

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Para seleccionar la metodología que mejore la caracterización geotécnica y determinación de la resistencia de los suelos finos de una manera más ágil, rápida y económica, ha llevado a muchos investigadores a realizar correlaciones entre diferentes ensayos.

A continuación, se presenta una breve descripción de algunas de las investigaciones en las que se han realizado correlación con el CBR con la compresión no confinada y plasticidad de los suelos.

- Rivera (2013), realizó la correlación del Valor de Soporte de California CBR con la resistencia a la compresión Inconfinada y la plasticidad del suelo para correlacionar las propiedades a través de un análisis estadístico de variables determinó el valor del CBR, con los ensayos realizados de muestras en estado natural y saturado se determinó las propiedades físicas y mecánicas, que generó alternativas que se ajusten a un modelo logarítmico entre CBR y no confinada. los resultados son aplicables para suelos finos con plasticidad con un grado de correlación 0.911%.
- Carrasco (2016), realizo la correlación del valor soporte california CBR con la resistencia a la compresión inconfinada de los suelos cohesivos que usó muestras de CBR ya sea en estado natural y saturado y mediante un modelo estadístico genero las relaciones a un modelo logarítmico entre CBR natural y la compresión inconfinada que son aplicables a suelos cohesivos finos con un grado de correlación de 83.8%.

Diseño teórico

1.2 Situación problemática

La correlación entre el CBR y la resistencia a la compresión no confinada en suelos cohesivos arcillosos puede variar en su relación estadística entre ambas propiedades por la variabilidad de suelos y por las condiciones en que se realizan los ensayos.

Aunque existen estudios previos sobre la relación entre el CBR y la compresión no confinada aún no se ha establecido una correlación universalmente aceptada especialmente para ciertos tipos de arcillas y en condiciones que presentan en nuestra región.

Si en la investigación de la correlación no se presenta una relación favorable entre el CBR y la resistencia no confinada no se permitiría realizar las estimaciones de las variables ya que por ende se elevaría los costos en término de tiempo y recursos ya sea para la caracterización en ensayos de laboratorio o realizar verificaciones o evaluaciones.

1.2.1 Problema

¿De qué manera una correlación entre el valor Soporte California y la Resistencia a la compresión no confinada proporcionarán unos datos confiables para su utilización en las diferentes áreas de la ingeniería?

1.2.2 Relevancia y factibilidad de la investigación

Las correlaciones aportan una base de datos para hacer posible la realización de la caracterización, verificación y evaluación de proyectos de carreteras y demás obras civiles por consiguiente disminuir el tiempo genera menor costo en un proyecto.

Con la correlación del CBR con la compresión no confinada de suelos cohesivos arcillosos nos aportará datos para la estimación del comportamiento geotécnico del suelo en nuestra región para su análisis, evaluaciones y estudio para diversas áreas en la ingeniería y sus aplicaciones.

La investigación es factible porque se obtendrá un estudio a base de análisis de los valores de soporte de C.B.R. con la compresión no confinada de los suelos cohesivos arcillosos en nuestra región a través del laboratorio de mecánica de suelos con la disponibilidad de los suelos cohesivos de la ciudad de Tarija para su respectiva correlación.

1.2.3 Delimitación temporal y espacial de la investigación

La investigación se desarrolló en la gestión 2024 donde se estudió y se realizó las correlaciones mediante tratamiento estadístico de los datos de ensayos obtenidos de CBR y compresión no confinada en diferentes condiciones de suelos arcillosos de nuestra región

La investigación se desarrolla con arcillas que se encuentran en la ciudad de Tarija, Bolivia en la provincia Cercado

1.3 Justificación

1.3.1 Justificación académica

Los suelos arcillosos debido a su plasticidad y sensibilidad a los cambios de humedad presentan un comportamiento geotécnico complejo y variable, una caracterización precisa de estas propiedades es fundamental para garantizar la seguridad y durabilidad de las estructuras construidas sobre ella.

El valor de soporte californiano es un índice empírico que evalúa la capacidad de carga de un suelo especialmente utilizado en el diseño de pavimentos.

Resistencia a la compresión inconfiada es un parámetro de resistencia no drenada que mide la capacidad de un suelo de soportar cargas sin deformarse excesivamente.

Ambos ensayos aportan información valiosa sobre el comportamiento del suelo, pero cada uno tiene sus limitaciones correlacionarlos permitirá obtener una visión más completa de las propiedades del suelo.

1.3.2 Justificación sobre la aplicación técnica-práctica

Con la realización de este proyecto de investigación es posible predecir un valor del CBR mediante los ensayos de Compresión no confinada en suelos cohesivos arcillosos el cual son métodos alternativos más económicos y más rápidos que el método convencional ya que se podría usar estos datos en la evaluación de pavimentos, como el CBR se utiliza ampliamente en el diseño de pavimentos al conocer su relación con los valores de la compresión inconfiada se podrá tener una mejor comprensión del comportamiento del pavimento a largo plazo.

1.3.3 Justificación e importancia social

A pesar de que existen correlaciones para obtener el CBR en función a otras propiedades del suelo, es conveniente verificar la correlación para los suelos de nuestra región y obtener además una correlación que incluya la resistencia al esfuerzo cortante mediante la compresión no confinada, con el fin de realizar mejores estimaciones y realizar una mejor caracterización del suelo.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Correlacionar el valor de soporte california con la resistencia a la compresión no confinada considerando suelos cohesivos arcillosos de baja compresibilidad para establecer su nivel de relación estadística con base a factores de correlación y determinación.

1.4.2 Objetivo específicos

- Caracterizar las propiedades los suelos cohesivos arcillosos.
- Determinar los valores de soporte california y de la resistencia la compresión no confinada.
- Correlacionar los valores de soporte california con los valores de resistencia a la compresión no confinada.
- Obtener mediante tratamiento estadístico la ecuación de correlación de las variables.

1.5 Hipótesis

El valor soporte california presenta un considerable nivel de relacionamiento con los valores de resistencia a la compresión no confinada.

1.6 Conceptualización y operacionalización de variables

1.6.1 Variable dependiente

Variable	Conceptualización	Dimensiones	Indicador	Valor/acción
CBR	El valor de soporte california es un índice empírico que evalúa la capacidad de carga de un suelo	Límite líquido	[%]	Ensayo L.L.
		Límite plástico	[%]	Ensayo L.P.
		Densidad máx.	[g/cm ³]	E. Compactación
		H. óptima	[%]	E. Compactación
		Valor soporte	[Kg/cm ²]	Ensayo CBR.

1.6.2 Variable independiente

Variable	Conceptualización	Dimensiones	Indicador	Valor/acción
Compresión no confinada	Resistencia a la compresión inconfiada es un parámetro de resistencia no drenada que mide la capacidad de un suelo de soportar cargas	Carga última	[Kg/cm ²]	Ensayo C.N.C
		Cohesión no drenada	[Kg/cm ²]	Ensayo C.N.C

Diseño metodológico

1.7 Identificación del tipo de investigación

Tipo de investigación cuantitativa en categoría de correlación ya que este estudio busca analizar la relación entre dos o más variables sin manipularlas directamente.

1.8 Unidades de estudio y decisión muestral

1.8.1. Unidad de estudio

El valor de la resistencia de las arcillas.

1.8.2. Población

Suelos arcillosos la ciudad de Tarija del departamento de Tarija provincia Cercado.

1.8.3. Muestra

Suelos arcillosos de baja comprensibilidad de la ciudad de Tarija.

1.8.4. Selección de las técnicas de muestreo

Muestreo estratificado

El muestreo estratificado es una forma de representación estadística que muestra cómo se comporta una característica o variable en una población a través de hacer evidente el cambio de dicha variable en subpoblaciones o estratos en los que se ha dividido.

La aplicación del muestro en este proyecto consiste en asignar varios extractos que tendrá un conjunto de barrios de la ciudad de Tarija del cual en cada extracto se seleccionará de manera aleatoria un barrio para obtención de muestras de suelos cohesivos para su posterior estudio.

1.9. Métodos y técnicas empleadas

1.9.1. Métodos

Empírico

El método empírico es un enfoque de investigación basado en la observación, experimentación y recolección de datos para obtener conocimientos verificables.

En la investigación sobre la correlación entre el valor de soporte de California CBR y la compresión no confinada, este método es clave porque se fundamenta en la realización de ensayos de laboratorio para obtener datos reales.

Teórico

El método teórico es un enfoque de investigación basado en el análisis, la reflexión y la sistematización de conocimientos existentes sin necesidad de experimentación directa.

En la investigación sobre la correlación entre el valor de soporte de California CBR y la compresión no confinada, este método se usa para:

Analizar teorías previas y estudios existentes sobre la relación entre CBR y compresión no confinada.

Formular hipótesis basadas en modelos matemáticos o investigaciones previas.
Interpretar los resultados experimentales desde un marco conceptual.

1.9.2. Técnicas

Observación

Con la presente técnica se recopila información a través de los sentidos o instrumentos que amplían la capacidad de observación.

Análisis de documentos:

Con la presente técnica, se obtendrá la información mediante el estudio de documentos que contengan datos, símbolos, procedimientos, etc.

1.10. Procesamiento de la información

Se realizará un análisis estadístico con la información obtenida.

1.11 Alcance de la investigación

La investigación se basa en la caracterización de suelos arcillosos de baja compresibilidad de valores de límite líquido menores a 50, se realizaron treinta muestras en las cuales se realizaron muestras de suelo compactado con humedades óptimas y densidades máximas para el ensayo CBR. al 100% de compactación y se preparó muestras inalteradas para el ensayo de compresión no confinada con eso se determinó los valores de CBR y carga última de cada uno mediante cargas aplicadas para establecer una correlación entre el CBR y compresión no confinada.

CAPÍTULO II

ASPECTOS FÍSICOS Y

MECÁNICOS DE LOS

SUELOS

COHESIVOS

CAPITULO II

ASPECTOS FÍSICOS Y MECÁNICOS DE LOS SUELOS COHESIVOS

2.1. Definición y características de los suelos cohesivos

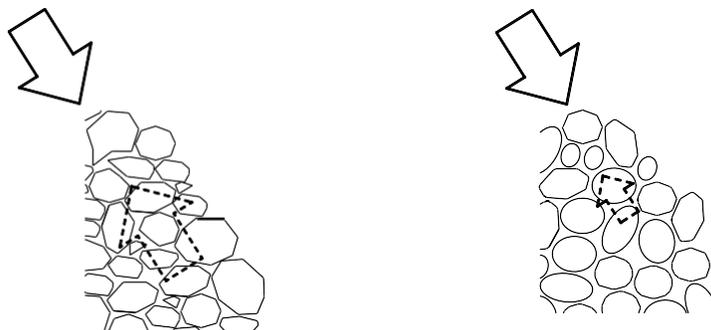
Son suelos que tienen características de cohesión y plasticidad. Este tipo de suelos pueden ser granulares con parte de arcilla o limo orgánico, que tengan cohesión y plasticidad, o pueden ser arcillas o limos orgánicos sin componentes granulares; son suelos arcillosos y limosos o sea material de grano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

2.1.1. Estructura y cohesión del suelo

Se define estructura del suelo como al arreglo geométrico de las partículas del suelo respecto unas de otras. Existen varios factores que influyen en la estructura de suelo como ser: la textura, tamaño, composición mineralógica de las partículas y el contenido de agua del suelo.

La cohesión del suelo se refiere a la capacidad que tienen las partículas del suelo de permanecer unidas como conjunto, como resultado de la trabazón conjunta o las microestructuras existentes en el suelo.

Figura 2.1 Estructuras que dan cohesión a los suelos granulares.



(a) Partículas con textura angular.

(b) Partículas con textura redondeada.

Fuente: Das B. M., 1999

2.2 Caracterización de los suelos

2.2.1. Distribución del tamaño de partículas

De acuerdo al tamaño predominante de partículas que contenga el suelo, los suelos generalmente son llamados: grava, arena, limo, arcilla o una mezcla de ellos.

Tabla 2.1 Sistemas para identificar el tamaño de partículas del suelo

Nombre de la organización	Tamaño de partículas en mm			
	Grava	Arena	Limo	Arcilla
Massachusetts Institute Technology MIT	>2	2 a 0.06	0.006 a 0.002	<0.002
U.S. Department of Agriculture USDA	>2	2 a 0.05	0.05 a 0.002	<0.003
American Association of State Highway and Transportation AASHTO	76.2 a 2	2 a 0.075	0.075 a 0.002	<0.004
Unified Soil Classification System US	75 a 4.75	4.75 a 0.075	Finos limos y arcillas <0.075	

Fuente: Das B. M., 1998

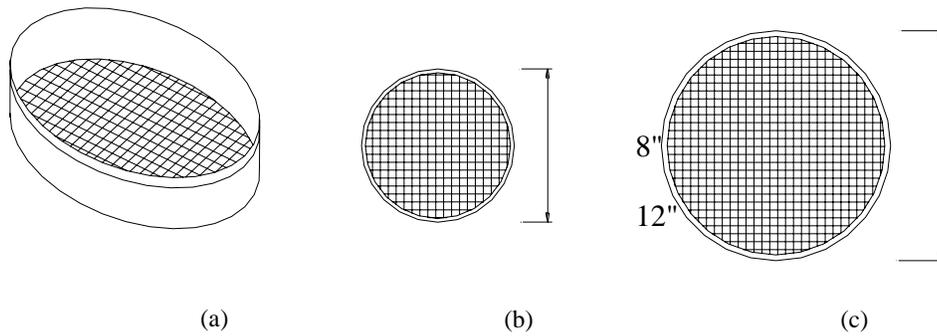
Diversas organizaciones que estudian aspectos relacionados con el suelo han elaborado sistemas de clasificación para identificar el tamaño de las partículas de un suelo para sus propósitos específicos. En la Tabla 2.1, se muestra algunos de los sistemas más conocidos empleados por estas organizaciones para identificar las partículas del suelo.

2.2.2. Análisis mecánico por tamices

Debido al tamaño de las partículas y la forma granular que presentan estos suelos, fácilmente puede clasificarse los distintos tamaños de las partículas que lo constituyen mediante tamices con diferentes aberturas. A este análisis se lo llama: análisis granulométrico del suelo.

El tamiz o criba que se muestra en la Figura 2.2.a, consiste de un plato de acero inoxidable con una malla metálica adherida en la parte inferior con aberturas de tamaño uniforme. Existen dos tamaños estándar de tamices los de 8 y 12", mostrados en la Figura 2.2.b y c, respectivamente.

Figura 2.2 Tamices para el análisis mecánico del suelo de grano grueso

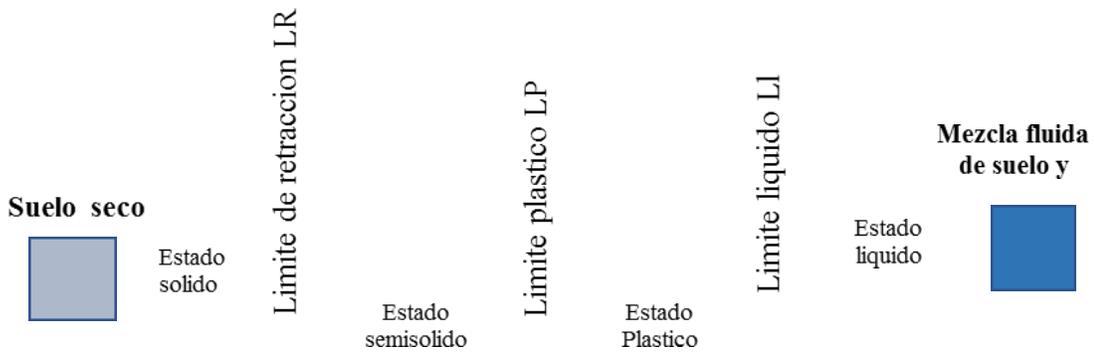


Fuente: ASTM D422 y E100, 2003

2.2.3 Límites de Atterberg

Atterberg (1911) realizó una serie de experimentos con suelos finos haciendo variar su contenido de humedad, con el objetivo de encontrar la relación que existe entre el contenido de humedad y la consistencia del suelo. Este investigador observó que para ciertos contenidos de humedad el suelo presentaba uno de los cuatro estados distintos de consistencia, que son: sólido, semisólido, plástico y líquido.

Figura 2.3 Esquema de Límites de Atterberg



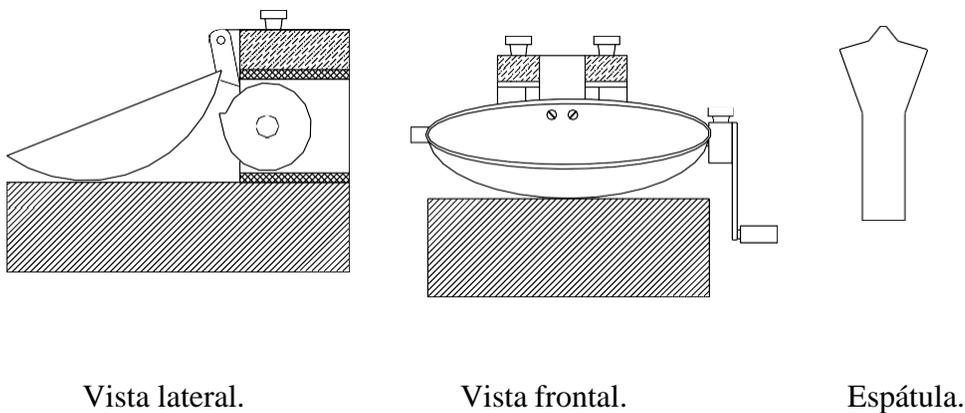
Fuente: Matías Sánchez 2010



2.2.4 Determinación del límite líquido

El límite líquido es un contenido de humedad específico que divide la consistencia plástica de la líquida del suelo. Casagrande (1975) desarrolló un método en laboratorio para determinar el límite líquido del suelo, con un aparato similar al que se muestra en la Figura 2.4, conocido como la cuchara de Casagrande.

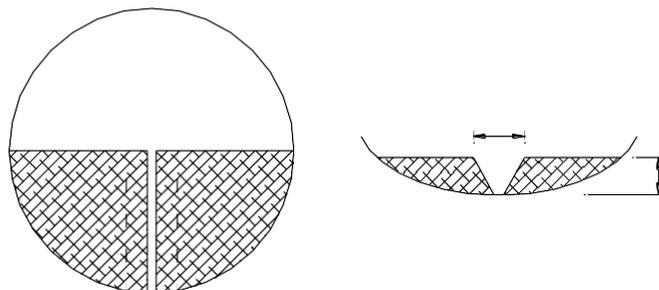
Figura 2.4 Cuchara de Casagrande



Fuente: Casagrande, 1975



Figura 2.5 División de la pasta de suelo



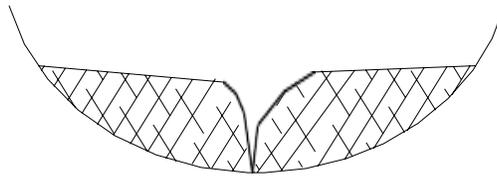
Fuente: Casagrande, 1975

Con la cuchara de Casagrande puede determinarse el límite líquido del suelo para un tamaño de partículas que pasan por el tamiz N° 40 (0.425 mm). En primer lugar, la

muestra de suelo debe ser humedecida hasta que se alcance una consistencia líquida, después, esta es esparcida uniformemente como una pasta en la cuchara del aparato, entonces se raspa la parte central de la pasta con la espátula que se muestra en la Figura 2.4 de tal forma que esta queda dividida en dos partes como se observa en la Figura 2.6.

La abertura que se hace en la pasta debe ser recta y uniforme, de tal manera que cumpla con ciertas dimensiones establecidas que se muestran en la Figura 2.6, Luego se mueve la manivela que acciona un mecanismo que da golpes a la cuchara, estos ocasionan que la abertura se cierre progresivamente. Se dan golpes hasta que la abertura se cierre en $\frac{1}{2}$ pulgada (12.7 mm) del largo total de ésta, como se ve en la Figura 2.6.

Figura 2.6 Cierre de la pasta de suelo

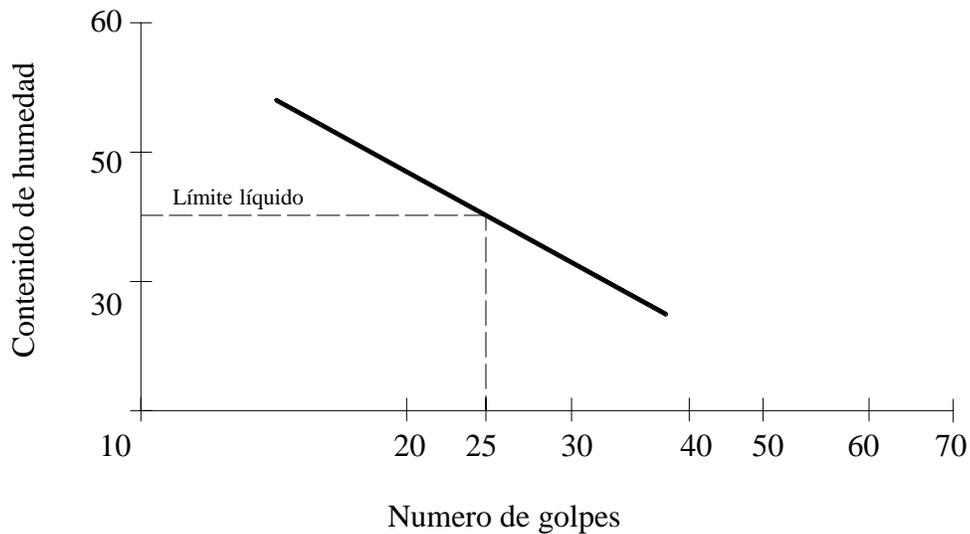


Fuente: Casagrande, 1975

Casagrande, tras realizar varios ensayos con diversos suelos, determinó empíricamente que para un contenido de humedad correspondiente al del límite líquido solo hacen falta 25 golpes para cerrar la abertura en la distancia especificada. Debido a que no es posible humedecer el suelo hasta alcanzar exactamente el límite líquido, se realizan varios ensayos con el mismo suelo y se registran ordenadamente los resultados en una Tabla. La Figura 2.7, muestra la ubicación de los resultados (mediante puntos) de cuatro ensayos para un mismo suelo, con los valores del contenido de humedad ubicados en el eje de las ordenadas y los valores del número de golpes en escala logarítmica en el eje de las abscisas, luego se ha ajustado una

curva que relaciona estos puntos. El límite líquido del suelo será el contenido de humedad que corresponde a los 25 golpes.

Figura 2.7 Determinación del límite líquido del suelo



Fuente: ASTM D4318, 2003

2.2.5 Plasticidad

La plasticidad es una propiedad característica de los suelos finos, donde el contenido de humedad del suelo está comprendido entre el límite líquido y plástico. En este estado el suelo permite ser moldeado de manera similar a la masa o la plastilina, debido a que el contenido de humedad del suelo contiene la cantidad ideal de moléculas de agua para que la fuerza de atracción entre las partículas compuestas de minerales de arcilla sea la mayor.

2.2.6 Determinación del límite plástico

Puede determinarse el límite plástico para un suelo con un tamaño de partículas que pasan el tamiz N°40, para lo cual debe humedecerse el suelo lo suficiente como para poder amasarlo, entonces sobre un papel seco en una superficie plana o encima de un vidrio deben formarse rollitos de unos 3 mm de diámetro como muestra la Figura 2.8.

Posteriormente los rollitos deben ser juntados en uno para ser amasados y nuevamente formar rollitos, a medida que se formen los rollitos el suelo progresivamente perderá humedad debido al papel y la mano, entonces llegará un momento cuando al formar el rollito el suelo empiece a disgregarse en su superficie y luego a fragmentarse (Figura 2.8. En este estado cuando el suelo empieza a perder su consistencia plástica, se procede inmediatamente a determinar su contenido de humedad

vez será el del suelo, contenido específico semisólida del suelo.



que este a la límite plástico que es un de humedad que divide la consistencia de la plástica

Figura 2.8 Determinación del límite plástico

2.2.7 Índice de plasticidad

Con el índice de plasticidad puede evaluarse el grado de amasado que permite el suelo mientras se encuentre en su consistencia plástica, este índice se define como:

Ecuación Índice de plasticidad

$$\mathbf{IP = LL - LP}$$

En la Tabla 2.2, se presentan valores del índice de plasticidad para evaluar la plasticidad del suelo.

Tabla 2.2
plasticidad

<i>IP</i>	Descripción
0 - 3	No plástico
3 - 15	Ligeramente plástico
15-30	Baja plasticidad
> 30	Alta plasticidad

**Grado de
del suelo**

Fuente: Sowers, 1979

2.2.8 Clasificación de los suelos

Dada la gran variedad con que los suelos se presentan en la naturaleza, la Mecánica de Suelos desarrolló en principio sistemas de clasificación basados en fundamentos descriptivos, debido al insuficiente conocimiento que se tenía sobre estos.

La clasificación de los suelos es la división de estos en grupos, donde los suelos incluidos en el grupo presentan características o comportamientos semejantes. El propósito principal es estimar 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 más comúnmente utilizados son: el sistema AASTHO y el USCS

2.2.9 Clasificación de los suelos según el SUCS

Según el SUCS, los suelos se pueden clasificar en tres grandes grupos:

Suelos de grano grueso o granulares:

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:

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. (Bureau of Reclamation, 1998)

En el siguiente cuadro, se presenta el tamaño de grano para diferentes tipos de suelo.

Tabla 2.3: Tamaño de grano de suelos según el SUCS.

Tamaño de grano	
Tipo de suelo	Tamaño (mm)
Gravas	≥ 4.74
Arenas	4,74-0.074
Limos	0.074- 0.002
Arcillas	≤ 0.002

Fuete: Adaptada de Das, (2001)

El SUCS se basa en un grupo de símbolos, que consisten en un prefijo que designa la distribución granulométrica del suelo y un sufijo que matiza sus propiedades.

Tabla 2.4: Símbolos de grupo SUCS. Adaptada de Bañón & Beviá, 2000

TIPO DE SUELO	PREFIJO	SUBGRUPO	SUFIJO
Grava	G	Bien gradado	W
Arena	S	Pobremente gradado	P
Limo	M	limoso	M
Arcilla	C	arcilloso	C
Orgánico	O	De alta plasticidad	L
Turba	PT	De baja plasticidad	H

Fuente: Adaptada de Bañón & Beviá, 2000

En función de estos símbolos, pueden establecerse diferentes combinaciones que definen los diferentes tipos de suelo, según el SUCS.

Tabla 2.5 Nombres de grupo para suelos finos inorgánicos

Símbolo de Grupo	R200	SF/GF	GF	SF	Nombre de Grupo
CL					Arcilla magra
	15 a 29	≥ 1			Arcilla magra con arena
		< 1			Arcilla magra con grava
	≥ 30	≥ 1	< 15		Arcilla magra arenosa
		≥ 1	≥ 15		Arcilla magra arenosa con grava
		< 1		< 15	Arcilla magra gravosa
		< 1		≥ 15	Arcilla magra gravosa con arena
ML	< 15				Limo
	15 a 29	≥ 1			Limo con arena
		< 1			Limo con grava
	≥ 30	≥ 1	< 15		Limo arenoso
		≥ 1	≥ 15		Limo arenoso con grava
		< 1		< 15	Limo gravoso
		< 1		≥ 15	Limo gravoso con arena
CL-ML	< 15				Arcilla limosa
	15 a 29	≥ 1			Arcilla limosa con arena
		< 1			Arcilla limosa con grava
	≥ 30	≥ 1	< 15		Arcilla limosa arenosa
		≥ 1	≥ 15		Arcilla limosa arenosa con grava
		< 1		< 15	Arcilla limosa gravosa
		< 1		≥ 15	Arcilla limosa gravosa con arena
CH	< 15				Arcilla grasa
	15 a 29	≥ 1			Arcilla grasa con arena
		< 1			Arcilla grasa con grava
	≥ 30	≥ 1	< 15		Arcilla grasa arenosa
		≥ 1	≥ 15		Arcilla grasa arenosa con grava
		< 1		< 15	Arcilla grasa gravosa
		< 1		≥ 15	Arcilla grasa gravosa con arena

MH	<15				Limo elástico
	15 a 29	≥ 1			Limo elástico con arena
		<1			Limo elástico con grava
	≥ 30	≥ 1	<15		Limo elástico arenoso
		≥ 1	≥ 15		Limo elástico arenoso con grava
		<1		<15	Limo elástico gravoso
		<1		≥ 15	Limo elástico gravoso con arena
Nota: R_{200} =porcentaje de suelo retenido sobre el tamiz No. 200; fracción de arena = porcentaje del suelo que pasa el tamiz N° 4 pero retenidos sobre el tamiz N° 200 = $R_{200} - R_4$; fracción de grava = porcentaje del suelo que pasa el tamiz de 3-in. pero retenido sobre el tamiz No. 4 = R_4 .					

Norma ASTM D-2487

2.2.10 Sistema de clasificación AASHTO

El sistema de clasificación AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) (Designación ASTM D-3282; método AASHTO M145) es uno de los primeros sistemas de clasificación de suelos, desarrollado por Terzaghi y Hogentogler en 1928. Este sistema pasó por varias revisiones y actualmente es usado para propósitos ingenieriles enfocados más en el campo de las carreteras como la construcción de los terraplenes, subrasantes, subbases y bases de las carreteras. Sin embargo, es necesario recordar que un suelo que es bueno para el uso de subrasantes de carreteras puede ser muy pobre para otros propósitos.

Este sistema de clasificación está basado en los resultados de la determinación en laboratorio de la distribución del tamaño de partículas, el límite líquido y el límite plástico.

La evaluación de los suelos dentro de cada grupo se realiza por medio de un índice de grupo, que es un valor calculado a partir de una ecuación empírica. El comportamiento geotécnico de un suelo varía inversamente con su índice de grupo, es decir que un suelo con índice de grupo igual a cero indica que es material “bueno” para la construcción de carreteras, y un índice de grupo igual a 20 o mayor, indica un material “muy malo” para la construcción de carreteras.

Los suelos clasificados dentro los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales granulares de los cuales 35% o menos de las partículas pasan a través del tamiz N°200. Los suelos

que tienen más del 35% de partículas que pasan a través del tamiz N°200 se clasifican dentro de los grupos de material fino A-4, A-5, A-6 y A-7. Estos suelos son principalmente limo y materiales de tipo arcilla.

Comparación entre los sistemas de clasificación Unificado y AASHTO

La principal diferencia en los dos sistemas de clasificación es el uso que tiene cada uno de ellos, ya que el sistema AASHTO es esencialmente para la construcción de carreteras mientras que el Unificado no presenta restricciones de ningún tipo y su uso es más general.

Ambos sistemas de clasificación están basados en los mismos ensayos de laboratorio, como la distribución de tamaño de partículas, el límite líquido y plástico, con la diferencia de que cada sistema adopta distintos valores como límites entre los tipos de suelos. Por ejemplo, el sistema AASHTO considera como suelo fino si más del 35% del total de la muestra de suelo pasa por el tamiz N°200, mientras que el sistema Unificado lo hace si más del 50% de la muestra de suelo pasa por el mismo tamiz.

En el sistema AASHTO el tamiz N°10 es el que separa la grava de la arena mientras que en el unificado es el tamiz N°4.

2.3 Caracterización mecánica

2.3.1 Compactación proctor modificado

La compactación de los suelos consiste en el mejoramiento de las propiedades ingenieriles del suelo por medio de energía mecánica. Esto se logra comprimiendo el suelo en un volumen más pequeño y así aumentando su peso específico seco (densificación). Los fundamentos de la compactación de suelos cohesivos son relativamente nuevos, R. Proctor en 1933 desarrolló los principios de la compactación en una serie de artículos. En su honor el ensayo de compactación es llamado ensayo de compactación Proctor. Proctor estableció que la compactación está en función de cuatro variables:

- Densidad del material, ρ_d .
- Contenido de humedad, w .
- Esfuerzo de compactación.
- Tipo de suelo (gradación, presencia de minerales de arcilla, etc.)

El esfuerzo de compactación es una medida de la energía mecánica aplicada a la masa del suelo. Para la compactación en campo el esfuerzo de compactación es el número de pasadas de un rodillo de cierto tipo y peso en un volumen de suelo dado.

El grado de compactación de un suelo se mide en términos de su peso específico seco. Cuando se agrega agua al suelo durante la compactación, esta actúa como un agente suavizante en las partículas del suelo (lubrica las partículas), lo que facilita que las partículas del suelo se deslicen una sobre cada otra y pasen a una configuración más densa, es decir que el peso específico seco después de la compactación al principio aumenta con el aumento del contenido de humedad.

2.3.2 Factores que afectan la compactación.

Anteriormente se vio la influencia que el contenido de agua tiene en el grado de compactación alcanzado por un suelo. Además de este, existen otros factores importantes que afectan en la eficacia de la compactación que se puede lograr en obra, como los siguientes:

- Naturaleza del suelo a compactar.
- Elección adecuada del equipo: tipo, peso, presión de inflado de neumáticos, área de contacto, frecuencia de vibración, etc.
- La energía específica de compactación (energía que se le entrega al suelo por unidad de volumen durante el proceso mecánico de que se trate).
- Contenido de humedad del suelo.
- Cantidad y espesor de las capas del terraplén.
- Número de pasadas del equipo de compactación.

2.3.3 Prueba o ensayo Proctor

Debido al rápido desarrollo en los equipos de compactación de campo, la energía de compactación en la prueba Proctor estándar empezó a no lograr representar en forma adecuada las compactaciones mayores que podían lograrse con dicho nuevo equipo. Esto condujo a una modificación en la prueba, aumentando la energía de compactación, de modo que conservando el número de golpes por capa se elevó el número de capas de 3 a 5, aumentando al mismo tiempo el peso del pisón y la altura de caída del mismo, siendo el molde es el mismo que el de la prueba estándar. Esta nueva versión revisada se la llama normalmente como la prueba Proctor modificado (ASTM D-1557 y AASHTO T-180). A continuación, se describirán todas sus especificaciones y procedimiento de compactación.

La prueba Proctor modificado es la más utilizada para la compactación en laboratorio, teniendo tres variantes en el método, que varían en función del porcentaje de tamaño de partículas presentes en la muestra de suelo. Debido a esto es que se explicará en forma más detallada el procedimiento de compactación, además de todas sus especificaciones basándose en la ASTM D1557-00.

La prueba Proctor modificado al igual que la Proctor estándar se utiliza para determinar el peso específico seco máximo y el contenido de humedad óptimo. Este ensayo se aplica solamente a suelos con menos del 30 % en peso de partículas retenidas en el tamiz de 19 mm.

Para conducir la prueba Proctor modificado, se utiliza el mismo molde con un volumen de 943.3 cm³ (1/30 pie³) como en el caso de la prueba Proctor estándar. Sin embargo, el suelo es compactado en cinco capas por un pisón que pesa 4.54 ± 0.01 kg, la caída del pisón es 457.2 ± 1.6 mm, la cara de golpe del pisón tiene un diámetro de 50.8 ± 0.25 mm.

El pisón debe ser reemplazado cuando el diámetro de la cara de golpe es desgastado o expandido en 12 mm. El número de golpes del pisón para cada capa se conserva en

25 como en el caso de la prueba Proctor estándar. El pisón debe estar equipado con un tubo que le permita desplazarse en la caída con facilidad, el tubo debe tener al menos cuatro agujeros en cada extremo espaciados 90° entre sí, el diámetro mínimo de

de 9.5
2.9.

**Figura
de**



estos
agujeros es
mm Figura

2.9 Equipo

compactación en laboratorio

Fuente: elaboración propia

Debido a que aumenta la energía de compactación, los resultados de la prueba Proctor modificado aumentan en el peso específico seco máximo del suelo. El aumento en el peso específico seco máximo es acompañado por una disminución del contenido de humedad óptimo.

Las tres variantes en el método de compactación Proctor modificado, varían en algunas especificaciones que se resumen en la Tabla 2.20. El método de

compactación se elige en función del porcentaje de tamaño de partículas presentes en la muestra de suelo. Para la selección del método de compactación el suelo debe ser tamizado a través de los tamices^{3/4} plg, 3/8 plg y N°4. Fuente: Das, B. M., 1998

En el método de compactación Proctor modificado, varían en algunas especificaciones que se resumen en la Tabla 2.20. El método de compactación se elige en función del porcentaje de tamaño de partículas presentes en la muestra de suelo. Para la selección del método de compactación el suelo debe ser tamizado a través de los tamices^{3/4} plg, 3/8 plg y N°4. Fuente: Das, B. M., 1998

Tabla 2.6 Especificaciones técnicas para la prueba de compactación Proctor según las especificaciones ASTM.

Características		Método		
		A	B	C
Molde:	- Volumen cm ³	944	944	2124
	- Diámetro mm	101.6	101.6	152.4
Pisón	- Masa kg	4.54	4.54	4.54
	- Altura de caída mm	457	457	457
Número de capas de compactación		5	5	5
Número de golpes por capa		25	25	56
Energía de compactación kN×m/m ³		2700	2700	2700
Suelo a usarse Criterio de selección:	- Pasa el tamiz			^{3/4} plg
	- Porcentaje retenido en el tamiz N° 4	N° 4	3/8 plg	
	- Porcentaje retenido en el tamiz 3/8 plg.	< 20 %	> 20 %	> 20 %
	- Porcentaje retenido en el tamiz 3/4 plg.		< 20 %	< 30 %

Fuente: ASTM, 2003

Método A utiliza como material de compactación el suelo que pasa por el tamiz N°4. Es aplicado a suelos con un porcentaje menor al 20 % de material retenido en el tamiz N°4.

Método B utiliza como material de compactación el suelo que pasa por el tamiz 3/8 plg. Es aplicado a muestras de suelo con un valor mayor al 20 % de material retenido en el tamiz N°4 y con un valor menor al 20 % de material retenido en el tamiz 3/8 plg.

Método C utiliza como material de compactación el suelo que pasa por el tamiz 3/4 plg. Es aplicado a muestras de suelo con un valor mayor al 20 % de material retenido en el tamiz 3/8 plg y con un valor menor al 30 % del material retenido en el tamiz 3/4 plg.

2.4. Relación de soporte california CBR

2.4.1 Generalidades

El ensayo C.B.R. es una prueba que se originó en el Departamento de Carreteras de California en los Estados Unidos de América en el año 1929, con el objetivo de conocer los suelos donde diseñará adecuadamente los pavimentos, la ASTM denomina el ensayo simplemente un ensayo de relación de soporte.

Este ensayo mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de densidad y humedad controladas; pero también puede operarse en forma análoga sobre muestras inalteradas tomadas del terreno.

Además, el ensayo permite evaluar la calidad relativa del suelo para subrasante, subbase y base. Dado que el comportamiento de los suelos varía de acuerdo a su grado de alteración, con su granulometría y sus características físicas, el método a seguir para determinar el C.B.R., es diferente en cada caso. Así tenemos:

- CBR: Suelos perturbados y remoldeados
- Suelos gravosos y arenosos
- Suelos cohesivos, poco plásticos y nada plásticos
- Suelos cohesivos y expansivos
- CBR suelos inalterados

- CBR in situ.

El número CBR establece una relación entre la resistencia a la penetración de un suelo y la resistencia a la misma que presenta el tipo común de piedra triturada. Estas resistencias y penetraciones estándar se muestran en la Tabla 2.5.

Tabla 2.7 Valores de Carga Unitaria Patrón

Penetración		Tiempo	Carga Unitaria Patrón	
plg.	mm		lbs ./pulg. ²	Kg/cm ²
0.025	0.63	0.30		
0.050	1.27	1.00		
0.075	1.90	1.30		
0.1	2.54	2.00	1000	70
0.15	3.81	3.00		
0.2	5.08	4.00	1500	105
0.25	6.35	5.00		
0.3	7.62	6.00	1900	133
0.4	10.16	8.00	2300	161
0.5	12.7	10.00	2600	182

Fuente: Elaboración propia

Estas lecturas se hacen si se desea definir la forma de la curva, pero no son indispensables.

Este procedimiento mide la carga necesaria para penetrar un pistón de dimensiones determinadas a una velocidad previamente fijada en una muestra compactada de suelo después de haberla sumergido en agua durante cuatro días a la saturación más desfavorable y luego de haber medido su hinchamiento.

La muestra se sumerge para prever la hipotética situación de acumulación de humedad en el suelo después de la construcción.

Tabla 2.8 Valores referenciales de CBR usos y suelos.

		Sistema de Clasificación
--	--	---------------------------------

C.B.R.	Clasificación general	Usos	UNIFICADO	AASHTO
0-3	Muy pobre	Subrasante	OH CH MH OL	A5 A6 A7
3-7	Muy pobre regular	Subrasante	OH CH MH OL	A4 A5 A6 A7
7-20	Regular	Subbase	CL ML SC SM SP	A2-A4-A6-A7
20-50	Bueno	Subbase y base	GM GC SW SM SP GP	A2-5 A-3- A2-6
>50	Excelente	Base	GW- GM	A-1 A2-4 A-3

Fuente: Joseph E. Bowles, 1981

2.4.2 Ensayo CBR en laboratorio

La relación C.B.R. generalmente se determina para 0.1” y 0.2” de penetración o sea para un esfuerzo de 1000 y 1500 libras por pulgada cuadradas en el patrón, respectivamente. De estos dos valores se usa el que sea mayor.

Con el fin de duplicar en el laboratorio la condición más crítica que se presenta en el terreno, las muestras para el ensayo del CBR se sumerge en agua hasta obtener su saturación.

Los ensayos de CBR se pueden efectuar sobre muestras compactadas en el laboratorio, sobre muestras inalterables obtenidas en el terreno y sobre suelo en sitio.

El valor de CBR usualmente se basa en la relación de carga para una penetración de 2.5mm. Sin embargo, si el valor de CBR a una penetración de 5.0 mm es mayor, el ensayo debería repetirse (ordinariamente). Si un segundo ensayo produce nuevamente un valor de CBR mayor de 5.0mm de penetración, dicho valor debe aceptarse como valor final del ensayo.

Los ensayos del CBR se hacen usualmente sobre muestras compactadas al contenido de humedad óptimo para el suelo específico, determinado utilizando el ensayo de compactación estándar (o modificación). Continuación utilizando los métodos 2 o 4 de las normas ASTM D698-70 o D1557-70 (para el molde de 15.2 cm de diámetro) se debe compactar las muestras utilizando las siguientes energías de compactación:

A menudo se compactan dos moldes de suelo, después dejarlo saturar por un periodo de 96 horas, con una sobre carga aproximadamente igual al peso del pavimento que se utilizará en el campo, pero en ningún caso el peso de la sobre carga será menor de 4.5 kg. Es necesario durante este periodo tomar registros de expansión para instantes escogidos arbitrariamente y al final del periodo de saturación se hace la penetración para obtener el valor de C.B.R. para el suelo en condiciones de saturación completa.

Para determinar los valores de CBR se coloca una sobre carga sobre la muestra de la misma magnitud del que se utilizó durante el ensayo de expansión. El ensayo sobre la muestra saturada cumple dos propósitos.

Dar importación sobre la expansión esperada en el suelo bajo la estructura de pavimentos cuando el suelo se satura.

Dar indicaciones de pérdida de resistencia debido a la saturación en el campo.

2.5 Compresion no confinada

2.5.1 Ensayo de compresión no confinada

En este ensayo se determina la resistencia a la compresión no confinada (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, 2001)

El ensayo consiste en someter una muestra cilíndrica inalterada de suelo, que tenga una relación altura- diámetro comprendida entre dos y tres, a una 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



carga

unidad

de área que genera la falla sobre el espécimen, representa la resistencia a la compresión inconfiada del suelo (Q_u).

Figura 2.10: Aplicación de carga y gráfica esfuerzo deformación

Durante la realización del ensayo se toman lecturas de la carga aplica P y de la deformación correspondiente, en ciertos intervalos de tiempo, lo que permite dibujar la curva esfuerzo vs deformación (σ - ϵ), a partir de la cual se obtiene el valor de la resistencia a la compresión inconfiada q_u .

Según el valor de la resistencia máxima a compresión simple, una arcilla se puede clasificar del modo que se indica a continuación.

Tabla 2.9 Valores de resistencia

Consistencia de suelo	Carga ultima
Muy blanda	$\leq 0,25$
blanda	0,25-0,50
media	0,50-1,00



firme	1,00-2,00
-------	-----------

Muy firme	2,00-4,00
dura	$\geq 4,00$

Fuente: Terzaghi y Peck, 1955

2.6. SUDRASANTE

2.6.1 Definición de sudrasante

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 hidráulico 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.

2.6.2. Subrasantes constituidas por limos plásticos y arcillas

La compresibilidad en suelos es la disminución del volumen de éstos cuando sobre ellos se aplican fuerzas externas. En los terrenos de fundación constituidos por limos plásticos y arcillas se pueden distinguir dos casos diferentes:

2.6.3 Subrasante constituidas por suelos de baja compresibilidad

A este grupo pertenecen las arcillas, limos y material orgánico de baja plasticidad (CL, ML, OL). En este caso no suelen presentarse problemas que influyan de forma negativa en el comportamiento de la estructura del pavimento, los asentamientos son absorbidos por toda la estructura y el terreno de fundación es capaz de soportar los esfuerzos aplicados en grandes cambios de volúmenes.

2.6.4 Subrasante constituidas por suelos de alta compresibilidad

A este grupo pertenecen las arcillas, limos y material orgánico de alta plasticidad (CH, MH, OH). Para este caso, los suelos de alta plasticidad presentan problemas de falta de resistencia y compresibilidad, ocasionando asentamientos considerables que se producen sobre estos al aplicar la sobrecarga de la estructura vial.

2.6.5 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:

- Módulo resiliente
- Relación del valor de soporte de California
- Ensayo de placa de carga (Valor K).
- Penetración dinámica con cono.

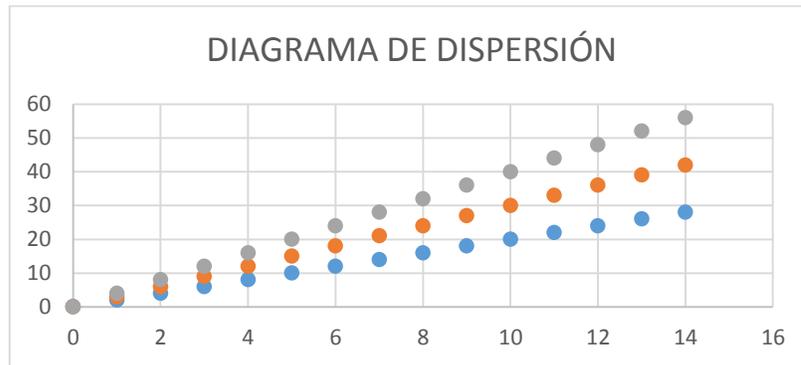
De los ensayos anteriormente mencionados el CBR es el más comúnmente utilizado para determinar la capacidad de soporte de la subrasante. El valor de CBR se utiliza para estimar el Módulo Resiliente del suelo, éste parámetro, junto con las características del nivel de tránsito, propiedades de los materiales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

2.7 Análisis estadístico

2.7.1 Marco teórico estadístico

La finalidad de la correlación es examinar la dirección y la fuerza de la asociación entre dos variables cuantitativas. Así conoceremos la intensidad de la relación entre ellas y si, al aumentar el valor de una variable, aumenta o disminuye el valor de la otra variable. Para valorar la asociación entre dos variables, la primera aproximación suele hacerse mediante un diagrama de dispersión.

Figura 2.11 Diagrama de dispersión



Fuente: elaboracion propia

En el diagrama de dispersión de la figura 2.10 parece existir una relación lineal entre el peso y el índice de masa corporal de los pacientes. Además, si nos fijamos parece que existe un dato atípico que se aleja de la nube de puntos. Con la nube de puntos podemos apreciar si existe o no una tendencia entre las dos variables, pero si queremos cuantificar esta asociación debemos calcular un coeficiente de correlación.

Hay dos coeficientes de correlación que se usan frecuentemente: el de Pearson (paramétrico) y el de Spearman (no paramétrico, se utiliza en aquellos casos donde las variables examinadas no cumplen criterios de normalidad o cuando las variables son ordinales). El coeficiente de correlación de Pearson evalúa específicamente la adecuación a la recta lineal que defina la relación entre dos variables cuantitativas. El coeficiente no paramétrico de Spearman mide cualquier tipo de asociación, no necesariamente lineal.

Si se desea medir o cuantificar el grado de asociación entre dos variables cuantitativas se debe calcular un coeficiente de correlación.

2.7.2 Coeficiente de correlación lineal de Pearson

El estimador muestral más utilizado para evaluar la asociación lineal entre dos variables X e Y es el coeficiente de correlación de Pearson (r). Se trata de un índice que mide si los puntos tienen tendencia a disponerse en una línea recta. Puede tomar valores entre -1 y $+1$. Es un método estadístico paramétrico, ya que utiliza la media,

la varianza y, por tanto, requiere criterios de normalidad para las variables analizadas. Se define como la covarianza muestral entre X e Y dividida por el producto de las desviaciones típicas de cada variable:

$$r = \frac{S_{xy}}{S_x S_Y}$$

La expresión matemática para el coeficiente de correlación de Pearson parece compleja, pero esconde un planteamiento que, en el fondo, es sencillo: “r” estará próximo a 1 (en valor absoluto) cuando las dos variables X e Y estén intensamente relacionadas, es decir, al aumentar una aumenta otra y viceversa. A este concepto de variación al unísono se le llama covarianza.

Covarianza

El numerador del coeficiente de correlación es la covarianza muestral SXY entre X e Y, que nos indica si la posible relación entre dos variables es directa o inversa. Es una medida que nos habla de la variabilidad conjunta de dos variables cuantitativas

$$S_{xy} = \sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$$

Así, si valores altos (o bajos) de X tienden a asociarse con valores altos (o bajos) de Y, el producto de las desviaciones tenderá a ser positivo y la covarianza será positiva. Por el contrario, si valores altos de una variable se relacionan con valores bajos de la otra variable, el producto de las desviaciones tenderá a ser negativo y la covarianza será negativa.

De tal modo que:

- Si $S_{xy} > 0$ las dos variables crecen o decrecen a la vez (nube de puntos creciente)
- Si $S_{xy} < 0$ cuando una variable crece, la otra tiene tendencia a decrecer (nube de puntos decreciente)
- Si los puntos se reparten con igual densidad alrededor del centro de gravedad (\bar{x}, \bar{y}) , $S_{xy} = 0$ (no hay relación lineal)

El signo de la covarianza nos dice si el aspecto de la nube de puntos es creciente o no, pero no nos dice nada sobre el grado de relación entre las variables

Figura 2.12 Interpretación geométrica de S_{xy}

Fuente: fundamentos de estadística WALPOLE

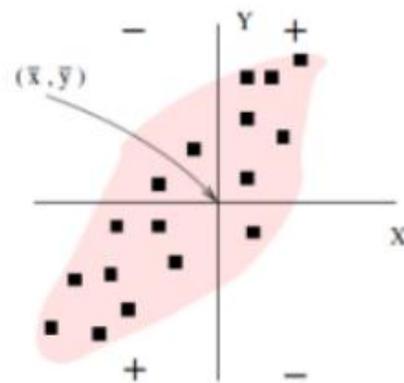
Resulta complicado determinar el grado de asociación lineal entre dos variables a partir de la magnitud de la covarianza, ya que ésta depende de las unidades de medida de las variables.

Volviendo al coeficiente de correlación lineal r , veamos qué propiedades tiene:

- Carece de unidades de medida (adimensional) • Sólo toma valores comprendidos

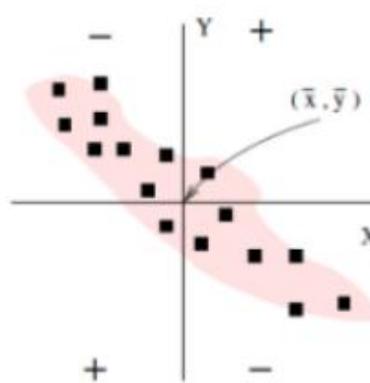
Cuando X crece Y crece

Casi todos los puntos pertenecen a los cuadrantes primero y tercero



Cuando X crece Y decrece

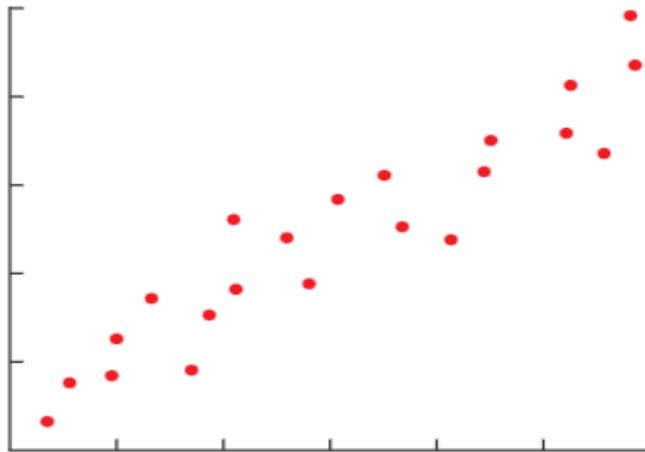
Casi todos los puntos pertenecen a los cuadrantes segundo y cuarto



entre $[-1,1]$

- Cuando $|r|$ esté próximo a uno, $r = +1$ (recta lineal creciente de izquierda a derecha) o $r = -1$ (recta lineal decreciente), se tiene que existe una relación lineal muy fuerte entre las variables

• Cuando afirmarse relación ambas dice en este variables Para mejor, siguientes diagramas de dispersión

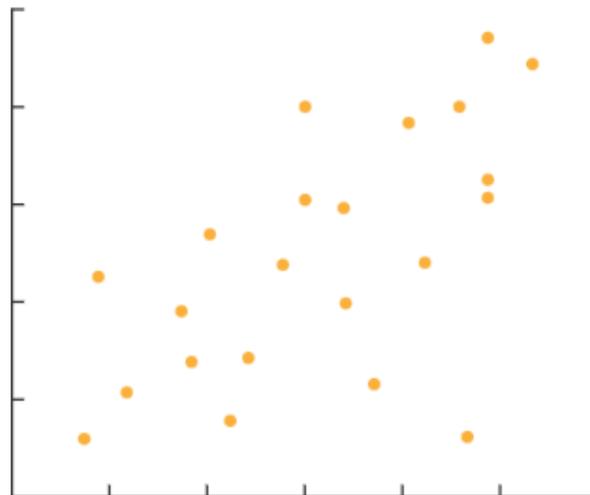


$r \approx 0$ puede que no existe lineal entre variables. Se caso que las son incorreladas entenderlo veamos los

Figura 2.13 Diagramas de dispersiones

R= 0,38

Fuente:
de estadística



fundamentos
WALPOLE

$$R= 0,85$$

Fuente: fundamentos de estadística WALPOLE

En la figura 2.13 vemos que $r = \pm 1$ es lo mismo que decir que las observaciones de ambas variables están perfectamente alineadas. El signo de r , es el mismo que el de S_{xy} , por tanto, nos indica el crecimiento o decrecimiento de la recta. La relación lineal es tanto más perfecta cuanto r está cercano a ± 1 .

En la correlación no se distingue la variable dependiente de la independiente, la correlación de X con respecto a Y es la misma que la correlación de Y con respecto a X .

Aunque la interpretación de la magnitud del coeficiente de correlación depende del contexto particular de aplicación, en términos generales se considera que una correlación es baja por debajo de 0.30 en valor absoluto, que existe una asociación moderada entre 0.30 y 0.70, y alta por encima de 0.70.

Condiciones de aplicación de la correlación:

- Variables cuantitativas: Ambas variables examinadas han de ser cuantitativas. Para variables ordinales se puede usar el coeficiente de Spearman
- Normalidad: La normalidad de ambas variables es un requisito en el caso del coeficiente de correlación de Pearson, pero no en el de Spearman
- Independencia: Las observaciones han de ser independientes, es decir, sólo hay una observación de cada variable para cada individuo. No tendría sentido, aplicar la correlación en un estudio que relacionase la ingesta diaria de sal y la tensión

intraocular si se tomaran mediciones en ambos ojos de cada individuo. En este caso hay dos observaciones por paciente que están auto correlacionadas, no son independientes; habría que considerar N como el número de pacientes y no el de ojos

2.7.3 Regresión lineal simple

La regresión está dirigida a describir cómo es la relación entre dos variables X e Y, de tal manera que incluso se pueden hacer predicciones sobre los valores de la variable Y, a partir de los de X. Cuando la asociación entre ambas variables es fuerte, la regresión nos ofrece un modelo estadístico que puede alcanzar finalidades predictivas.

2.7.4 Bondad de un ajuste

La recta de regresión por mínimos cuadrados minimiza la suma de los cuadrados de los residuos. Ahora nos preguntamos si este ajuste es lo bastante bueno. Mirando si en el diagrama de dispersión los puntos experimentales quedan muy cerca de la recta de regresión obtenida, podemos tener una idea de si la recta se ajusta o no a los datos, pero nos hace falta un valor numérico que nos ayude a precisarlo.

El coeficiente de determinación R^2

Queremos evaluar en qué grado el modelo de regresión lineal que hemos encontrado a partir de un conjunto de observaciones explica las variaciones que se producen en la variable dependiente de éstas.

La medida más importante de la bondad del ajuste es el coeficiente de determinación R^2 .

Este coeficiente nos indica el grado de ajuste de la recta de regresión a los valores de la muestra, y se define como el porcentaje de la variabilidad total de la variable dependiente Y que es explicada por la recta de regresión

Cuanto menos dispersos sean los residuos (recordad que los residuos o errores son la diferencia entre los valores observados y los valores estimados por la recta de regresión), mejor será la bondad del ajuste

$$R^2 = 1 - \frac{S_e^2}{S_Y^2}$$

Las características de este coeficiente son:

- R^2 es una cantidad adimensional que sólo puede tomar valores en $[0, 1]$
- Cuando un ajuste es bueno, R^2 será cercano a uno (mayor será la fuerza de asociación entre ambas variables)
- Cuando un ajuste es malo, R^2 será cercano a cero (la recta no explica nada, no existe asociación entre X e Y)

Puesto que R^2 nos explica la proporción de variabilidad de los datos que queda explicada por el modelo de regresión, cuanto más cercano a la unidad esté, mejor es el ajuste.

Relación entre R^2 y r

Es muy importante tener clara la diferencia entre el coeficiente de correlación y el coeficiente de determinación:

- R^2 = Mide la proporción de variación de la variable dependiente explicada por la variable independiente
- r = Mide el grado de asociación entre las dos variables

No obstante, en la regresión lineal simple tenemos que $R^2 = r^2$.

Esta relación nos ayuda a comprender por qué antes considerábamos que un valor de $r = 0.5$ era débil. Este valor representará un $R^2 = 0.25$, es decir, el modelo de regresión sólo nos explica un 25% de la variabilidad total de las observaciones.

A diferencia de R^2 que siempre es positivo, r puede ser positivo o negativo (tendrá el mismo signo que la pendiente de la recta que hemos llamado b). Por tanto, es importante tener presente que r nos da más información que R^2 . El signo de r nos informa de si la relación es positiva o negativa. Así pues, con el valor de r siempre podremos calcular el valor de R^2 , pero al revés siempre nos quedará indeterminado el valor del signo a menos que conozcamos la pendiente de la recta.

2.7.5 Statgraphics

es un software estadístico considerado como estándar, que presenta los resultados de una forma entendible para gente que no tenga grandes conocimientos de estadística, además de no utilizar programación y, por tanto, simplificar el trabajo.

Una de las aportaciones de este software es el intérprete de resultados o StatAdvisor. Esta utilidad permite interpretar estadísticamente los resultados de cualquier procedimiento, siendo de gran ayuda si no tenemos previos conocimientos de estadística y nos resulta difícil su interpretación.

Statgraphics permite realizar gran variedad de estudios estadísticos, como estadística descriptiva, modelos econométricos, análisis multivariante, diseño de experimentos, control estadístico de la calidad, etc., aunque la aportación utilizada para este estudio fue aplicar Statgraphics a la regresión no paramétrica y las predicciones.

2.7.6 Estudio de regresión

Statgraphics aporta procedimientos para realizar distintos tipos de regresión. Desde regresión simple, polinomial o múltiple. Resumen del Procedimiento Podremos ver las estimaciones de los parámetros y una serie de distintos coeficientes que pueden ser significativos en el estudio.

2.8 Citas bibliográficas

Los granos minerales que forman la fase sólida de un agregado del suelo son el producto de la intemperización y la erosión de la roca. El tamaño de los granos individuales varía en un amplio intervalo. Muchas de las propiedades físicas del suelo son dictadas por el tamaño, la forma y la composición química de los granos. Para entender mejor estos factores, uno debe estar familiarizado con los tipos de roca que forman la corteza terrestre. Con base en su origen, las rocas se pueden dividir en tres tipos básicos: ígneas, sedimentarias y metamórficas. (Braja M Das 1999 Fundamentos de Ingeniería Geotécnica <http://latinoamerica.cengage.com>)

La finalidad de la correlación es examinar la dirección y la fuerza de la asociación entre dos variables cuantitativas. Así conoceremos la intensidad de la relación entre ellas y si, al aumentar el valor de una variable, aumenta o disminuye el valor de la otra variable. Para valorar la asociación entre dos variables, la primera aproximación suele hacerse mediante un diagrama de dispersión (Ronald E. Walpole Raymond H. Myers Sharon L. Myers 2012 Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias Novena edición Pearson Educación de México, S.A. de C.V. atacomulco 500-5o. piso)

La evaluación para determinar la resistencia de la subrasante en el diseño de un pavimento generalmente se realiza utilizando ensayos que proporcionan índices relativos de la capacidad de soporte del suelo. El ensayo de C.B.R (California Bearing Ratio) es uno de los más utilizados en el diseño de estructuras de pavimentos, con el cual el índice de capacidad de soporte determinado, se utiliza para calcular el módulo resiliente para diseñar la estructura de pavimento. El presente trabajo tiene como propósito determinar la existencia o inexistencia de una correlación entre los ensayos de valor de soporte de california (C.B.R) y la compresión inconfiada, índices de plasticidad y clasificación de suelos, en suelos finos. Para dar cumplimiento a este objetivo se realizaron los ensayos de laboratorio anteriormente nombrados, a muestras de suelos extraídas de municipios aledaños a Santiago de Cali, norte del departamento del Cauca, y Popayán. (William albeiro rivera mena 2013 correlación del valor de soporte de california (c.b.r) con la resistencia a la compresión inconfiada y la plasticidad del suelo pág. 1-2)

Se encontraron dos correlaciones para obtener el CBR inalterado de suelos finos a partir de su resistencia a la compresión inconfiada. Para la transformación del CBR natural, se utilizó la raíz cuadrada, que permitió obtener un coeficiente de determinación (r^2) igual a 0,83. Para el CBR saturado, se utilizó el logaritmo, con el que el r^2 obtenido fue de 0,67. Es de esperarse que el coeficiente de determinación

del CBR disminuya para el caso saturado, debido a que el ensayo de compresión inconfina da siempre se realiza bajo condiciones de humedad natural. Las correlaciones obtenidas son aplicables a cualquier tipo de suelo, independiente de su plasticidad, humedad o consistencia. Los coeficientes r^2 encontrados se consideran suficientemente adecuados para investigaciones experimentales en ingeniería geotécnica.

(E. A. Sandoval-Vallejo y W. A. Rivera-Mena, “Correlación del CBR con la resistencia a la compresión inconfina da”, *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, vol. 29(1), pp. 135-152. <https://doi.org/10.18359/rcin.3478>)

CAPÍTULO III

DISEÑO

METODOLÓGICO

Y RELEVAMIENTO DE

LA INFORMACIÓN

CAPÍTULO III

DISEÑO METODOLÓGICO Y RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

3.1 Ubicación del suelo de estudio

Las muestras fueron extraídas en la ciudad de Tarija en los distintos barrios que conforma la ciudad en cada distrito de acuerdo a el número mínimo de puntos de extracción de muestras se determina en función de cada área de potencial interés dentro del predio estudio según lo establecido en la tabla que abarca en el número de puntos de muestreo tanto superficial como de profundidad.

Tabla 3.1 número de puntos de muestreo

área de potencial interés	Puntos de muestreo en total
0,1	4
0.5	6
1	9
2	15
3	19
4	21
5	23
10	30
15	33
20	36
25	38
30	40
40	42
50	44
100	50

Fuente: guía de muestreo de suelos DS: N002.2013-MINAM

$$N = 0.1X + 40$$

Donde:

N= Número mínimo de puntos de muestreo de suelos

X Superficie en hectáreas

A =9,6

N = 30

Tabla3.2 Puntos de extracción de muestras

ZONA	Coordenada Geográfica			Coordenada UTM		
	Latitud (s)	Longitud (w)	Altura	Este	Norte	Zona (s)
B. Morros Blancos	21°32'39.53"S	64°41'45.84"O	1868	324358.58	7616655.00	20
B. Artesanal	21°32'7.53"S	64°41'50.15"O	1894	324223.17	7617637.72	20
B. Nuevo Amanecer	21°32'0.21"S	64°41'14.58"O	1904	325244.20	7617873.85	20
B. Aeropuerto	21°32'55.89"S	64°42'18.13"O	1875	323434.47	7616141.58	20
B. San Jorge I	21°33'25.32"S	64°41'43.49"O	1860	324440.80	7615247.25	20
B. San Salvador	21°33'50.11"S	64°41'6.84"O	1852	325503.64	7614496.43	20
B. Portillo	21°34'12.45"S	64°40'21.71"O	1864	326809.08	7613823.32	20
B. El Jardín	21°33'10.02"S	64°39'40.42"O	1913	327976.51	7615755.95	20
B. Justo Juez	21°33'40.80"S	64°40'11.98"O	1857	327078.77	7614799.69	20
B. Che Guevara	21°32'45.32"S	64°39'59.95"O	1938	327406.56	7616509.67	20
B. Bolívar	21°33'5.28"S	64°41'21.64"O	1853	325062.71	7615870.47	20
B. Bartolomé Attard	21°32'11.57"S	64°42'20.80"O	1901	323342.59	7617503.94	20
B. 8 de Marzo	21°32'14.28"S	64°40'40.55"O	1910	326228.03	7617451.62	20
B. Narciso Campero	21°31'43.20"S	64°42'45.36"O	1883	322626.26	7618368.58	20
B. San Mateo	21°28'13.42"S	64°44'20.19"O	1970	319825.71	7624789.99	20
B. Jesús de Nazaret	21°30'53.72"S	64°41'39.16"O	1937	324514.77	7619910.99	20
B. Torrecillas	21°33'14.47"S	64°40'32.48"O	1873	326480.10	7615603.10	20
B. Constructor	21°31'8.64"S	64°42'52.56"O	1896	322407.51	7619429.18	20
B.16 de Diciembre	21°31'22.27"S	64°42'0.96"O	1912	323896.91	7619026.35	20
B. Los Olivos	21°30'11.05"S	64°45'13.44"O	1949	318333.49	7621155.23	20
B. Pampa Galana	21°31'21.90"S	64°41'20.96"O	1943	325048.00	7619050.00	20
B. San Luis	21°34'34.45"S	64°41'21.90"O	1843	325085.09	7613128.04	20
B: Catedral	21°33'8.25"S	64°46'10.09"O	1961	316764.79	7615687.18	20
B. Lourdes	21°30'50.54"S	64°43'42.61"O	1910	320961.00	7619970.00	20
B. 6 de Abril	21°29'29.41"S	64°42'32.90"O	1939	322940.00	7622487.00	20
B. El Trigal	21°30'25.68"S	64°42'38.38"O	1924	322801.21	7620754.78	20
B. Los Laureles	21°30'4.01"S	64°43'4.54"O	1914	322041.00	7621413.00	20
B. 24 de junio	21°30'21.70"S	64°43'45.01"O	1911	320882.00	7620856.00	20
B. Miraflores	21°33'23.55"S	64°43'46.40"O	1878	320904.00	7615263.00	20
B. 6 de Agosto	21°31'38.01"S	64°43'27.19"O	1873	321421.00	7618515.00	20

Fuente: elaboración propia

3.2 Muestreo

Antes de iniciar el proyecto se hizo un reconocimiento de campo a fin de hacer una inspección visual para recopilar toda la información y de esta manera estudiar y evaluar toda la documentación técnica disponible: mapas topográficos, imágenes satelitales e informes de investigación con relación al presente proyecto, informes de investigaciones de proyectos cercanos, similares o adyacentes.

3.2.1 Selección de la muestra

La muestra que se tomó es representativa, se extrajo de cada punto (barrios) una bolsa de 60 kilos de cada lugar (30 bolsas) para los ensayos a realizar.

En primer lugar, se realizó una inspección visual de los alrededores de la zona, se seleccionó un lugar en base a las características físicas que presentan los suelos finos arcillosos. Tomando en cuenta que el sitio no presentaba características de relleno, se trata de un corte que permitió realizar el muestreo con mayor facilidad ya que se puede observar en él el color, distribución y consistencia del mismo, además de agrietamientos producto de la pérdida de humedad.

3.2.2 Toma de muestras

Una vez identificado el punto de muestreo, se procedió a retirar todo el material de la parte expuesta a la atmosfera y como también se procedió a cavar de otros lugares que se extrajeron las muestras, hasta aproximadamente unos 120 cm de profundidad, garantizando así no tomar material contaminado.

Material utilizado en toma de muestra:

Pico, Pala, cuchara y Bolsas plásticas

Figura 3.2 Material y equipo de extracción



Fuente: elaboración propia

Figura 3.3 Extracción Barrio El Jardín



Fuen

te: elaboración propia

Se realizó la extracción del suelo en el barrio Jardín con una pala, así como un azadón y una bolsa para llevarlo posteriormente al laboratorio.

Figura 3.4 Extracción barrio San Jorge



Fuente: elaboración propia

Excavación de la muestra en barrio San Jorge I con profundidad de 1m para su posterior extracción de muestras y realizar los ensayos de laboratorio.

Figura 3.5 Extracción de muestras B. Pampa Galana



Fuente: elaboración propia

Identificación de los suelos que cumpla con las condiciones para ser usado como muestra representativa.

Figura 3.6 Extracción B. Justo Juez



Fuente: elaboración propia

Se procedió a la extracción de suelo en el barrio Justo Juez con una pala así como azadón cuchara y una bolsa para su almacenaje para su posterior estudio en el laboratorio.



Figura 3.7 Muestras extraídas de los distintos barrios

Fuente elaboración propia

Una vez extraídas todas las muestras se las almacena en bolsas de yute para su posterior uso en los ensayos de laboratorio a realizar.

Caraterización física

3.3 Ensayos de caracterización de materiales

Se procedió con la caracterización de las muestras extraídas para los ensayos en el laboratorio a realizar en los ambientes de INGEOSUD laboratorio de suelos de la ciudad de Tarija.

3.3.1 Características del suelo

Una vez extraído el material y trasladado al laboratorio de suelos, se procedió a realizar a preparar las muestras para los ensayos de caracterización de la muestra.

Cada muestra fue identificada, marcada y preparada para poder realizar los ensayos previos.

Para ello una vez llevadas al laboratorio se procedió a triturar los terrones de tierras para su posterior tamizado según la norma, así como se las identificó con número para mantener un orden manteniendo las características de su estado natural se los trajo y colocó en bolsas impermeables.

Los ensayos previos a realizar fueron según las normativas específicas previamente nombradas.

Tabla 3.3 Ensayos de laboratorio y normas

SUELOS ARCILLOSOS	
ENSAYOS	NORMATIVA
granulometría	ASTM D 6913
Límites de ATTERBERG	ASTM D 4318
Compactación Proctor	ASTM D 422
Valor de soporte california CBR	ASHTO T-193
Compresión no confinada	ASTM D 2166

Fuente: elaboración propia

3.4 Ejecución de los ensayos

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.

3.4.1 Contenido de humedad

Contenido de humedad se define como la cantidad de agua que se encuentra dentro de una muestra de suelo y se expresa en porcentaje.

$$W (\%) = (Pa / Pss) * 100$$

Donde:

W= Contenido de humedad, en por ciento

Pa= Peso del agua presente en el suelo

Pss= Peso del suelo después de secado al horno

Figura 3.8 Muestras para contenido de humedad



Fuente: elaboración propia



Figura 3.9 Muestras pesandose

Fuente: elaboración propia

Figura 3.10 Muestras para secado al horno



Fuente: elaboración propia

Una vez pesado cada muestra se identificó con número para su identificación adecuada y fue colocada al horno para proceder a pesar después de 24 hrs. Así se realizó para los 30 suelos.

3.4.2 Granulometría

Dentro del análisis de los suelos, se encuentra el de la granulometría, que no es más que obtener la distribución porcentual de los tamaños de partículas que conforman un suelo. Esto se realiza con ayuda de un juego de mallas, que tienen un tamaño graduado establecido por normas ASTM y AASTHO, en donde se obtienen los pesos retenidos para luego realizar posteriores cálculos y la curva granulométrica.

Si bien se realiza una distribución de tamaños, esto no incide en la forma que puedan tener los granos de suelo, ya que al retener material en una malla se observa diferentes tamaños y el porcentaje que se calcula está basado estrictamente en los pesos que se retiene en la malla, refiriendo al peso total que se utiliza en el ensayó.

Para suelos finos plásticos se empleó el método de lavado. Este método, se usa para el material que pasa el tamiz N° 10, donde también se puede realizar con una representación menor del peso total. Esto quiere decir que se puede usar un peso de 300 gramos aproximadamente.

Se pesó de 400 a 600gr de cada suelo.

Figura 3.11 Metodo de lavado suelo fino



Fuente: elaboración propia

Figura 3.12 Procedimiento del metodo de lavado suelo



Fuente: elaboración propia

Se procedió a lavar con el tamiz N° 200 y lo que se retenido en el tamiz se lo puso en una bandeja identificando y se puso al horno para ser pesado después de 24 hrs.

3.13



Muestras secas

Figura



Fuente: elaboración propia

Una vez seco la muestra se procedió a tamizar con los tamices N°10, N°40, N°200

Cada peso retenido en cada tamiz fue pesado.

Figura 3.14 Tamizado del suelo

Fuente: elaboración propia

En una bandeja se puso cada peso retenido del tamiz para posterior pesaje y anotación de datos en planilla.

3.4.3 Límites de Atterberg

Son contenidos de humedad específicos en los cuales el suelo se encuentra en etapa de transición, de un estado de consistencia a otro.

Definidos así por Alberto Atterberg. Originalmente delimitó seis límites en los suelos de grano fino, siendo éstos: límite superior de flujo viscoso, límite líquido, límite de pegajosidad, límite de cohesión, límite plástico y límite de contracción. Generalmente en aplicaciones recientes de ingeniería, el término “Límites de Atterberg” se refiere normalmente sólo al límite líquido y al límite plástico, en algunas referencias, el límite de contracción.

El Límite Líquido es un contenido de humedad (%) específico que divide la consistencia plástica de la líquida del suelo.

Casagrande (1932) desarrollo un método en laboratorio para determinar el límite líquido del suelo, con un aparato conocido como cuchara de Casagrande

Figura: 3.15 Preparación equipo casa grande



Fuente: elaboración propia

3.4.3.1 Determinación del límite líquido

La muestra de cada suelo fue humedecida un día antes y puesta en platos y protegidas en papel film para conservar su humedad luego colocar una muestra representativa

colocando con la espátula en el recipiente de aparato de Casagrande, se separa con



una
herra
mient
a
(ranu
rador
) , se
deja
caer
desde

una altura de un 1 cm. El cierre de esa ranura está entre los 35 y 15 golpes de la cuchara contra la base de caucho dura como mínimo se debe realizar cuatro veces por cada suelo para obtener cuatro puntos diferentes.

Figura: 3.16 Preparación de muestras

Fuente: elaboración propia

Figura:3.17 Ensayo límite líquido



Fuente:
elaboración
propia

3.4.3.2 Determinación Límite Plástico

Se llama límite plástico, la frontera convencional entre los estados semisólido y plástico; es un contenido de humedad (%), que tiene el suelo cuando el mismo

empieza a producir grietas y desmoronamientos, al construir con la mano pequeños cilindros de 3mm, de diámetro.

Una vez de haber pesado las muestras de límite líquido y de límite plástico se procedió poner en el horno para después de 24 hrs pesarlo.

Figura 3.18 Ensayo límite plástico



Fuente: elaboración propia



plástico

**Figura
3.19
Ensayo
límite**

Fuente: elaboración propia

Caracterización mecánica

3.5 Compactación Proctor

Proctor compactó muestras de suelo en un recipiente cilíndrico, utilizando diferentes contenidos de humedad. Después de compactar la muestra en el cilindro y determinar su humedad. Una vez secada las muestras de suelo en los moldes o taras se procedió a pesar el suelo seco de cada muestra. Posteriormente se pesaron las arsas para determinar su humedad y densidad, se retiraba del cilindro, se desmenuzaba y se aumentaba el agua repitiendo la operación de Compactación.

Con los valores de Densidad y Humedad, obtenidos de la Compactación de cada muestra, Proctor pudo trazar la Curva de Compactación (típica para todos los suelos), que a su vez le permitió encontrar la Densidad Máxima y la Humedad Óptima del suelo y es precisamente este método desarrollado por Proctor, el utilizado actualmente para realizar la compactación de suelos.

La Compactación es la operación o procedimiento de Estabilización Mecánica, cuyo objetivo fundamental es aumentar la Densidad del suelo, por medio de una mayor aproximación de sus partículas, lo que se consigue con una disminución del Índice de Vacíos.

Figura: 3.20 Equipo de compactación Proctor y muestras

Fuente: elaboración propia

Preparación de la muestra

Se pesan 2,5 kilos por separado en total 10 kilos para realizar la compactación de cuatro puntos como mínimo para la curva.

Así como también la muestra previamente fue preparada secada y mantenida en bolsas para que mantenga su humedad.

Procedimiento



Se prepara cada muestra mezclando en una fuente la tierra con

agua cabe recalcar que

se debe echar agua por porcentaje hasta llegar a la densidad óptima para suelos finos

hay recomendaciones de (5% - 21%) de agua según el peso de la muestra.

Figura 3.21 Preparación para el % de humedad

Fuente: elaboración propia

Se procedió a mezclar el suelo con un porcentaje determinado de agua hasta obtener la humedad óptima



establecida.

Se toman las dimensiones del molde y se compacta el suelo por capas 5 capas en total cada capa recibirá 25 golpes con el martillo.

Las capas deben ser iguales para tener una compactación correcta y más precisa.

Figura

3.22



Compactando el suelo



Fuente:

elaboración propia

Figura 3.23 Enrazado de la compactacion



Fuente: elaboración propia

Una vez se termine la compactación, la camisa superior es retirada y con ayuda de la espátula cuyas características cumplan las condiciones para el procedimiento, se lleva cabo el enrasado. En el momento de enrasar es usual que guijarros dispuestos en la superficie sean desprendidos y dejen pequeños vacíos en la misma, para tal caso se recomienda llenar dichos vacíos con suelo sobrante del tamizado.

Figura :3.24 Peso de muestras de compactación

Fuente: elaboración propia

Se desmolda la muestra y realizamos un corte vertical por la mitad, tomándose una muestra representativa, mínimamente de 100 gramos e inmediatamente debe ser pesada.

De la misma manera se procede a compactar las otras porciones, incrementando sucesivamente en un determinado porcentaje, la cantidad de agua a cada una de las muestras que se vayan compactando.

3.6 Ensayo CBR

Ensayo de relación de soporte, es el procedimiento por medio del cual mediante pruebas de laboratorio y bajo condiciones de humedad y densidad controlada se puede medir la resistencia al corte de un suelo en el estado en que este se encuentre en ese momento. El método de CBR es normalmente utilizado para analizar materiales cuyo diámetro máximo de partículas es de $\frac{3}{4}$ ".

En el diseño de pavimentos flexibles utilizados en las diferentes obras de infraestructura vial, el método del CBR se convierte en pieza clave en la búsqueda de evaluar la resistencia potencial de los materiales utilizados en la base y subbase de las estructuras y además de esto, brindando información sobre la expansión esperada en el suelo bajo la estructura de pavimento cuando el suelo se satura e indicando la pérdida de resistencia debida a la saturación en el campo.

Procedimiento

Tomar el peso del molde, el cual debe ser un dato para corroborar, pues cada molde debe tener en sus paredes exteriores los datos de su peso, altura y volumen.

Se arma el equipo de compactación, es decir base, molde, camisa superior y ajuste de tornillos. Se debe asegurar que el terreno o superficie donde la base del molde quede apoyada, sea firme y no presente deformaciones ni pendientes.

Se introduce el disco espaciador sobre la base perforada y sobre este un papel de filtro

y de esta manera asegurando que el suelo no presente adherencia con el disco durante la compactación.

Figura
de los
ensayo



3.25
Preparación
moldes de

Fuente: elaboración propia

Marcando y preparando cada molde para el ensayo según normativa.

Compactación a los 56 golpes con la humedad óptima para cada molde.

Figura: 3.26 compactación CBR

Fuente: elaboración propia

La humedad de las muestras así compactadas no debe ser ni mayor ni menor que 0.5% de la humedad óptima; de otra forma se debe repetir el ensayo.

Se compactan muestras en los moldes preparados, usando para el primero 56 golpes. Se deben tomar muestras de humedad para cada molde con anticipación. Cada capa debe ser de 1" de espesor después de compactada y la última capa debe estar ½" más arriba de la unión del molde con su collarín.

A continuación, se retira la camisa superior del molde y se enrasa la muestra, asegurando que los espacios que hayan quedado sean llenados con material más fino que los orificios producidos en el enrase. Del material sobrante se debe apartar una muestra representativa con el fin de determinar el porcentaje de humedad.

Con el fin de determinar el peso unitario del suelo, se retira el disco espaciador y se pesa el conjunto molde más suelo compactado

Luego sobre la base se coloca un papel de filtro y el molde se coloca sobre este, pero esta vez invertido, de manera que el papel de filtro quede en contacto con la superficie enrasada.

A partir de este paso, el ensayo se puede llevar a cabo de dos maneras diferentes y a saber: la primera con muestras saturadas y la segunda con muestras en condición natural.

A partir de este paso, el ensayo se puede llevar a cabo de dos maneras diferentes y a saber: la primera con muestras saturadas y la segunda con muestras en condición natural.

Método de sumergir la muestra y medir los cambios volumétricos

Con el fin de duplicar en el laboratorio las condiciones de saturación que se presentan en el terreno, la muestra preparada como se indica anteriormente, se sumerge en un recipiente. Se Preparación para el de los moldes antes del sumergimiento en el agua durante 4 días para medir la expansión, así como pesar después del sumergimiento coloca sobre la muestra sobrepeso de 5 libras (esto representa aproximadamente 3” de material). Por lo tanto, si se desea calcular el número de sobrepesos necesarios, se estima el espesor en pulgadas del material que la muestra a soportar y se divide por 3.

Se coloca un filtro de papel sobre la superficie de la muestra compactada, luego la placa perforada con su vástago y sobre esta los pesos y sobre-pesos requeridos.

Se coloca un extensómetro junto con un trípode que sirva para sostenerlo.

Se sumerge la muestra en el recipiente y se deja allí durante cuatro días hasta que esté completamente saturada y no tenga más cambios volumétricos; se debe tomar la lectura de los extensómetros todos los días.



Figura: 3.27 muestras CBR sumergidas

Fuente: elaboración propia

Al cabo de 4 días se saca el molde del agua, se seca y se deja escurrir por espacio de 15 minutos.

Se quitan los sobrepesos y se pesa la muestra saturada con el fin de apreciar la cantidad de agua absorbida por el espécimen. La muestra se encuentra lista para la penetración del pistón.

Procedimiento (Penetración del Pistón)

Se colocan de nuevo los sobrepesos sobre la muestra saturada.

Se coloca la muestra sobre la plataforma de prensa del CBR. La muestra debe estar alineada con el pistón; se levanta la plataforma por medio del gato hidráulico hasta que el pistón esté en contacto con la muestra y se le esté aplicando una carga de 10 libras. Después se vuelve a colocar en cero el indicador de carga. Se coloca también el extensómetro en cero.

Se aplica la carga por medio del gato hidráulico de la prensa del CBR a una velocidad de 0.05" por minuto. Se toma la lectura de las cargas, aplicadas a 0.025, 0.050, 0.075, 0.1, 0.3, 0.4 y 0.5" de penetración del pistón.

Se saca la muestra de la prensa del CBR y se toma la muestra de humedad alrededor del orificio dejado por el pistón.

Para sacar la muestra del molde se usa el extractor de muestras con la placa de 6" de diámetro.

Figura: 3.28



Prensa CBR



Fuente: elaboración propia

figura 3.29 Lectura de resistencia del suelo

Fuente: elaboración propia

Se debe leer para los moldes

Figura : 3.30 Moldes CBR lecturados



Fuente: elaboración propia

3.7 Ensayo de compresión no confinada

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), del cual se realizó la siguiente metodología.

Se moldeó probetas con una relación de altura que sea 2 veces el diámetro de los distintos suelos extraídos en los barrios para su posterior rotura en el equipo de compresión.

Figura 3.31 Muestras inalteradas talladas

Fuente:



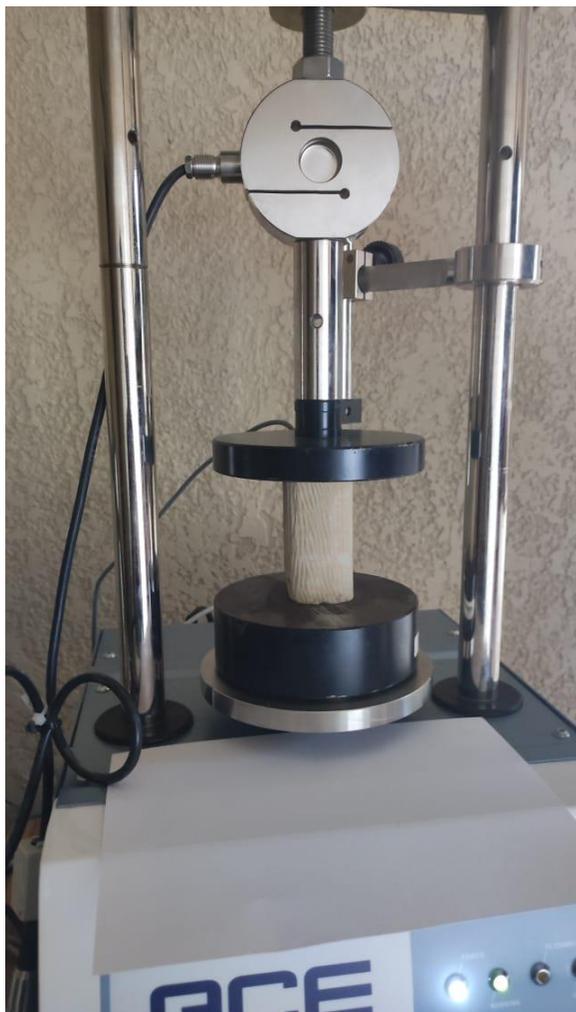
elaboración propia

Figura 3.32 Muestras ensayadas



Fuente: elaboración propia

Figura 3.33 equipo de compresión no confinada



Fuente: elaboración propia

TABLA 3.4 Resultados de ensayos de laboratorio

PUNTO N°	ZONA	PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACIÓN DE SUELOS SUCS - ASTM D 2487	PORCENTAJE QUE PASA TAMIZ				CONTENIDO DE HUMEDAD W%
				N°4	N°10	N°40	N°200	
1	B. M. BLANCOS	0,45	CL	100,00	100,00	98,59	95,55	5,3
2	B. ARTESANAL	0,45	CL	100,00	100,00	99,66	97,84	8,6
3	B. N. AMANECECER	0,45	CL	100	99,98	99,85	99,32	4,4
4	B. AEROPUERTO	0,45	CL	100	99,97	99,27	93,66	7,1
5	B SAN JORGE I	0,45	CL	100	99,94	99,81	96,17	7,7
6	B SAN SALVADOR	0,45	CL	100	100	99,66	97,84	3,1
7	B. PORTILLO	0,45	CL	100	100	99,96	98,8	10,4
8	B. EL JARDIN	0,45	CL	100	99,97	99,43	89,43	6,9
9	B. JUSTO JUEZ	0,45	CL	100	100	99,94	98,78	4,8
10	B. CHE GUEVARA	0,45	CL	100	99,91	98,28	90,18	3,8
11	B. BOLIVAR	0,45	CL	100	99,73	99,35	97,59	8,6
12	B. BARTOLOME ATTARD	0,45	CL	100	100	99,53	96,79	3,4
13	B. 8 DE MARZO	0,45	CL	100	99,8	99,25	94,94	5,0
14	B. NARCISO CAMPERO	0,45	CL	100	100	99,8	99,44	6,4
15	B. SAN MATEO	0,45	CL	100	100	99,97	99,39	3,4
16	B. JESUS DE NAZARET	0,45	CL	100	100	99,65	96,92	5,7
17	B. TORRECILLAS	0,45	CL	100	100	99,39	96,74	8,7
18	B. CONSTRUCTOR	0,45	CL	100	100	99,87	92,65	6,1
19	B.16 DE DICIEMBRE	0,45	CL	100	99,88	99,72	80,65	4,9
20	B. OLIVOS	0,45	CL	100	100	99,8	97,92	5,8
21	B. PAMPA GALANA	0,45	CL	100	100	99,79	98,38	3,4
22	B. SAN LUIS	0,45	CL	100	100	99,7	93,23	3,8
23	B CATEDRAL	0,45	CL	100	100	99,49	94,02	4,1
24	B. 6 DE AGOSTO	0,45	CL	100	99,06	95,15	80,55	6,3
25	B. 6 DE ABRIL	0,45	CL	100	98,88	96,16	89,57	8,7
26	B. EL TRIGAL	0,45	CL	100	99,62	94,09	84,82	6,6
27	B. LOS LAURELES	0,45	CL	100	98,8	95,42	84,03	7,1
28	B.24 DE JUNIO	0,45	CL	100	99,61	97,54	82,65	5,5
29	B. MIRAFLORES	0,45	CL	100	99,8	96,24	91,31	4,4
30	B.LOURDES	0,45	CL	100	99,1	96,04	89,64	4,3

Fuente: Elaboración propia

TABLA 3.5 Resultados de ensayos de laboratorio

PUNTO N°	ZONA	LÍMITES DE ATTERBERG ASTM D4318				C.B.R			C.N.C.	
		LL	LP	IP	1-	2-	Qu	C		
1	B. M. BLANCOS	27,81	16,84	10,87	6,19	7,31	31,24	15,62		
2	B. ARTESANAL	40,90	21,45	19,45	1,49	1,75	16,99	8,50		
3	B. N. AMANECER	29,80	19,38	10,43	1,87	2,26	10,46	5,23		
4	B. AEROPUERTO	37,28	20,22	17,06	2,21	2,43	11,61	5,80		
5	B SAN JORGE I	37,85	20,81	17,04	2,75	2,84	11,33	5,67		
6	B SAN SALVADOR	42,34	21,72	20,62	2,21	2,29	13,45	6,72		
7	B. PORTILLO	35,42	19,73	15,70	1,98	2,39	15,95	7,98		
8	B. EL JARDIN	28,3	18,1	10,2	0,47	0,59	5,73	2,86		
9	B. JUSTO JUEZ	31,33	19,69	11,64	1,59	2,52	14,99	7,50		
10	B. CHE GUEVARA	27,89	17,12	10,77	1,22	1,32	13,81	6,91		
11	B. BOLIVAR	33,09	17,76	15,33	0,20	0,17	13,47	6,74		
12	B. BARTOLOME ATTARD	40,3	19,01	21,29	0,18	0,19	8,28	4,14		
13	B. 8 DE MARZO	29,48	17,69	11,79	0,47	0,71	18,11	9,06		
14	B. NARCISO CAMPERO	39,75	20,85	18,9	0,12	0,15	14,46	7,23		
15	B. SAN MATEO	31,84	19,12	12,72	1,07	1,63	14,84	7,42		
16	B. JESUS DE NAZARET	32,56	19,37	13,20	0,31	0,42	13,08	6,54		
17	B. TORRECILLAS	31,67	18,31	13,36	0,20	0,28	8,13	4,07		
18	B. CONSTRUCTOR	31,98	21,28	10,7	0,42	0,59	10,00	5,00		
19	B.16 DE DICIEMBRE	25,23	12,78	12,45	2,75	3,56	7,64	3,82		
20	B. OLIVOS	46,01	20,02	26,00	2,27	2,66	19,57	9,78		
21	B. PAMPA GALANA	31,30	17,79	13,51	0,18	0,19	17,73	8,57		
22	B. SAN LUIS	36,29	24,62	11,67	0,34	0,50	6,77	3,38		
23	B CATEDRAL	40,65	21,3	19,35	0,10	0,08	13,87	6,93		
24	B. 6 DE AGOSTO	28,35	18,99	9,36	0,31	0,43	11,26	5,63		
25	B. 6 DE ABRIL	30,17	18,42	11,75	0,29	0,34	4,02	2,01		
26	B. EL TRIGAL	27,56	18,34	9,22	0,13	0,15	10,44	5,22		
27	B. LOS LAURELES	24,81	16,51	8,31	0,05	0,06	5,32	2,66		
28	B.24 DE JUNIO	30,95	21,5	9,45	0,10	0,09	7,40	3,70		
29	B. MIRAFLORES	30,14	16,66	13,48	0,31	0,33	8,19	4,09		
30	B.LOURDES	34,07	19,11	14,96	0,29	0,35	7,83	3,92		

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

PROCESAMIENTO Y

ANÁLISIS DE

RESULTADOS

CAPÍTULO IV

PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con los datos obtenidos en laboratorio se procederá a analizar las variables CBR con valores de carga última y cohesión para determinar su nivel de relacionamiento estadístico.

Tabla 4.1 Resumen general de datos de analizar

ZONA	VARIABLES	
	CBR (%)	Qu (Kg/cm ²)
B. M. BLANCOS	7,31	31,24
B. ARTESANAL	1,75	16,99
B. N. AMANECER	2,26	10,46
B. AEROPUERTO	2,43	11,61
B SAN JORGE I	2,84	11,33
B SAN SALVADOR	2,29	13,45
B. PORTILLO	2,39	15,95
B. EL JARDIN	0,59	5,73
B. JUSTO JUEZ	2,52	14,99
B. CHE GUEVARA	1,32	13,81
B. BOLIVAR	0,17	13,47
B. BARTOLOME ATTARD	0,19	8,28
B. 8 DE MARZO	0,71	18,11
B. NARCISO CAMPERO	0,15	14,46
B. SAN MATEO	1,63	14,84
B. JESUS DE NAZARET	0,42	13,08
B. TORRECILLAS	0,28	8,13
B. CONSTRUCTOR	0,59	10,00
B.16 DE DICIEMBRE	3,56	7,64
B. OLIVOS	2,66	19,57
B. PAMPA GALANA	0,19	17,73
B. SAN LUIS	0,50	6,77
B CATEDRAL	0,08	13,87
B. 6 DE AGOSTO	0,43	11,26
B. 6 DE ABRIL	0,34	4,02
B. EL TRIGAL	0,15	10,44
B. LOS LAURELES	0,06	5,32
B.24 DE JUNIO	0,09	7,40
B. MIRAFLORES	0,33	8,19
B.LOURDES	0,35	7,83

Fuente: elaboración propia

DESCRIPCIÓN ESTADÍSTICA VARIABLE C.B.R.

4.1 Resumen Estadístico para CBR

Tabla 4.2 resumen estadístico CBR

Recuento	30
Promedio	1,28767
Desviación Estándar	1,55036
Coefficiente de Variación	120,401%
Mínimo	0,06
Máximo	7,31
Rango	7,25
Sesgo Estandarizado	4,98595
Curtosis Estandarizada	7,58367

En la siguiente tabla se presenta los distintos valores estadísticos de los datos de la variable como promedio desviación estándar coeficiente de variación máximos y mínimos como también los rangos.

4.2 Tabla de frecuencias de variable CBR

Tabla 4,3 Tabla de frecuencias de variable CBR

Clase	Límite Inferior	Límite Superior	Punto Medio	Frecuencia	Frecuencia Relativa	Frecuencia Acumulada	Frecuencia Rel. Acum.
	menor o igual	-0,4		0	0,0000	0	0,0000
1	-0,4	0,266667	0,0666667	8	0,2667	8	0,2667
2	0,266667	0,933333	0,6	10	0,3333	18	0,6000
3	0,933333	1,6	1,26667	1	0,0333	19	0,6333
4	1,6	2,26667	1,93333	3	0,1000	22	0,7333
5	2,26667	2,93333	2,6	6	0,2000	28	0,9333
6	2,93333	3,6	3,26667	1	0,0333	29	0,9667
7	3,6	4,26667	3,93333	0	0,0000	29	0,9667
8	4,26667	4,93333	4,6	0	0,0000	29	0,9667
9	4,93333	5,6	5,26667	0	0,0000	29	0,9667
10	5,6	6,26667	5,93333	0	0,0000	29	0,9667
11	6,26667	6,93333	6,6	0	0,0000	29	0,9667
12	6,93333	7,6	7,26667	1	0,0333	30	1,0000
13	7,6	8,26667	7,93333	0	0,0000	30	1,0000
14	8,26667	8,93333	8,6	0	0,0000	30	1,0000
15	8,93333	9,6	9,26667	0	0,0000	30	1,0000
	mayor de	9,6		0	0,0000	30	1,0000

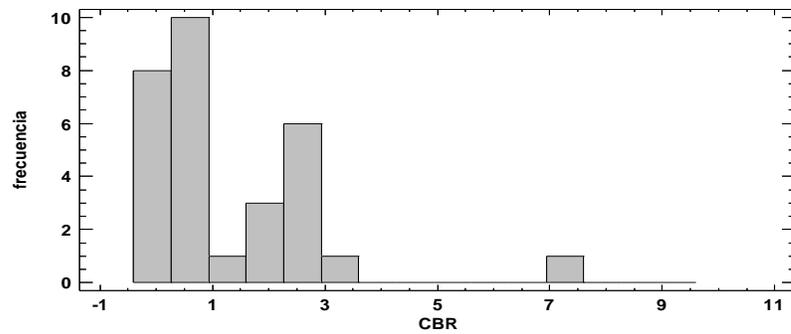
Media = 1,28767 Desviación Estándar = 1,55036

Fuente: elaboración propia

Esta opción ejecuta una tabulación de frecuencias dividiendo el rango de CBR en intervalos del mismo ancho, y contando el número de datos en cada intervalo. Las frecuencias muestran el número de datos en cada intervalo, mientras que las frecuencias relativas muestran las proporciones en cada intervalo.

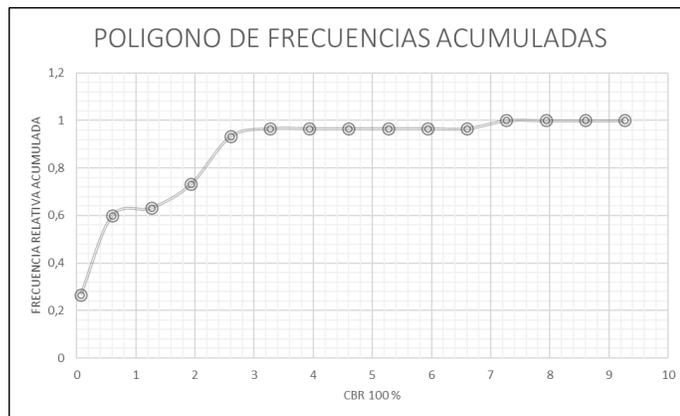
4.3 Gráficos de la variable

FIGURA 4.1 Histogramas de frecuencias



Fuente: elaboración propia

FIGURA 4.2 Polígono de frecuencias acumuladas



Fuente: elaboración propia

4.4 Estadística inferencial

Media Muestral = 1,287

Desviación Estándar de la Muestra = 1,55

Coefficiente de variación =120,40%

4.5 Intervalos de Confianza para CBR

Intervalos de confianza del 95,0% para la media: 1,28767 +/- 0,578916

[0,70875; 1,86658]

Intervalos de confianza del 95,0% para la desviación estándar:

[1,23472; 2,08418]

Este panel muestra los intervalos de confianza del 95,0% para la media y la desviación estándar de CBR.

La interpretación clásica de estos intervalos es que, en muestreos repetidos, estos intervalos contendrán la media verdadera ó la desviación estándar verdadera de la población de la que fueron extraídas las muestras, el 95,0% de las veces.

En términos prácticos, puede establecerse con 95,0% de confianza, que la media verdadera de CBR se encuentra en algún lugar entre 0,70875 y 1,86658, en tanto que la desviación estándar verdadera está en algún lugar entre 1,23472 y 2,08418.

DESCRIPCIÓN ESTADÍSTICA VARIABLE R.C.N.C (Qu)

4.5 Resumen Estadístico para Qu

Tabla 4.4 Resumen Estadístico para Qu

Recuento	30
Promedio	12,199
Desviación Estándar	5,43943
Coefficiente de Variación	44,5891%
Mínimo	4,02
Máximo	31,24
Rango	27,22
Sesgo Estandarizado	3,13159
Curtosis Estandarizada	4,33617

En la siguiente tabla se presenta los distintos valores estadísticos de los datos de la variable como promedio desviación estándar coeficiente de variación máximos y mínimos como también los rangos

4.6 Tabla de frecuencias de variable Qu

TABLA 4.5 Tabla de Frecuencias para Qu

Clase	Límite Inferior	Límite Superior	Punto Medio	Frecuencia	Frecuencia Relativa	Frecuencia Acumulada	Frecuencia Rel. Acum.
	menor o igual	0		0	0,0000	0	0,0000
1	0	2,66667	1,33333	0	0,0000	0	0,0000
2	2,66667	5,33333	4,0	2	0,0667	2	0,0667
3	5,33333	8,0	6,66667	5	0,1667	7	0,2333
4	8,0	10,6667	9,33333	6	0,2000	13	0,4333
5	10,6667	13,3333	12,0	4	0,1333	17	0,5667
6	13,3333	16,0	14,6667	8	0,2667	25	0,8333
7	16,0	18,6667	17,3333	3	0,1000	28	0,9333
8	18,6667	21,3333	20,0	1	0,0333	29	0,9667
9	21,3333	24,0	22,6667	0	0,0000	29	0,9667
10	24,0	26,6667	25,3333	0	0,0000	29	0,9667
11	26,6667	29,3333	28,0	0	0,0000	29	0,9667
12	29,3333	32,0	30,6667	1	0,0333	30	1,0000
13	32,0	34,6667	33,3333	0	0,0000	30	1,0000
14	34,6667	37,3333	36,0	0	0,0000	30	1,0000
15	37,3333	40,0	38,6667	0	0,0000	30	1,0000
	mayor de	40,0		0	0,0000	30	1,0000

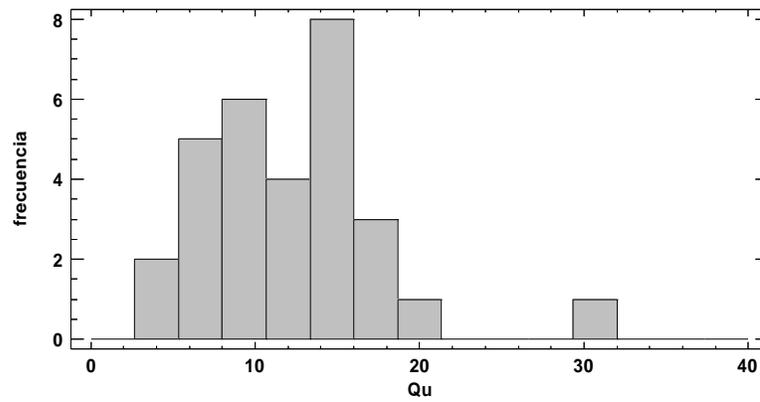
Media = 12,199 Desviación Estándar = 5,43943

Fuente: elaboración propia

Esta opción ejecuta una tabulación de frecuencias dividiendo el rango de Qu en intervalos del mismo ancho, y contando el número de datos en cada intervalo. Las frecuencias muestran el número de datos en cada intervalo, mientras que las frecuencias relativas muestran las proporciones en cada intervalo.

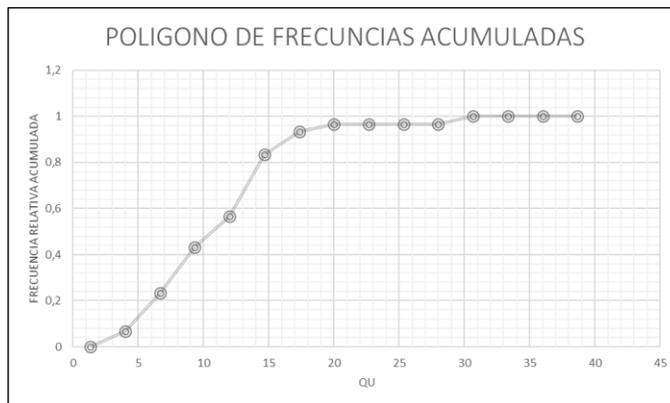
4.7 Graficos de la variable

figura 4.3 histogramas de frecuencias Qu



Fuente elaboración propia

figura 4.4 polígono de frecuencias acumuladas



Fuente: elaboracion propia

4.8 Estadística inferencial

Media Muestral = 12,199

Desviación Estándar de la Muestra = 5,43

Coficiente de variación =44,58%

4.9 Intervalos de Confianza para Qu

Intervalos de confianza del 95,0% para la media: 12,199 +/- 2,03112

[10,1679; 14,2301]

Intervalos de confianza del 95,0% para la desviación estándar:

[4,332; 7,31231]

Este panel muestra los intervalos de confianza del 95,0% para la media y la desviación estándar de Qu. La interpretación clásica de estos intervalos es que, en muestreos repetidos, estos intervalos contendrán la media verdadera ó la desviación estándar verdadera de la población de la que fueron extraídas las muestras, el 95,0% de las veces.

En términos prácticos, puede establecerse con 95,0% de confianza, que la media verdadera de Qu se encuentra en algún lugar entre 10,1679 y 14,2301, en tanto que la desviación estándar verdadera está en algún lugar entre 4,332 y 7,31231.

Ambos intervalos asumen que la población de la cual proviene la muestra puede representarse por la distribución normal. Mientras que el intervalo de confianza para la media es bastante robusto y no muy sensible a violaciones de este supuesto, los intervalos de confianza para la desviación estándar son muy sensibles.

4.10 CORRELACIÓN ENTRE VARIABLES CBR Y QU

Variable dependiente: CBR

Variable independiente: Qu

Cuadrado Doble: $Y = \sqrt{a + b \cdot X^2}$

TABLA 4.6 Coeficientes

	Mínimos Cuadrados	Estándar	Estadístico	
Parámetro	Estimado	Error	T	Valor-P
Intercepto	-4,15068	1,44967	-2,86319	0,0079
Pendiente	0,0458371	0,00579541	7,9092	0,0000

Coefficiente de Correlación = 0,831142

R-cuadrada = 69,0797 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 67,9754 por ciento

Error estándar del est. = 5,59734

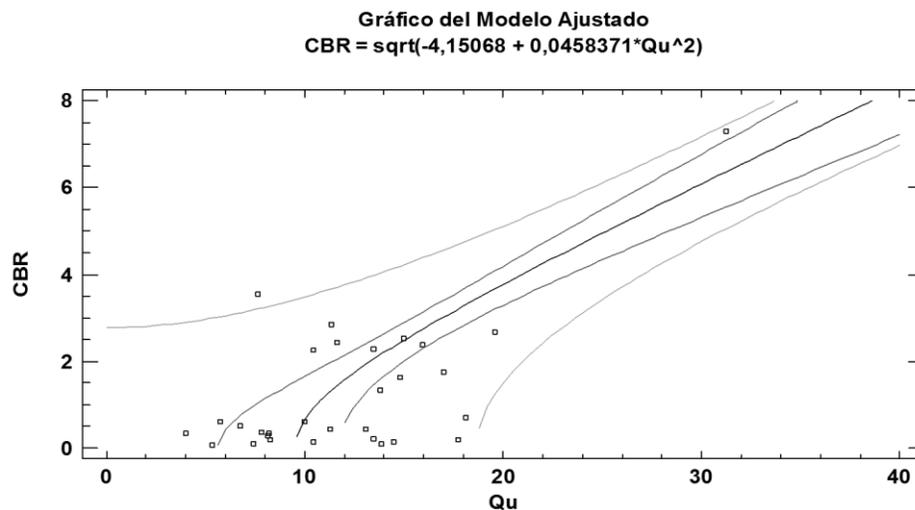
Error absoluto medio = 4,06498

Estadístico Durbin-Watson = 1,90024 (P=0,3541)

La salida muestra los resultados de ajustar un modelo doble cuadrado para describir la relación entre CBR y Qu. La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{CBR} = \sqrt{-4,15068 + 0,0458371 \cdot \text{Qu}^2}$$

Figura 4.5 grafico del modelo



El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 69,0797% de la variabilidad en CBR.

El coeficiente de correlación es igual a 0,831142, indicando una relación moderadamente fuerte entre las variables.

El error estándar del estimado indica que la desviación estándar de los residuos es 5,59734.

El error absoluto medio (MAE) de 4,06498 es el valor promedio de los residuos.

4.11 Prueba de hipótesis

Hipótesis de investigación

El valor soporte california tiene un buen nivel de relacionamiento con los valores de resistencia a la compresión no confinada

Emparejamiento de hipótesis

$H_0: \mu_1 = \mu_2$ hipótesis nula

$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$ hipótesis alternativa

Valor de significancia

Nivel de confianza es del 95% el nivel de significancia tiene el valor de $\alpha = 5\%$

Calculo estadístico

Coeficiente de Correlación = 0,831142

R-cuadrada = 69,0797 por ciento R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 67,9754 por ciento

Tabla 4.7 coeficientes de r cuadrado

Coeficiente	Interpretación
$r=1$	correlación perfecta
$0,80 < r < 1$	muy alta
$0,60 < r < 0,80$	alta
$0,40 < r < 0,60$	moderada
$0,20 < r < 0,40$	baja
$0 < r < 0,20$	muy baja
$r=0$	nula

fuelle: fundamentos de estadística Walpole

conclusión final

Hipótesis nula aceptada el valor soporte california presenta un nivel de relación alta con la compresión no confinada con valor de r cuadrado de 67,97 %

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Se realizaron las respectivas mediciones de CBR en el cual se obtuvieron los datos estudio pertenecen a subrasantes con CBR no mayores a 8 %.
- Se realizaron las pruebas de cargas de compresión no confinada con valores entre 5 a 30 kg/cm².
- A través de la correlación entre la compresión no confinada y el CBR se obtuvo una ecuación significativa de nivel de relación con coeficiente de 0,831.
- Se obtuvo una ecuación de correlación **CBR = $\sqrt{-4,15068 + 0,0458371 \cdot Q_u^2}$** Con un valor de R cuadrada de 69,07%.
- Se trabajo con suelos arcillosos de baja comprensibilidad.

5.2 Recomendaciones

- La ecuación solo predice un valor teórico del CBR y de compresión no confinada en un rango de confianza verificado durante los cálculos.
- las ecuaciones de correlación son aplicables en suelos arcillosos de baja comprensibilidad.
- se recomienda continuar con el estudio de correlaciones para suelos de alta comprensibilidad.