma_3]f$	
$Q_u = 0.54 \text{ kg/cm}^2 = 52.85 \text{ Kpa}$	
Resistencia al Corte No Drenada, T_f	
$C_u = S_u = 0.27 \text{ kg/cm}^2 = 26.43 \text{ Kpa}$	
Ángulo de fricción interna, $\Phi = 0.0$	
Consistencia del suelo	
Mediana	
Muestra Ensayada	
Dímetro promedio inicial (cm)	4.19
Altura promedio inicial (cm)	7.95
Área inicial promedio (cm ²):	13.7885287
Volumen final, Vo (cm ³):	109.6188031

TIEMPO	MICROMETRO DE CARGA	CARGA AXIAL (KG)	DIAL DE DEFORMACION	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	ÁREA CORREGIDA	ESFUERZO (KG/CM2)
0'00"	0.000	0	0	0	0	0	0
15"	0.008	0.869568	0.005	0.005	0.000618812	12.7002075	0.068468802
30"	0.013	1.413048	0.005	0.010	0.001237624	12.7080763	0.111192911
45"	0.017	1.847832	0.005	0.015	0.001856436	12.7159548	0.145316024
1' 00"	0.021	2.282616	0.005	0.020	0.002475248	12.7238431	0.179396742
1' 15"	0.026	2.826096	0.005	0.025	0.003094059	12.7317412	0.221972466
1' 30"	0.032	3.478272	0.010	0.035	0.004331683	12.7475669	0.272857717
1' 45"	0.038	4.130448	0.010	0.045	0.005569307	12.7634319	0.323615781
2' 00"	0.044	4.782624	0.010	0.055	0.006806931	12.7793365	0.374246659
2' 15"	0.049	5.326104	0.010	0.065	0.008044554	12.7952808	0.416255343
2' 30"	0.056	6.086976	0.010	0.075	0.009282178	12.8112649	0.475126854
2' 45"	0.058	6.304368	0.020	0.095	0.011757426	12.8433533	0.490866200
3' 00"	0.062	6.739152	0.020	0.115	0.014232673	12.8756027	0.523404779
3' 15"	0.064	6.956544	0.020	0.135	0.016707921	12.9080146	0.538932147
3' 30"	0.064	6.956544	0.020	0.155	0.019183168	12.94059	0.537575489
3' 45"	0.063	6.847848	0.020	0.175	0.021658416	12.9733303	0.527840413
4' 00"	0.061	6.630456	0.020	0.195	0.024133663	13.0062366	0.50979051
4' 15"	0.059	6.413064	0.020	0.215	0.026608911	13.0393103	0.491825399
4' 30"	0.055	5.978280	0.020	0.235	0.029084158	13.0725527	0.457315426
4' 45"	0.052	5.652192	0.020	0.255	0.031559406	13.1059649	0.431268664
5' 00"							



Consistencia del suelo	Resistencia a la Compresión no confinada	
	kg/cm ²	(kPa)
Muy blanda	< 0.25	(< 25)
Blanda	0.25-0.50	(25- 50)
Mediana	0.50-1.00	(50-100)
Firme	1.00-2.00	(100-200)
Muy firme	2.00-4.00	(200-400)
Dura	> 4.00	(> 400)

Compresión inconfínada (calicata 05 - M1)



UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN

FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO

ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

TESIS : CORRELACIÓN DEL VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) CON LA RESITENCIA A LA COMPRESIÓN INCONFINADA EN SUELOS COHESIVOS EN EL DISTRITO DE PIMENTEL, PROVINCIA DE CHICLAYO, REGIÓN LAMBAYEQUE

AUTOR : Bach. CARRASCO MENDOZA, Bayron Alexis.

UBICACIÓN : Disto. Pimentel, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque

Calicata:	C5						
Muestra	M1						

Dimensiones de la Muestra (Tamaño de la Probeta ya Tallada)

Diametro promedio inicial (cm)	4.09
Altura promedio inicial (cm)	8.18
Relación Altura/Diámetro:	2.00000

Ok, Lado. Base, Lo ≥35 mm. (1.4")
Ok, Cumple con la Relación Ho/Lo ≥2

Area inicial promedio (cm ²):	13.13821902
Volumen, Vo (cm ³):	107.47063156

Determinación del Contenido de Agua

Peso Suelo Húmedo + Cazuela:	341.79
Peso Suelo Seco + Cazuela:	317.62
Peso de la Cazuela:	40.00
Peso del Suelo Seco:	277.62
Peso del Agua:	24.17
% de Humedad:	8.7 %

Pesos Unitarios

Peso Unit. Húmedo, γ _d [ton/m ³):	2.808
Peso Unit. Seco, γ _d [ton/m ³):	2.583

Constante del Anillo de Carga

Factor K [Kg pg]: 108.6960

Resist. Comp. No-confínada, Max[σ_{1-0.3}]f

Qu = 0.4 kg/cm² = 38.9 Kpa

Resistencia al Corte No Drenada, Tf

Cu = Su = 0.2 kg/cm² = 19.45 Kpa

Ángulo de fricción interna, Φ = 0.0

Consistencia del suelo

Blanda

Muestra Ensayada

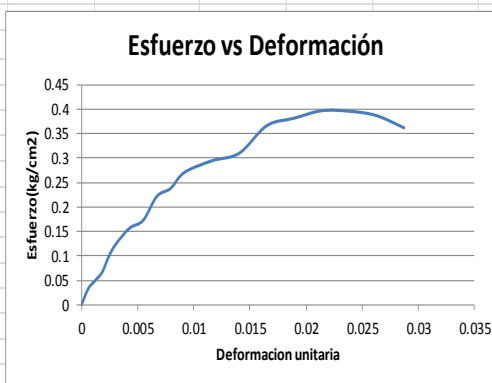
Diametro promedio inicial (cm)	4.23
Altura promedio inicial (cm)	7.98
Area inicial promedio (cm ²):	14.0530508
Volumen final, Vo (cm ³):	112.1433454

ENSAYO DE COMPRESIÓN INCONFINADA EN SUELOS COHESIVOS

TIEMPO	MICROMETRO DE CARGA	CARGA AXIAL (KG)	DIAL DE DEFORMACION	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	ÁREA CORREGIDA	ESFUERZO (KG/CM ²)
0'00"	0.000	0	0	0	0	0	0
15"	0.004	0.434784	0.005	0.005	0.000611247	13.1462546	0.033072842
30"	0.006	0.652176	0.005	0.010	0.001222494	13.1543001	0.049578921
45"	0.008	0.869568	0.005	0.015	0.001833741	13.1623554	0.066064772
1' 00"	0.012	1.304352	0.005	0.020	0.002444988	13.1704205	0.099036473
1' 15"	0.015	1.630440	0.005	0.025	0.003056235	13.1784956	0.123719736
1' 30"	0.019	2.065224	0.010	0.035	0.004278729	13.1946755	0.1565195
1' 45"	0.021	2.282616	0.010	0.045	0.005501222	13.2108951	0.172782842
2' 00"	0.027	2.934792	0.010	0.055	0.006723716	13.2271547	0.22187629
2' 15"	0.029	3.152184	0.010	0.065	0.007946210	13.2434543	0.238018264
2' 30"	0.033	3.586968	0.010	0.075	0.009168704	13.2597941	0.270514607
2' 45"	0.036	3.913056	0.020	0.095	0.011613692	13.2925951	0.294378634
3' 00"	0.038	4.130448	0.020	0.115	0.014058680	13.3255588	0.309964338
3' 15"	0.045	4.891320	0.020	0.135	0.016503667	13.3586863	0.36615277
3' 30"	0.047	5.108712	0.020	0.155	0.018948655	13.391979	0.381475508
3' 45"	0.049	5.326104	0.020	0.175	0.021393643	13.425438	0.396717335
4' 00"	0.049	5.326104	0.020	0.195	0.023838631	13.4590647	0.395726161
4' 15"	0.048	5.217408	0.020	0.215	0.026283619	13.4928602	0.386679171
4' 30"	0.045	4.891320	0.020	0.235	0.028728606	13.5268259	0.361601461
4' 45"							
5' 00"							

Consistencia del suelo	Resistencia a la Compresión no confinada	
	kg/cm ²	(kPa)
Muy blanda	< 0.25	(< 25)
Blanda	0.25-0.50	(25-50)
Mediana	0.50-1.00	(50-100)
Firme	1.00-2.00	(100-200)
Muy firme	2.00-4.00	(200-400)
Dura	> 4.00	(> 400)

Esfuerzo vs Deformación



Compresión inconfínada (calicata 06 - M1)



UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN
 FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO
 ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

TESIS : CORRELACIÓN DEL VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) CON LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN INCONFINADA EN SUELOS COHESIVOS EN EL DISTRITO DE PIMENTEL, PROVINCIA DE CHICLAYO, REGIÓN LAMBAYEQUE

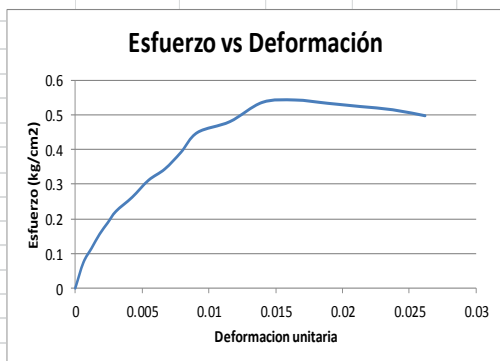
AUTOR : Bach. CARRASCO MENDOZA, Bayron Alexis.

UBICACIÓN : Disto. Pimentel, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque

Calicata: **C6**
 Muestra: **M1**

Dimensiones de la Muestra (Tamaño de la Probeta ya Tallada)		
Diametro promedio inicial (cm)	4.10	
Altura promedio inicial (cm)	8.21	
Relación Altura/Diámetro:	2.00244	
Ok, Lado. Base, Lo ≥35 mm. (1.4")		
Ok, Cumple con la Relación Ho/Lo ≥2		
Area inicial promedio (cm ²):	13.20254313	
Volumen, Vo (cm ³):	108.39287907	
Determinación del Contenido de Agua		
Peso Suelo Húmedo + Cazuela:	346.76	
Peso Suelo Seco + Cazuela:	322.12	
Peso de la Cazuela:	40.00	
Peso del Suelo Seco:	282.12	
Peso del Agua:	24.64	
% de Humedad:	8.7 %	
Pesos Unitarios		
Peso Unit. Húmedo, γ _t [ton/m ³):	2.83	
Peso Unit. Seco, γ _d [ton/m ³):	2.603	
Constante del Anillo de Carga		
Factor K [Kg pg.]:	108.6960	
Resist. Comp. No-confínada, Max{σ ₁ -σ ₃ }f		
Qu = 0.54 kg/cm² = 53.2 Kpa		
Resistencia al Corte No Drenada, Tf		
Cu = Su = 0.27 kg/cm² = 26.6 Kpa		
Ángulo de fricción interna, Φ = 0.0		
Consistencia del suelo		
Mediana		
Muestra Ensayada		
Diametro promedio inicial (cm)	4.2	
Altura promedio inicial (cm)	8.07	
Area inicial promedio (cm ²):	13.8544236	
Volumen final, Vo (cm ³):	111.8051985	
Consistencia del suelo		
	Resistencia a la Compresión no confínada	
	kg/cm ²	(kPa)
Muy blanda	< 0.25	(< 25)
Blanda	0.25-0.50	(25- 50)
Mediana	0.50-1.00	(50-100)
Firme	1.00-2.00	(100-200)
Muy firme	2.00-4.00	(200-400)
Dura	> 4.00	(> 400)

ENSAYO DE COMPRESIÓN INCONFINADA EN SUELOS COHESIVOS							
TIEMPO	MICROMETR O DE CARGA	CARGA AXIAL (KG)	DIAL DE DEFORMACION	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO (KG/CM2)
0'00"	0.000	0	0	0	0	0	0
15"	0.009	0.978264	0.005	0.005	0.000609013	13.2105886	0.074051508
30"	0.014	1.521744	0.005	0.010	0.001218027	13.2186438	0.115121038
45"	0.019	2.065224	0.005	0.015	0.001827040	13.2267089	0.156140429
1' 00"	0.023	2.500008	0.005	0.020	0.002436054	13.2347838	0.188896777
1' 15"	0.027	2.934792	0.005	0.025	0.003045067	13.2428685	0.221613013
1' 30"	0.032	3.478272	0.010	0.035	0.004263094	13.2590678	0.262331565
1' 45"	0.038	4.130448	0.010	0.045	0.005481121	13.2753067	0.311137671
2' 00"	0.042	4.565232	0.010	0.055	0.006699147	13.2915854	0.34346783
2' 15"	0.048	5.217408	0.010	0.065	0.007917174	13.3079041	0.392053321
2' 30"	0.055	5.978280	0.010	0.075	0.009135201	13.3242629	0.448676225
2' 45"	0.059	6.413064	0.020	0.095	0.011571255	13.3571015	0.480123923
3' 00"	0.066	7.173936	0.020	0.115	0.014007308	13.3901024	0.535764087
3' 15"	0.067	7.282632	0.020	0.135	0.016443362	13.4232668	0.542537978
3' 30"	0.066	7.173936	0.020	0.155	0.018879415	13.4565958	0.533116704
3' 45"	0.065	7.065240	0.020	0.175	0.021315469	13.4900907	0.523735543
4' 00"	0.064	6.956544	0.020	0.195	0.023751523	13.5237528	0.514394494
4' 15"	0.062	6.739152	0.020	0.215	0.026187576	13.5575834	0.497076198
4' 30"							
4' 45"							
5' 00"							



Compresión inconfínada (calicata 07 - M1)



UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN
 FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO
 ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

TESIS : CORRELACIÓN DEL VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) CON LA RESITENCIA A LA COMPRESIÓN INCOFINADA EN SUELOS COHESIVOS EN EL DISTRITO DE PIMENTEL, PROVINCIA DE CHICLAYO, REGIÓN LAMBAYEQUE

AUTOR : Bach. CARRASCO MENDOZA, Bayron Alexis.

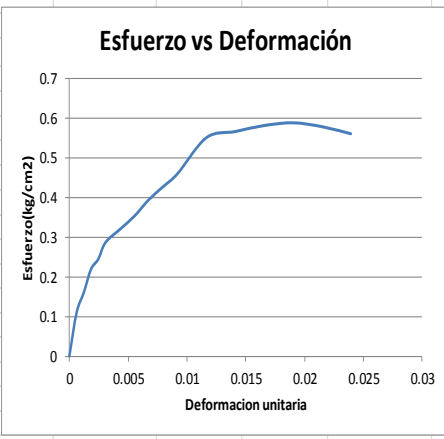
UBICACIÓN : Disto. Pimentel, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque

Calicata:	C7
Muestra	M1

Dimensiones de la Muestra (Tamaño de la Probeta ya Tallada)	
Diametro promedio inicial (cm)	4.05
Altura promedio inicial (cm)	8.15
Relación Altura/Diámetro:	2.01235
Ok, Lado. Base. Lo 235 mm. (1.4")	
Ok, Cumple con la Relación Ho/Lo 22	
Area inicial promedio (cm ²):	12.88249338
Volumen, Vo (cm ³):	104.99232101
Determinación del Contenido de Agua	
Peso Suelo Húmedo + Cazuela:	339.18
Peso Suelo Seco + Cazuela:	318.87
Peso de la Cazuela:	40.00
Peso del Suelo Seco:	278.87
Peso del Agua:	20.31
% de Humedad:	7.3 %
Pesos Unitarios	
Peso Unit. Húmedo, γ _t (ton/m ³):	2.85
Peso Unit. Seco, γ _d (ton/m ³):	2.656
Constante del Anillo de Carga	
Factor K [Kg/pg.]:	108.6400
Resist. Comp. No-confínada, Max[σ ₁ , σ ₃]f	
Qu = 0.59 kg/cm² = 57.6 Kpa	
Resistencia al Corte No Drenado, τ _f	
Cu = Su = 0.29 kg/cm² = 28.8 Kpa	
Ángulo de fricción interna, Φ = 0.0	
Consistencia del suelo	
Mediana	
Muestra Ensayada	
Diametro promedio inicial (cm)	4.16
Altura promedio inicial (cm)	8.01
Area inicial promedio (cm ²):	13.59178646
Volumen final, Vo (cm ³):	108.8702095

ENSAYO DE COMPRESIÓN INCONFINADA EN SUELOS COHESIVOS								
TIEMPO	MICROMETRO DE CARGA	CARGA AXIAL (KG)	DIAL DE DEFORMACION	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO (KG/CM2)	
0'00"	0.000	0	0	0	0	0	0	
15"	0.013	1.412320	0.005	0.005	0.000613497	12.8904016	0.109563693	
30"	0.019	2.064160	0.005	0.010	0.001226994	12.8983195	0.16003325	
45"	0.026	2.824640	0.005	0.015	0.001840491	12.9062472	0.218858352	
1' 00"	0.029	3.150560	0.005	0.020	0.002453988	12.9141846	0.243961202	
1' 15"	0.034	3.693760	0.005	0.025	0.003067485	12.9221318	0.285847572	
1' 30"	0.038	4.128320	0.010	0.035	0.004294479	12.9380556	0.319083496	
1' 45"	0.042	4.562880	0.010	0.045	0.005521472	12.9540186	0.35223664	
2' 00"	0.047	5.106080	0.010	0.055	0.006748466	12.9700211	0.393683245	
2' 15"	0.051	5.540640	0.010	0.065	0.007975460	12.9860632	0.426660483	
2' 30"	0.055	5.975200	0.010	0.075	0.009202454	13.002145	0.459554942	
2' 45"	0.066	7.170240	0.020	0.095	0.011656442	13.0344284	0.550100071	
3' 00"	0.068	7.387520	0.020	0.115	0.014110429	13.0668726	0.56536252	
3' 15"	0.070	7.604800	0.020	0.135	0.016564417	13.0994786	0.58054219	
3' 30"	0.071	7.713440	0.020	0.155	0.019018405	13.1322478	0.587366316	
3' 45"	0.070	7.604800	0.020	0.175	0.021472393	13.1651813	0.577644912	
4' 00"	0.068	7.387520	0.020	0.195	0.023926380	13.1982805	0.559733522	
4' 15"								
4' 30"								
4' 45"								
5' 00"								

Consistencia del suelo	Resistencia a la Compresión no confinada	
	kg/cm ²	(tPa)
Muy blanda	< 0.25	(< 25)
Blanda	0.25-0.50	(25-50)
Mediana	0.50-1.00	(50-100)
Firme	1.00-2.00	(100-200)
Muy firme	2.00-4.00	(200-400)
Dura	> 4.00	(> 400)



Compresión inconfínada (calicata 08 - M1)



UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN
 FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO
 ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

TESIS : CORRELACIÓN DEL VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) CON LA RESITENCIA A LA COMPRESIÓN INCOFINADA EN SUELOS COHESIVOS EN EL DISTRITO DE PIMENTEL, PROVINCIA DE CHICLAYO, REGIÓN LAMBAYEQUE

AUTOR : Bach. CARRASCO MENDOZA, Bayron Alexis.

UBICACIÓN : Disto. Pimentel, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque

Calicata:	C8						
Muestra	M1						

Dimensiones de la Muestra (Tamaño de la Probela ya Tallada)	
Diametro promedio inicial (cm)	4.08
Altura promedio inicial (cm)	8.19
Relación Altura/Diámetro:	2.00735
Ok, Lado. Base, Lo ≥35 mm. (1.4") Ok, Cumple con la Relación Ho/Lo ≥2	
Area inicial promedio (cm ²):	13.07405199
Volumen, Vo (cm ³):	107.07648577
Determinación del Contenido de Agua	
Peso Suelo Húmedo + Cazuela:	335.67
Peso Suelo Seco + Cazuela:	315.54
Peso de la Cazuela:	40.00
Peso del Suelo Seco:	275.54
Peso del Agua:	20.13
% de Humedad:	7.3 %
Pesos Unitarios	
Peso Unit. Húmedo, γ [ton/m ³]:	2.761
Peso Unit. Seco, γd [ton/m ³]:	2.573
Constante del Anillo de Carga	
Factor K [Kg pg.]:	108.6400
Resist. Comp. No-confínada, Max[σ ₁ -σ ₃]f	
Qu = 0.42 kg/cm² = 41.57 Kpa	
Resistencia al Corte No Drenada, Tf	
Cu = Su = 0.21 kg/cm² = 20.79 Kpa	
Ángulo de fricción interna, Φ = 0.0	
Consistencia del suelo	
Mediana	
Muestra Ensayada	
Diametro promedio inicial (cm)	4.17
Altura promedio inicial (cm)	8.02
Area inicial promedio (cm ²):	13.65721012
Volumen final, Vo (cm ³):	109.5308252

ENSAYO DE COMPRESIÓN INCONFINADA EN SUELOS COHESIVOS								
TIEMPO	MICROMETRO DE CARGA	CARGA AXIAL (KG)	DIAL DE DEFORMACION	DEFORMACION TOTAL	DEFORMACION UNITARIA	AREA CORREGIDA	ESFUERZO (KG/CM ²)	
0'00"	0.000	0	0	0	0	0	0	0
15"	0.005	0.543200	0.005	0.005	0.000610501	13.0820386	0.04152258	
30"	0.007	0.760480	0.005	0.010	0.001221001	13.0900349	0.058096102	
45"	0.009	0.977760	0.005	0.015	0.001831502	13.0980411	0.074649331	
1' 00"	0.013	1.412320	0.005	0.020	0.002442002	13.106057	0.107760862	
1' 15"	0.016	1.738240	0.005	0.025	0.003052503	13.1140828	0.132547585	
1' 30"	0.018	1.955520	0.010	0.035	0.004273504	13.1301638	0.148933405	
1' 45"	0.021	2.281440	0.010	0.045	0.005494505	13.1462843	0.173542573	
2' 00"	0.025	2.716000	0.010	0.055	0.006715507	13.1624445	0.20634465	
2' 15"	0.029	3.150560	0.010	0.065	0.007936508	13.1786444	0.23906556	
2' 30"	0.035	3.802400	0.010	0.075	0.009157509	13.1948843	0.288172289	
2' 45"	0.041	4.454240	0.020	0.095	0.011599512	13.2274843	0.336741279	
3' 00"	0.048	5.214720	0.020	0.115	0.014041514	13.2602459	0.393259675	
3' 15"	0.051	5.540640	0.020	0.135	0.016483516	13.2931702	0.416803511	
3' 30"	0.052	5.649280	0.020	0.155	0.018925519	13.3262583	0.423920943	
3' 45"	0.051	5.540640	0.020	0.175	0.021367521	13.3595116	0.414733723	
4' 00"	0.050	5.432000	0.020	0.195	0.023809524	13.3929313	0.405587087	
4' 15"								
4' 30"								
4' 45"								
5' 00"								

Consistencia del suelo	Resistencia a la Compresión no confinada	
	kg/cm ²	(kPa)
Muy blanda	< 0.25	(< 25)
Blanda	0.25-0.50	(25- 50)
Mediana	0.50-1.00	(50-100)
Firme	1.00-2.00	(100-200)
Muy firme	2.00-4.00	(200-400)
Dura	> 4.00	(> 400)

