

CAPÍTULO I-INTRODUCCIÓN

1.1.- Introducción.-

El crecimiento del tráfico y peso de los vehículos que transitan por las vías principales de las ciudades y carreteras, hace necesario de un amplio enfoque técnico en los estudios de suelos para el diseño de pavimentos, acorde con las necesidades creadas por el aumento de las repeticiones de carga, todo esto indica que es necesario adoptar estudios completos de las condiciones reales en las que se encuentra el suelo de la sub-rasante en el período de proyecto, para planificar una programación de trabajos en el período de construcción que permitan obtener una estructura que soporte las condiciones previstas durante su vida útil.

La evaluación de las propiedades de resistencia in situ del terreno de cimentación empleando métodos directos siempre es deseada, pero frecuentemente éstos son engorrosos y costosos, como los ensayos CBR in situ y de placa. Debido a esto, se recurre a métodos indirectos, tales como el CBR de laboratorio, ensayando la muestra en condiciones desfavorables, que en muchos casos no logra representar con absoluta fidelidad las condiciones reales de trabajo del suelo, lo cual despierta el interés en utilizar equipos sencillos y confiables para la evaluación del suelo de fundación, como son los ensayos de penetración in situ.

Para el caso de este proyecto se empleará el Penetrómetro Dinámico de Cono que reúne las condiciones indicadas, para establecer un análisis de relación entre el CBR inalterado y el PDC, que permitirá evaluar las condiciones del terreno de fundación de las vías de nuestro territorio. Además, como complemento y bajo ciertas condiciones, presentar con los resultados de PDC un análisis de relación con el CBR que resulta de los ensayos de laboratorio. Se propone una fórmula basada en ensayos locales y se aplica los resultados a diseños viales en la provincia para suelos arcillosos.

1.2.-Antecedentes.-

Investigación: ASTM D 6951-03

Este método de ensayo cubre la medida de la rata de penetración del penetrómetro dinámico de cono (PDC), que puede ser relacionada con valores de resistencia in-situ, tales como el CBR.

El CBR estimado in-situ se calcula con el índice PDC. La penetración por golpe puede ser dibujada, relacionándola con la profundidad. La correlación entre la penetración por golpe y el CBR ha sido derivada de una ecuación recomendada por el cuerpo de ingenieros de los Estados Unidos:¹

$$CBR = \frac{292}{(PDC)^{1.12}}$$

Esta ecuación puede ser usada para todos los suelos, menos para los que clasifiquen como CL y tengan un CBR inferior a 10 y los suelos CH, para los cuales el cuerpo de ingenieros del ejército de los Estados Unidos, recomienda las siguientes expresiones:

CL con CBR < 10: ²

$$CBR = \frac{1}{(0.017019 * PDC)^2}$$

CH: ³

$$CBR = \frac{1}{(0.002871 * PDC)}$$

1.3.-Establecimiento del problema.-

El problema planteado en el trabajo, se refiere al costo y tiempo para la evaluación de las propiedades de resistencia del terreno, lo que nos lleva a desarrollar el siguiente trabajo, ya que el CBR inalterado se utiliza tanto para evaluar la sub-rasante, como para el diseño, y será una herramienta de gran utilidad en el trabajo de campo.

¹ Fuente: ASTM

² Fuente: ASTM

³ Fuente: ASTM

1.3.1.-Objeto de estudio.-

El objeto de estudio del tema es un análisis de relación en el cual se deberá realizar ajustes a modelos matemáticos, con la finalidad de encontrar una ecuación, que se aplicará solamente a nuestra información para la evaluación o diseño de sub-rasantes.

1.3.2.-Campo de acción.-

El campo de acción del presente trabajo está definido por:

- Laboratorio de suelos.
- Análisis estadístico.

Utilizaremos el laboratorio de suelos para poder desarrollar todos los ensayos necesarios para así determinar o encontrar los datos que necesitamos de la práctica de tema planteado.

El análisis estadístico para poder encontrar un modelo matemático de regresión, que se ajuste a nuestros datos, para poder obtener su ecuación, teniendo en cuenta los valores de los coeficientes de correlación y de determinación.

1.4.-Justificación.-

Para una evaluación de las propiedades de resistencia del suelo de cimentación generalmente se desean utilizar ensayos como ser: CBR in situ, ensayos de placa, los cuales suelen ser muy costosos y dificultosos, debido a esto se pretende hallar una solución mucho más económica y con menos dificultad, la cual sería realizar un análisis de relación, mediante ajustes a diferentes modelos matemáticos, escogiendo el que tenga una mejor relación entre sus variables, en dónde la información de CBR inalterado y PDC se aplica a este modelo seleccionado , del cual nos interesa la ecuación de dicho análisis.

En esta investigación se comparara con cuantos golpes del mazo la punta del PDC penetra 30 centímetros y con los valores de CBR para cada ensayo encontraremos una curva en la que el valor de CBR está directamente relacionado con el N° de golpes del PDC, reduciendo el trabajo y el costo de manera significativa, tratando de despertar el interés en

utilizar equipos sencillos y confiables para la evaluación del suelo de fundación, como son los ensayos de PDC y CBR inalterado.

Esta investigación se realizará en suelos arcillosos. Los cuales tienen una clasificación: A-6, A-7-5 y A-7-6, sobre los cuales el sistema AASHTO nos recomienda su uso como sub-rasantes, y lo que se busca en esta investigación es un análisis de relación en suelos arcillosos que nos sirva para evaluar la resistencia del suelo de fundación o sub-rasante.

1.5.-Objetivos.-

1.5.1.- Objetivo General.-

- Realizar un análisis de relación, que permita determinar una ecuación basada en modelos matemáticos de regresión, que sirva como evaluador de la resistencia del suelo, con el cual se pueda reducir el tiempo y el costo para obtener el CBR inalterado de un suelo, mediante el N° de golpes del PDC.

1.5.2.- Objetivos Específicos.-

- Recopilar información para realizar el análisis de relación y ensayos de laboratorio.
- Reconocer los lugares donde se realizarán la toma de muestras y los ensayos in situ.
- Realizar el ensayo de PDC, Densidad in situ, toma de muestras inalteradas para realizar el CBR en el laboratorio y toma de muestras para la clasificación de suelos.
- Clasificar la muestra mediante los sistemas AASHTO y UNIFICADO.
- Realizar el ensayo de expansión y CBR en el laboratorio.
- Realizar un análisis de relación entre del N° de golpes del PDC y CBR inalterado.

1.6.-Hipótesis.-

En éste proyecto se propone un análisis de relación, con el que realizaremos ajustes a diferentes modelos matemáticos con el fin de encontrar una ecuación que está basada en ensayos locales y se aplica los resultados a diseños viales en la provincia Cercado, para suelos arcillosos, con la cual se hallará un valor aproximado de CBR en función al número de golpes del PDC, este análisis de relación, se realizará con los datos encontrados de las

siguientes prácticas de laboratorio de suelos: PDC in situ (número de golpes para hincar el equipo 30 cm) y CBR inalterado, los valores hallados se deberán encontrar dentro del sistema AASHTO y UNIFICADO.

1.7.-Alcance.-

En el presente trabajo se realizará un análisis de relación mediante el ajuste a modelos matemáticos de regresión, con el que obtendremos una ecuación que se aplicará solamente a nuestra información como es el CBR inalterado y el PDC, su alcance estará limitado a los siguientes puntos considerados necesarios y suficientes, para el cumplimiento a cabalidad de su objetivo:

Primeramente se deberá realizar la justificación de este proyecto.

Se deberán identificar los lugares de muestreo, que estén en la provincia Cercado, en los lugares de muestreo se realizarán los siguientes ensayos: el ensayo de PDC, con el cuál encontraremos el N° de golpes para hincar el equipo 30 centímetros.

Para realizar el ensayo de CBR se deberá hincar el molde y enrasarlo, cubriéndolo para que no pierda humedad; realizando la Densidad in situ al lado de la toma de muestra inalterada, luego se toma unos 4 kilos de muestra para el ensayo de clasificación de suelos; también se deberá guardar un poco de material en una bolsa nylon para encontrar su porcentaje de humedad natural.

En el laboratorio se deberá: sumergir en agua la muestra inalterada durante 96 horas para realizar el ensayo de porcentaje de expansión y la prueba de penetración (CBR) en condiciones desfavorables; con los cuatro kilos de material se deberá realizar su granulometría por el método del lavado y encontrar sus límites de Atterberg para poder clasificar el suelo, con la muestra guardada en bolsa nylon se encontrará su porcentaje de humedad, debido a que en esta bolsa no se tienen pérdidas de humedad hasta llegar al laboratorio.

Con los resultados de las prácticas se deberá realizar ajustes de nuestros datos a diferentes modelos matemáticos y seleccionar el modelo que tenga un mejor ajuste a nuestros datos,

con el fin de encontrar una ecuación y se verifica por medio del coeficiente de correlación y el coeficiente de determinación, la cual se aplicaría solamente a este tipo de información que sería CBR y PDC, la cual se podrá utilizar para cualquier suelo arcilloso en la provincia Cercado.

1.8.-Medios.-

Este trabajo de investigación constara de dos partes:

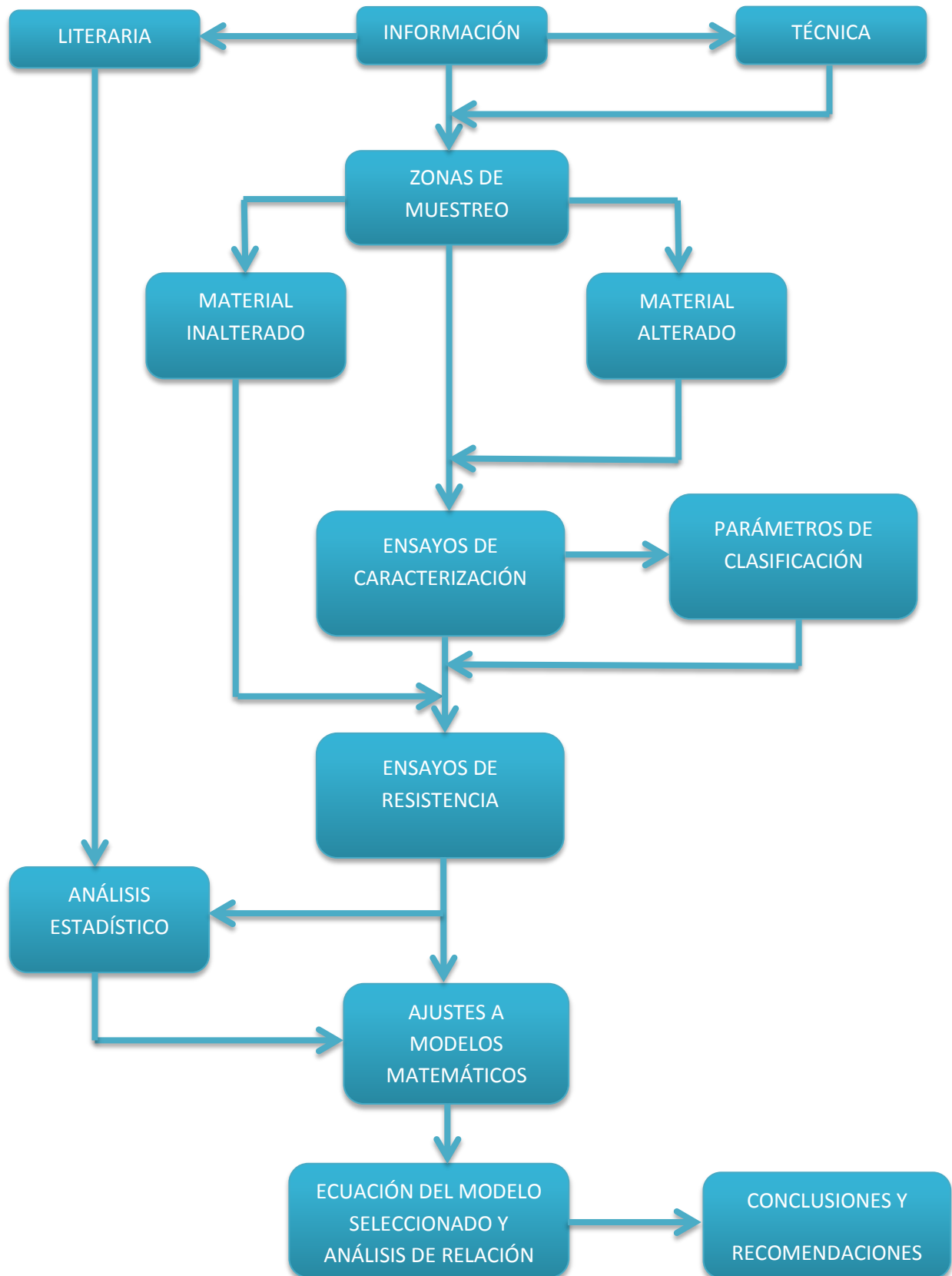
- Primero la parte teórica, donde se recolectara la información necesaria de diferentes bibliografías para realizar la investigación.
- Segundo la parte práctica, en la cual se realizará los ensayos de laboratorio de: CBR inalterado, % de expansión, clasificación de suelos y PDC in situ.

Se recolectarán las muestras de la provincia Cercado.

Para esta investigación se trabajará con suelos arcillosos.

El equipo que se utilizará será suministrado por el laboratorio de suelos y hormigones de la carrera de Ing. Civil de la facultad de Ciencias y Tecnología en la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, y laboratorios particulares.

1.9.-Diseño Teórico-Methodológico.-



CAPÍTULO II-DIAGNÓSTICO O CONOCIMIENTO PREVIO

2.1.-Análisis estadístico.-

La estadística, es una ciencia con base matemática referente a la recolección, análisis e interpretación de datos, que busca explicar condiciones regulares en fenómenos de tipo aleatorio .Es transversal a una amplia variedad de disciplinas, desde la Física hasta las Ciencias Sociales, desde las ciencias de la salud hasta el control de calidad. Se usa para la toma de decisiones en áreas de negocios o instituciones gubernamentales.

La Estadística se divide en dos ramas:

- **La estadística descriptiva.-** Que se dedica a los métodos de recolección, descripción, visualización y resumen de datos originados a partir de los fenómenos en estudio. Los datos pueden ser resumidos numérica o gráficamente. Ejemplos básicos de parámetros estadísticos son: la media y la desviación estándar. Algunos ejemplos gráficos son: histograma, pirámide poblacional, etc.
- **La inferencia estadística.-** Que se dedica a la generación de los modelos, inferencias y predicciones asociadas a los fenómenos en cuestión teniendo en cuenta la aleatoriedad de las observaciones. Se usa para modelar patrones en los datos y extraer inferencias acerca de la población bajo estudio. Estas inferencias pueden tomar la forma de respuestas a preguntas si/no (prueba de hipótesis), estimaciones de características numéricas (estimación), pronósticos de futuras observaciones, descripciones de asociación (correlación) o modelamiento de relaciones entre variables (análisis de regresión). Otras técnicas de modelamiento incluyen series de tiempo y minería de datos.

Ambas ramas (descriptiva e inferencial) comprenden la Estadística Aplicada. Hay también una disciplina llamada Estadística Matemática, la cual se refiere a las bases teóricas de la materia. La palabra “Estadística”, también se refiere al resultado de aplicar un algoritmo estadístico a un conjunto de datos, como en estadísticas económicas, estadísticas criminales, etc.

2.1.1.-Población.-

El concepto de población en estadística va más allá de lo que comúnmente se conoce como tal. Una población se precisa como un conjunto finito o infinito de personas u objetos que presentan características comunes.

- "Una Población, es un conjunto de todos los elementos que estamos estudiando, acerca de los cuales intentamos sacar conclusiones". Levin & Rubin (1996).
- "Una Población, es un conjunto de elementos que presentan una característica común". Cadenas (1974).

El tamaño que tiene una población es un factor de suma importancia en el proceso de investigación estadística, y este tamaño viene dado por el número de elementos que constituyen la población, según el número de elementos la población puede ser finita o infinita. Cuando el número de elementos que integra la población es muy grande, se puede considerar a esta como una población infinita, por ejemplo; el conjunto de todos los números positivos. Una población finita es aquella que está formada por un limitado número de elementos.

Cuando la población es muy grande, es obvio que la observación de todos los elementos se dificulta en cuanto al trabajo, tiempo y costos necesarios para hacerlo. Para solucionar este inconveniente se utiliza una muestra estadística.

Es a menudo imposible o poco práctico observar la totalidad de los individuos, sobre todos si éstos son muchos. En lugar de examinar el grupo entero llamado población o universo, se examina una pequeña parte del grupo llamada muestra.

2.1.2.-Muestra.-

- "Se llama Muestra a una parte de la población a estudiar que sirve para representarla". Murria R. Spiegel (1991).
- "Una Muestra es una colección de algunos elementos de la población, pero no de todos". Levin & Rubin (1996).

- "Una muestra debe ser definida en base de la población determinada, y las conclusiones que se obtengan de dicha muestra solo podrán referirse a la población en referencia", Cadenas (1974).

El estudio de muestras es más sencillo que el estudio de la población completa; cuesta menos y lleva menos tiempo. Por último, se ha probado que el examen de una población entera todavía permite la aceptación de elementos defectuosos; por tanto, en algunos casos, el muestreo puede elevar el nivel de calidad.

Una muestra representativa contiene las características relevantes de la población en las mismas proporciones que están incluidas en tal población.

Los expertos en estadística recogen datos de una muestra. Utilizan esta información para hacer referencias sobre la población que está representada por la muestra. En consecuencia muestra y población son conceptos relativos. Una población es un todo y una muestra es una fracción o segmento de ese todo.

2.1.3.-Muestreo.-

Esto no es más que el conjunto de procedimientos o técnicas empleados para obtener una o más muestras de una población.

Este se realiza una vez que se ha establecido un marco muestral representativo de la población, se procede a la selección de los elementos de la muestra aunque hay muchos diseños de la muestra. Al tomar varias muestras de una población, las estadísticas que calculamos para cada muestra no necesariamente serían iguales, y lo más probable es que variarán de una muestra a otra.

2.1.3.1.-Tipos de muestreo.-

Existen dos métodos para seleccionar muestras de poblaciones; el muestreo no aleatorio o de juicio y el muestreo aleatorio o de probabilidad. En este último todos los elementos de la población tienen la oportunidad de ser escogidos en la muestra. Una muestra seleccionada por muestreo de juicio se basa en la experiencia de alguien con la población. Algunas veces una muestra de juicio se usa como guía o muestra tentativa para decidir cómo tomar una muestra aleatoria más adelante. Las muestras de juicio evitan el análisis estadístico necesario para hacer muestras de probabilidad.

2.1.4.-Variables y atributos.-

Las variables, también suelen ser llamados caracteres cuantitativos, son aquellos que pueden ser expresados mediante números. Son caracteres susceptibles de medición. Como por ejemplo, la estatura, el peso, el salario, la edad, etc.

- Según, Murray R. Spiegel, (1992) "una variable es un símbolo, tal como X, Y, Hx, que puede tomar un valor cualquiera de un conjunto determinado de ellos, llamado dominio de la variable. Si la variable puede tomar solamente un valor, se llama constante."

Todos los elementos de la población poseen los mismos tipos de caracteres; pero, como éstos en general no suelen representarse con la misma intensidad, es obvio que las variables toman distintos valores. Por tanto, estos distintos números o medidas que toman los caracteres son los "valores de la variable". Todos ellos juntos constituyen una variable.

Los atributos también llamados caracteres cualitativos, son aquellos que no son susceptibles de medición; es decir, que no se pueden expresar mediante un número.

La forma de expresar los atributos es mediante palabras, por ejemplo: profesión, estado civil, sexo, nacionalidad, etc. Puede notar que los atributos no se presentan en la misma forma en todos los elementos. Estas distintas formas en que se presentan los atributos reciben el nombre de "modalidades".

2.1.5.-Formas de observar a la población.-

- Atendiendo a la fuente se clasifican en **directa e indirecta**.

Observación directa: Es aquella donde se tienen un contacto directo con los elementos o caracteres en los cuales se presenta el fenómeno que se pretende investigar, y los resultados obtenidos se consideran datos estadísticos originales. Para Ernesto Rivas González (1997) "Investigación Directa, es aquella en que el investigador observa directamente los casos o individuos en los cuales se produce el fenómeno, entrando en contacto con ellos; sus resultados se consideran datos estadísticos originales, por esto se llama también a ésta, investigación primaria".

Observación indirecta: Es aquella donde la persona que investiga hace uso de datos estadísticos ya conocidos en una investigación anterior, o de datos observados por un tercero (persona o entidad). Con el fin de deducir otros hechos o fenómenos.

- Atendiendo a la periodicidad, puede ser **continua, periódica o circunstancial**.

Observación continua: Como su nombre lo indica es aquella que se lleva a cabo de un modo permanente.

Observación periódica: Es aquella que se lleva a cabo a través de períodos de tiempo constantes. Estos períodos de tiempos pueden ser: semanas, trimestres, semestres, años, etc. Lo que debemos destacar es que los períodos de tiempo tomados como unidad deben ser constantes en lo posible.

Observación circunstancial: Es aquella que se efectúa en forma ocasional o esporádica, esta observación hecha más por una necesidad momentánea, que de carácter regular o permanente.

- Atendiendo a la cobertura; pueden ser: **exhaustiva, parcial o mixta**.

Observación exhaustiva: Cuando la observación es efectuada sobre la totalidad de los elementos de la población se habla de una observación exhaustiva.

Observación parcial: Dado que las poblaciones en general son grandes, la observación de todos sus elementos se ve imposibilitada. La solución para superar este inconveniente es observar una parte de esta población.

Observación mixta: En este tipo de observación se combinan adecuadamente la observación exhaustiva con la observación parcial. Por lo general, este tipo de observaciones se lleva a cabo de tal manera que los caracteres que se consideran básicos se observan exhaustivamente y los otros mediante una muestra; o bien cuando la población es muy grande, parte de ella se observa parcialmente.

2.1.6.-Datos estadísticos.-

Los datos estadísticos no son otra cosa que el producto de las observaciones efectuadas en las personas y objetos en los cuales se produce el fenómeno que queremos estudiar. Dicho en otras palabras, son los antecedentes (en cifras) necesarios para llegar al conocimiento de un hecho o para reducir las consecuencias de este.

Los datos estadísticos se pueden encontrar de forma no ordenada, por lo que es muy difícil en general, obtener conclusiones de los datos presentados de esta manera. Para poder obtener una precisa y rápida información con propósitos de descripción o análisis, estos deben organizarse de una manera sistemática; es decir, se requiere que los datos sean clasificados. Esta clasificación u organización puede muy bien hacerse antes de la recopilación de los datos.

2.1.6.1.-Clasificación de los datos estadísticos.-

Los Datos Estadísticos pueden ser clasificados en: cualitativos, cuantitativos, cronológicos y geográficos.

- **Datos cualitativos:** Cuando los datos son cualitativos, la diferencia entre ellos es de clase y no de cantidad.
- **Datos cuantitativos:** Cuando los valores de los datos representan diferentes magnitudes, decimos que son datos cuantitativos.
- **Datos cronológicos:** Cuando los valores de los datos varían en diferentes instantes o períodos de tiempo, los datos son reconocidos como cronológicos.
- **Datos geográficos:** Cuando los datos están referidos a una determinada zona se dice que son datos geográficos.

2.1.7.- Medidas de tendencia central.-

En los capítulos anteriores, nos referimos a la clasificación, ordenación y presentación de datos estadísticos, limitando el análisis de la información a la interpretación porcentual de las distribuciones de frecuencia. El análisis estadístico propiamente dicho, parte de la búsqueda de parámetros sobre los cuales pueda recaer la representación de toda la información.

Las medidas de tendencia central, llamadas así porque tienden a localizarse en el centro de la información, son de gran importancia en el manejo de las técnicas estadísticas, sin embargo, su interpretación no debe hacerse aisladamente de las medidas de dispersión, ya que la representatividad de ellas está asociada con el grado de concentración de la información.

2.1.7.1.- Media aritmética.-

Cotidiana e inconscientemente estamos utilizando la media aritmética. Cuando por ejemplo, decimos que un determinado fumador consume una cajetilla de cigarrillos diaria, no aseguramos que diariamente deba consumir exactamente los 20 cigarrillos que contiene un paquete sino que es el resultado de la observación, es decir, dicho sujeto puede consumir 18, un día; 19 otro; 20, 21, 22; pero según nuestro criterio, el número de unidades estará alrededor de 20.

Matemáticamente, la media aritmética se define como la suma de los valores observados dividida entre el número de observaciones: ¹

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_i + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

\bar{X} : Media aritmética de la variable X.

x_i : Valores de la variable X.

N: Número de observaciones.

Σ : Signo de sumatoria, indica que se debe sumar.

2.1.7.1.1.-Media aritmética ponderada.-

Hemos visto que la Media Aritmética se calcula con base a la magnitud de los datos, otorgándole igual importancia a cada uno de ellos. Sin embargo en muchas ocasiones la magnitud del dato esta ponderada con un determinado peso que lo afecta relativamente.

¹ Fuente: Estadística aplicada -Norbeto Guarín Salazar

La Media Aritmética ponderada tiene en cuenta la importancia relativa de cada uno de los datos, para lo cual la definimos con la siguiente expresión: ²

$$\bar{X}_w = \frac{\sum_{i=1}^n x_i w_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

\bar{X}_w Media aritmética ponderada.

x_i : Valor de la variable X.

w_i : Ponderación del ítem x_i .

2.1.7.2.-La mediana.-

Otra medida de tendencia central, utilizada principalmente en estadística no paramétrica, es la mediana, la cual no se basa en la magnitud de los datos, como la media aritmética, sino en la posición central que ocupa en el orden de su magnitud, dividiendo la información en dos partes iguales, dejando igual número de datos por encima y por debajo de ella.

2.1.7.2.1.-La mediana cuando los datos no están agrupados en intervalos.-

Partiendo de la información bruta, ordenamos los datos ascendente o descendente:

$$x_1, x_2, x_3, \dots, x_i, \dots, x_n$$

Si n es impar ³

$$Me = x_{\left(\frac{n+1}{2}\right)}$$

Si n es par ⁴

$$Me = \frac{x_{\left(\frac{n}{2}\right)} + x_{\left(\frac{n}{2}+1\right)}}{2}$$

² Fuente: Estadística aplicada -Norbeto Guarín Salazar

³ Fuente: Estadística aplicada -Norbeto Guarín Salazar

⁴ Fuente: Estadística aplicada -Norbeto Guarín Salazar

2.1.7.2.2.-La mediana cuando la información se encuentra agrupada en intervalos.-

Si la información esta agrupada en intervalos iguales, entonces la mediana se calcula según la siguiente expresión:⁵

$$Me = LI + \frac{\frac{n}{2} - fa_{(i-1)}}{f_i} A ,$$

Me: Mediana

LI: Límite inferior del intervalo donde se encuentra la mediana (intervalo mediano), el cual se determina observando en que clase se encuentra la posición $n/2$.)

n: Número de observaciones.

f_i : Frecuencia del intervalo mediano.

A: Amplitud del intervalo.

2.1.7.3.-La moda.-

La moda, como su nombre lo indica, es el valor más común (de mayor frecuencia dentro de una distribución). Una información puede tener una moda y se llama unimodal, dos modas y se llama bimodal, o varias modas y llamarse multimodal. Sin embargo puede ocurrir que la información no posea moda.

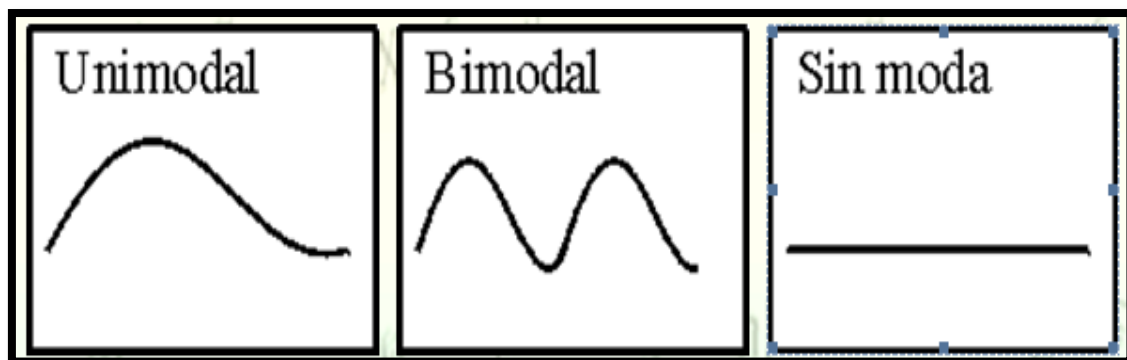


Figura1-Tipos de moda ⁶

⁵ Fuente: Estadística aplicada -Norbeto Guarín Salazar

⁶ Fuente: Estadística aplicada -Norbeto Guarín Salazar

2.1.7.3.1.-La moda cuando los datos no están agrupados en intervalos.-

Se tomarán los datos que se repiten más dentro de la planilla

2.1.7.3.2.-Cálculo de la moda cuando la información está agrupada en intervalos.-

Cuando la información se encuentra agrupada en intervalos de igual tamaño la moda se calcula con la siguiente expresión:⁷

$$Mo = LI + \frac{f_m - f_{(m-1)}}{2f_m - f_{(m-1)} - f_{(m+1)}} A$$

Mo : Moda.

LI : Límite inferior del intervalo modal.

f_m : Frecuencia de la clase modal.

$f_{(m-1)}$: Frecuencia de la clase pre modal.

$f_{(m+1)}$: Frecuencia de la clase pos modal.

A : Amplitud de los intervalos.

2.1.8.-Medidas de dispersión.-

Las Medidas de Dispersión, también llamadas Medidas de Variabilidad, muestran la variabilidad de una distribución, indicando por medio de un número, si las diferentes puntuaciones de una variable están muy alejadas de la media.

Cuanto mayor sea ese valor, mayor será la variabilidad, cuanto menor sea, más homogénea será a la media. Así se sabe si todos los casos son parecidos o varían mucho entre ellos.

Para calcular la variabilidad que una distribución tiene respecto de su media, se calcula la media de las desviaciones de las puntuaciones respecto a la media aritmética.

⁷ Fuente: Estadística aplicada -Norbeto Guarín Salazar

Pero la suma de las desviaciones es siempre cero, así que se adoptan dos clases de estrategias para salvar este problema. Una es tomando las desviaciones en valor absoluto (Desviación media) y otra es tomando las desviaciones al cuadrado (Varianza).

Para medir el grado de dispersión de una variable, se utilizan principalmente los siguientes indicadores:

- Rango o recorrido.
- Desviación estándar.
- Varianza.
- Coeficiente de variabilidad.
- Covarianza.

2.1.8.1.- Rango o recorrido.-

Es la medida de dispersión más sencilla ya que solo considera los dos valores extremos de una colección de datos, sin embargo, su mayor utilización está en el campo de la estadística no paramétrica:⁸

$$R = X_{\text{máx}} - X_{\text{mín}}$$

$X_{\text{máx}}$, $X_{\text{mín}}$ son el máximo y el mínimo valor de la variable X, respectivamente.

2.1.8.2.-Desviación estándar.-

La variancia a veces no se interpreta claramente, ya que se mide en unidades cuadráticas. Para evitar ese problema se define otra medida de dispersión, que es la Desviación Típica, o Desviación Estándar, que se halla como la raíz cuadrada positiva de la variancia. La desviación típica informa sobre la dispersión de los datos respecto al valor de la media; cuanto mayor sea su valor, más dispersos estarán los datos.

Esta medida viene representada en la mayoría de los casos por S, dado que es su inicial de su nominación en inglés.

⁸ Fuente: Estadística aplicada -Norbeto Guarín Salazar

Desviación estándar muestral: ⁹

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Desviación estándar poblacional: ¹⁰

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \mu)^2}{N}}$$

2.1.8.3.-Varianza.-

El problema de los signos en la desviación media, es eludido tomando los valores absolutos de las diferencias de los datos con respecto a la media aritmética. Ahora bien, la varianza obvia los signos elevando las diferencias al cuadrado, lo cual resulta ser más elegante, aparte de que es supremamente útil en el ajuste de modelos estadísticos que generalmente conllevan formas cuadráticas.

La varianza es uno de los parámetros más importantes en estadística paramétrica, se puede decir que, teniendo conocimiento de la varianza de una población, se ha avanzado mucho en el conocimiento de la población misma. Numéricamente definimos la varianza, como desviación cuadrática media de los datos con respecto a la media aritmética: ¹¹

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^m (x_i - \bar{X})^2 f_i}{n}$$

S^2 : Varianza.

x_i : Valor de la variable X.

▪ : Media aritmética de la información.

f_i : Frecuencia absoluta de la observación x_i .

n : Tamaño de la muestra.

m : Número de agrupamientos o intervalos.

⁹ Fuente: Estadística aplicada -Norbeto Guarín Salazar

¹⁰ Fuente: Estadística aplicada -Norbeto Guarín Salazar

¹¹ Fuente: Estadística aplicada -Norbeto Guarín Salazar

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2 f_i}{n}} \quad 12$$

La varianza es siempre positiva o 0: $S_X^2 \geq 0$

2.1.8.4.-Coeficiente de variabilidad.-

Generalmente interesa establecer comparaciones de la dispersión, entre diferentes muestras que posean distintas magnitudes o unidades de medida.

El coeficiente de variabilidad tiene en cuenta el valor de la media aritmética, para establecer un número relativo, que hace comparable el grado de dispersión entre dos o más variables, y se define como:¹³

$$CV = \frac{S}{\bar{X}} 100$$

2.1.8.5.- Covarianza.-

La Covarianza entre dos variables es un resumen estadístico indicador de si las puntuaciones están relacionadas entre sí. La formulación clásica, se simboliza por la letra griega sigma (σ) cuando ha sido calculada en la población. Si se obtiene sobre una muestra, se designa por la letra "s_ {xy}".

La fórmula suele aparecer expresada como:¹⁴

$$\hat{S}_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{n - 1} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{n - 1}$$

Este tipo de dato estadístico puede utilizarse para medir el grado de relación de dos variables si ambas utilizan una escala de medida a nivel de intervalo/razón (variables cuantitativas). La expresión se resuelve promediando el producto de las puntuaciones diferenciales por su tamaño muestral (n pares de puntuaciones, n-1 en su forma insesgada). Este estadístico, refleja la relación lineal que existe entre dos variables.

¹² Fuente: Estadística aplicada -Norbeto Guarín Salazar

¹³ Fuente: Estadística aplicada -Norbeto Guarín Salazar

¹⁴ Fuente: Estadística aplicada -Norbeto Guarín Salazar

El resultado numérico fluctúa entre los rangos de +infinito a -infinito. Al no tener unos límites establecidos no puede determinarse el grado de relación lineal que existe entre las dos variables, sólo es posible ver la tendencia. $-\infty \leq S_{xy} \leq +\infty$

$$S_{xy} = \begin{cases} > 0, & \text{Correlación directa. Recta de regresión creciente.} \\ = 0, & \text{No hay correlación.} \\ < 0. & \text{Correlación inversa. Recta de regresión decreciente.} \end{cases}$$

2.1.9.- Coeficiente de correlación.-

En el análisis conjunto para dos o más variables es básica la búsqueda del tipo y grado de la relación que pueda existir entre ellas, o si por el contrario, las variables sean independientes entre sí y la relación que puedan mostrar se debe únicamente al azar, o a través de terceras variables.

El sondeo del tipo y grado de la correlación, parte desde la misma presunción del investigador, teniendo presente que la búsqueda de relaciones entre variables debe ser lógica, es decir relacionar lo que sea razonable y no datos cuya asociación sea desde cualquier punto de vista absurda.

Para fortalecer el indicio de correlación inicial, se grafica cada uno de los pares ordenados de las variables (x_i, y_j) en un plano cartesiano, para observar la “nube de puntos” o diagrama de dispersión, donde se advierte la tendencia o no, de la información representada.

A pesar de la ilustración visual que ofrecen las gráficas, solo podemos percibir la tendencia, mas no el grado o fortaleza de la relación, entre la variable independiente “X” y la variable dependiente “Y”.

Para cuantificar la calidad de la dependencia, entre las dos variables, el indicador más acostumbrado es el Coeficiente de correlación, definido como:¹⁵

$$r = \frac{S_{x,y}}{S_x S_y}$$

¹⁵ Fuente: Estadística aplicada -Norbeto Guarín Salazar

r : Coeficiente de correlación entre “X” y “Y”

S_x : Desviación típica de “X”

S_y : Desviación típica de “Y”

$S_{x,y}$: Covarianza entre “X” y “Y”

$$r = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2][n \sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

X_i	Y_i	$X_i Y_i$	X_i^2	Y_i^2
x_1	y_1	$x_1 y_1$	x_1^2	y_1^2
x_2	y_2	$x_2 y_2$	x_2^2	y_2^2
·	·	·	·	·
·	·	·	·	·
·	·	·	·	·
x_n	y_n	$x_n y_n$	x_n^2	y_n^2
$\sum X$	$\sum Y$	$\sum XY$	$\sum X^2$	$\sum Y^2$

16

Tabla1-Coeficiente de correlación

El coeficiente de correlación, es un indicador del grado de la relación entre las dos variables, el cual oscila en el intervalo cerrado $[-1,+1]$ es decir, $-1 \leq r \leq 1$

Cuando r toma un valor extremo, ya sea $r=1$ ó $r=-1$ existe una correlación perfecta positiva o negativa según el signo.

Sin embargo, no todas las relaciones son tan ideales, en el común de los casos $-1 < r < 1$. Empíricamente se afirma que:

1. Si $r = \pm 1$ Correlación perfecta
2. Si $0.9 \leq r < 1$ ó $-1 < r \leq -0.9$ Correlación excelente
3. Si $0.8 \leq r < 0.9$ ó $-0.9 < r \leq -0.8$ Correlación buena
4. Si $0.6 \leq r < 0.8$ ó $-0.8 < r \leq -0.6$ Correlación regular
5. Si $0.3 \leq r < 0.6$ ó $-0.6 < r \leq -0.3$ Correlación mala
6. Si $-0.3 < r < 0.3$ No hay correlación

17

Figura 2-Tipos de correlación

¹⁶ Fuente: Estadística aplicada -Norbeto Guarín Salazar

¹⁷ Fuente: Estadística aplicada -Norbeto Guarín Salazar

2.1.10.-Depuración de datos.-

La depuración de datos o intervalos de confianza es el rango aceptable en el que se pueden encontrar los datos.

Y está dado por:

Límite superior: Media Aritmética+ C x Desviación Estándar (Ls)

Límite inferior: Media Aritmética- C x Desviación Estándar (Li)

C: coeficiente de la curva de distribución normal.

2.1.11.-Gráficas de dispersión.-

Dadas dos variables X y Y tomadas sobre el mismo elemento de la población, el diagrama de dispersión es simplemente un gráfico de dos dimensiones, donde en un eje (la abscisa) se grafica una variable (independiente), y en el otro eje (la ordenada) se grafica la otra variable (dependiente).

Disposición:

Eje de abscisas: variable independiente (X).

Eje de ordenadas: variable dependiente (Y).

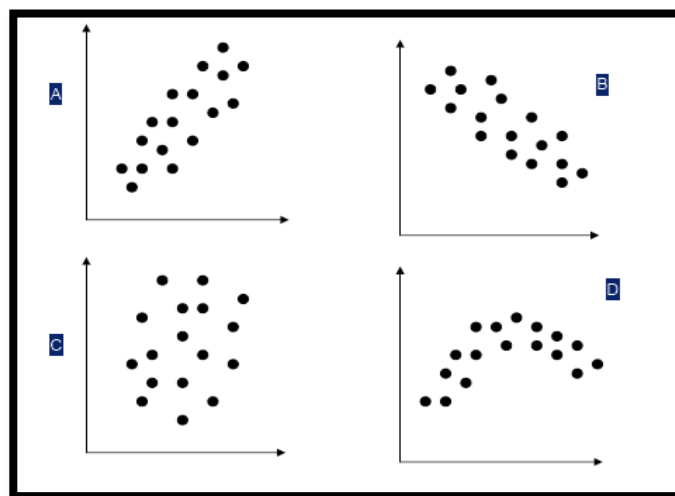


Figura 3-Dispersión de datos¹⁸

¹⁸ Fuente: Estadística aplicada -Norbeto Guarín Salazar

2.1.12.-Ajuste parabólico (método mínimos cuadrados).-

Suele suceder que al dibujar la nube de puntos correspondiente a n observaciones bivariate, se observa una tendencia no rectilínea, pero a la cual se le puede ajustar un modelo teórico conocido.

Dentro de la familia de modelos, es de aplicación común el ajuste regresivo polinomial de grado s “ $s \geq 2$ ” Similarmente con el procedimiento seguido en el ajuste rectilíneo, vamos a encontrar las ecuaciones normales para una parábola, de forma general.

$$Y = a + bX + cX^2$$

$$y_1 = a + bx_1 + cx_1^2$$

$$y_2 = a + bx_2 + cx_2^2$$

$$y_n = a + bx_n + cx_n^2$$

Si cada una de estas ecuaciones la multiplicamos por su respectivo valor de x , y repetimos la acción tenemos:

$$\begin{array}{lll}
 y_1 = a + bx_1 + cx_1^2 & x_1 y_1 = ax_1 + bx_1^2 + cx_1^3 & x_1^2 y_1 = ax_1^2 + bx_1^3 + cx_1^4 \\
 y_2 = a + bx_2 + cx_2^2 & x_2 y_2 = ax_2 + bx_2^2 + cx_2^3 & x_2^2 y_2 = ax_2^2 + bx_2^3 + cx_2^4 \\
 \cdot & \cdot & \cdot \\
 \cdot & \cdot & \cdot \\
 \cdot & \cdot & \cdot \\
 y_n = a + bx_n + cx_n^2 & x_n y_n = ax_n + bx_n^2 + cx_n^3 & x_n^2 y_n = ax_n^2 + bx_n^3 + cx_n^4
 \end{array}$$

Sumando se obtienen las siguientes ecuaciones normales

$$\begin{aligned}
 \sum Y &= na + b \sum X + c \sum X^2 \\
 \sum XY &= a \sum X + b \sum X^2 + c \sum X^3 \\
 \sum X^2 Y &= a \sum X^2 + b \sum X^3 + c \sum X^4
 \end{aligned}$$

De dónde se pueden estimar los parámetros de la parábola $\hat{a}, \hat{b}, \hat{c}$

2.1.12.1.-Tipos de curvas.-

Curva monotónica

Curva no-monotónica

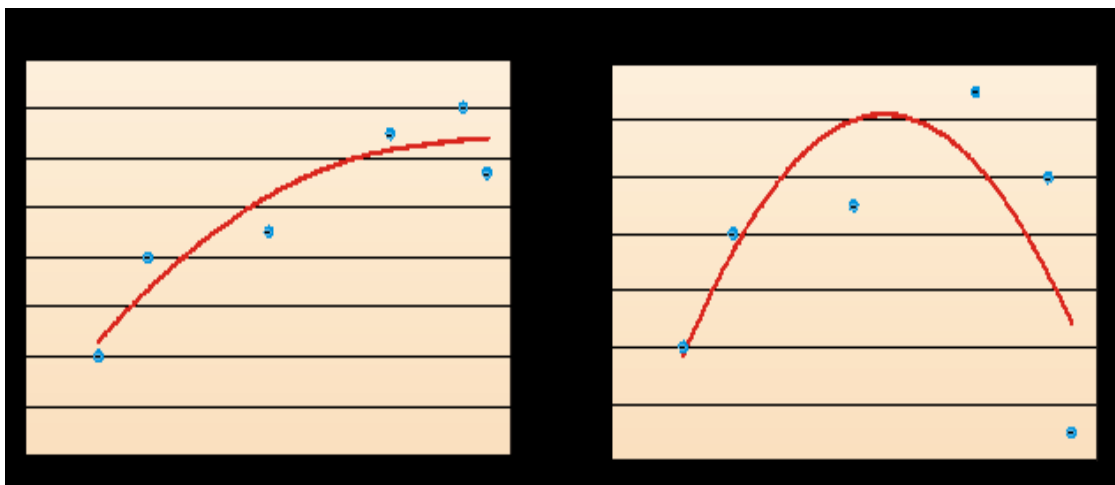


Figura 4-Curvas monotónicas y no monotónicas¹⁹

- En el caso de usar una curva monotónica, ese factor de proporción entre las dos variables no es constante a lo largo de toda la recta, y por lo tanto la pendiente de la misma es variable en su recorrido. Se dice que la línea de ajuste es no lineal puesto que es una curva.
- Por último, en el caso de usar una curva no_monotónica varía tanto la pendiente de la curva como el sentido de la relación, que en unos sectores puede ser positiva (ascendente) y en otras negativas (descendentes).

2.2.-Suelos Arcillosos.-

El diccionario nos dice lo siguiente: Las arcillas son las rocas blandas que se hacen plásticas al contacto con el agua, siendo frágiles en seco, y con gran capacidad de absorción.

La Enciclopedia las define así: La arcilla es un silicato de aluminio hidratado, en forma de roca plástica, impermeable al agua y bajo la acción del calor se deshidrata, endureciéndose mucho.

¹⁹ Fuente: Modelos de correlación-Agustín Salvia

La Enciclopedia técnica dice: Las arcillas son cualquier sedimento o depósito mineral que es plástico cuando se humedece y que consiste de un material granuloso muy fino, formado por partículas muy pequeñas cuyo tamaño es inferior a 4 micras, y que se componen principalmente de silicatos de aluminio hidratados [1 micra es la diezmilésima parte de un centímetro, o sea la dimensión aproximada de los microbios comunes].

El término arcilla se usa habitualmente con diferentes significados:

- Desde el punto de vista mineralógico, engloba a un grupo de minerales (minerales de la arcilla), filosilicatos en su mayor parte, cuyas propiedades físico-químicas dependen de su estructura y de su tamaño de grano, muy fino (inferior a 2 μm).
- Desde el punto de vista petrológico la arcilla es una roca sedimentaria, en la mayor parte de los casos de origen detrítico, con características bien definidas. Para un sedimentólogo, arcilla es un término granulométrico, que abarca los sedimentos con un tamaño de grano inferior a 2 μm .
- Para un ceramista una arcilla es un material natural que cuando se mezcla con agua en la cantidad adecuada se convierte en una pasta plástica. Desde el punto de vista económico las arcillas son un grupo de minerales industriales con diferentes características mineralógicas y genéticas y con distintas propiedades tecnológicas y aplicaciones.

Por tanto, el término arcilla no sólo tiene connotaciones mineralógicas, sino también de tamaño de partícula, en este sentido se consideran arcillas todas las fracciones con un tamaño de grano inferior a 2 μm .

Según esto todos los filosilicatos pueden considerarse verdaderas arcillas si se encuentran dentro de dicho rango de tamaños, incluso minerales no pertenecientes al grupo de los filosilicatos (cuarzo, feldespatos, etc.) pueden ser considerados partículas arcillosas cuando están incluidos en un sedimento arcilloso y sus tamaños no superan las 2 μm .

Las arcillas son constituyentes esenciales de gran parte de los suelos y sedimentos debido a que son, en su mayor parte, productos finales de la meteorización de los silicatos que, formados a mayores presiones y temperaturas, en el medio exógeno se hidrolizan.

2.2.1.-Composición química.-

- Las caolinitas ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) están formadas por una lámina silícica y otra alumínica, que se superponen indefinidamente. La unión entre todas las retículas es lo suficientemente firme para no permitir la penetración de moléculas de agua entre ellas (absorción). En consecuencia, las arcillas caoliníticas serán relativamente estables en presencia del agua.
- Las montmorilonitas $[(\text{OH})_4 \text{Si}_8 \text{Al}_4 \text{O}_{20} \cdot n\text{H}_2\text{O}]$ están formadas por una lámina alumínica entre dos silícicas, superponiéndose indefinidamente.

En este caso la unión entre las retículas del mineral es débil, por lo que las moléculas de agua pueden introducirse en la estructura con relativa facilidad, a causa de las fuerzas eléctricas generadas por su naturaleza dipolar.

Lo anterior produce un incremento en el volumen de los cristales, lo que se traduce, macrofísicamente, en una expansión.

Las arcillas montmoriloníticas, especialmente en presencia del agua, presentarán fuerte tendencia a la inestabilidad.

Las bentonitas son arcillas del grupo montmorilonítico, originadas por la descomposición química de las cenizas volcánicas y presentan la expansividad típica del grupo en forma particularmente aguda, lo que las hace sumamente críticas en su comportamiento mecánico. Estas arcillas aparecen, desdichadamente, con frecuencia en los trabajos de campo; por otra parte, en ocasiones ayudan al ingeniero en la resolución de ciertos problemas prácticos.

- Las ilitas $[(OH)_4 \cdot K_y (Si_{s-y} \cdot Al_y) (Al_4 \cdot Fe_4 \cdot Mg_4 \cdot Mg_6) O_{20}]$ con y , por lo general, igual a 1.5] están estructuradas análogamente que las montmorilonitas, pero, su constitución interna manifiesta tendencia a formar grumos de materia, que reducen el área expuesta al agua por unidad de volumen; por eso, su expansividad es menor que de las montmorilonitas y en general, las arcillas ílíticas, se comportan mecánicamente en forma más favorable para el ingeniero.

Las arcillas están constituidas básicamente por silicatos de aluminio hidratados, presentando además, en algunas ocasiones, silicatos de magnesio, hierro u otros metales, también hidratados. Estos minerales tienen casi siempre, una estructura cristalina definida, cuyos átomos se disponen en láminas. Existen dos variedades de tales láminas: la silícica y la alumínica.

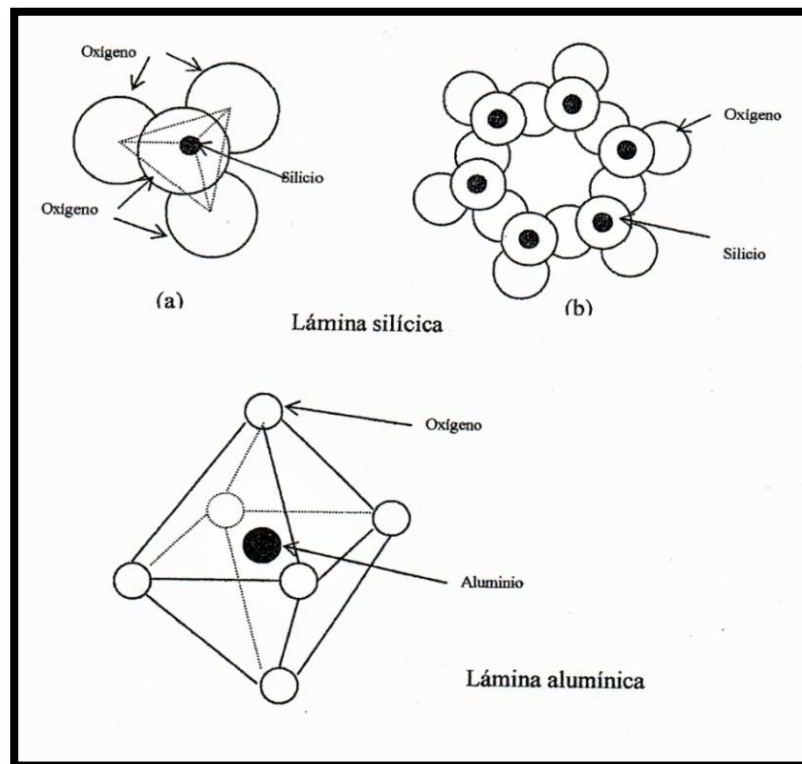


Figura5.-Esquema de unidades estructurales²⁰

²⁰ Fuente: Las arcillas: propiedades y usos-Emilia García Romero: Universidad Complutense (Madrid)-Mercedes Suárez Barrios: Universidad de Salamanca

2.2.2.-Clasificación.-

Los filosilicatos se clasifican atendiendo a que sean bilaminares o trilaminares y dioctaédricos o trioctaédricos. Como puede verse pertenecen a los filosilicatos grupos de minerales tan importantes como las micas y las arcillas.

	DIOCTAÉDRICOS		TRIOCTAÉDRICOS		CARGA
BILAMINARES T:O 1:1		Caolinita		Antigorita	X = 0
	CANDITAS	Nacrita	SERPENTINA	Crisotilo	
		Dickita		Lizardita	
		Halloisita		Bertierina	
TRILAMINARES T:O:T 2:1	Pirofilita		Talco		X = 0
		Montmorillonita		Saponita	X = 0,2-0,6
	ESMECTITAS	Beidellita	ESMECTITAS	Hectorita	
		Nontronita			
	Vermiculitas		Vermiculitas		X = 0,6-0,9
	Illitas				X = 0,9
		Moscovita		Biotita	X = 1
	MICAS	Paragonita	MICAS	Flogopita	
				Lepidolita	
T:O:T:O 2:1:1	CLORITAS				
FIBROSOS	Paligorskita	Sepiolita			

Figura6-Clasificación de las arcillas ²¹

²¹ Fuente: Las arcillas: propiedades y usos-Emilia García Romero: Universidad Complutense (Madrid)-Mercedes Suárez Barrios: Universidad de Salamanca

2.2.3.-Propiedades Físico-Químicas.-

Las importantes aplicaciones industriales de este grupo de minerales radican en sus propiedades fisico-químicas. Dichas propiedades derivan, principalmente, de:

- Su extremadamente pequeño tamaño de partícula (inferior a $2 \mu\text{m}$)
- Su morfología laminar (filosilicatos)
- Las sustituciones isomórficas, que dan lugar a la aparición de carga en las láminas y a la presencia de cationes débilmente ligados en el espacio interlaminar.

Como consecuencia de estos factores, presentan, por una parte, un valor elevado del área superficial y, a la vez, la presencia de una gran cantidad de superficie activa, con enlaces no saturados.

Por ello pueden interaccionar con muy diversas sustancias, en especial compuestos polares, por lo que tienen comportamiento plástico en mezclas arcilla-agua con elevada proporción sólido/líquido y son capaces en algunos casos de hinchar, con el desarrollo de propiedades reológicas en suspensiones acuosas.

Por otra parte, la existencia de carga en las láminas se compensa, como ya se ha citado, con la entrada en el espacio interlaminar de cationes débilmente ligados y con estado variable de hidratación, que pueden ser intercambiados fácilmente mediante la puesta en contacto de la arcilla con una solución saturada en otros cationes, a esta propiedad se la conoce como capacidad de intercambio catiónico y es también la base de multitud de aplicaciones industriales.

2.2.3.1.-Superficie específica.-

La superficie específica o área superficial de una arcilla se define como el área de la superficie externa más el área de la superficie interna (en el caso de que esta exista) de las partículas constituyentes, por unidad de masa, expresada en m^2/g .

Las arcillas poseen una elevada superficie específica, muy importante para ciertos usos industriales en los que la interacción sólido-fluido depende directamente de esta propiedad.

A continuación se muestran algunos ejemplos de superficies específicas de arcillas: (m²/g)

Caolinita de elevada cristalinidad hasta	15
Caolinita de baja cristalinidad hasta	50
Halloisita hasta	60
Illita hasta	50
Montmorillonita	80-300
Sepiolita	100-240
Paligorskita	100-200

Tabla2.-superficies específicas de las arcillas ²²

2.2.3.2.-Capacidad de Intercambio catiónico.-

Es una propiedad fundamental de las esmectitas. Son capaces de cambiar, fácilmente, los iones fijados en la superficie exterior de sus cristales, en los espacios interlaminares, o en otros espacios interiores de las estructuras, por otros existentes en las soluciones acuosas envolventes.

La capacidad de intercambio catiónico (CEC) se puede definir como la suma de todos los cationes de cambio que un mineral puede adsorber a un determinado pH. Es equivalente a la medida del total de cargas negativas del mineral. Estas cargas negativas pueden ser generadas de tres formas diferentes:

- Sustituciones isomórficas dentro de la estructura.
- Enlaces insaturados en los bordes y superficies externas.

²² Fuente: Las arcillas: propiedades y usos-Emilia García Romero: Universidad Complutense (Madrid)-Mercedes Suárez Barrios: Universidad de Salamanca

- Disociación de los grupos hidroxilos accesibles.

El primer tipo es conocido como carga permanente y supone un 80 % de la carga neta de la partícula; además es independiente de las condiciones de pH y actividad iónica del medio. Los dos últimos tipos de origen varían en función del pH y de la actividad iónica. Corresponden a bordes cristalinos, químicamente activos y representan el 20 % de la carga total de la lámina.

A continuación se muestran algunos ejemplos de capacidad de intercambio catiónico (en meq/100 g):

Caolinita:	3-5
Halloisita:	10-40
Illita:	10-50
Clorita:	10-50
Vermiculita:	100-200
Montmorillonita:	80-200
Sepiolita-paligorskita:	20-35

Tabla3.-Capacidad de intercambio catiónico de las arcillas ²³

2.2.3.3.-Capacidad de absorción.-

Algunas arcillas encuentran su principal campo de aplicación en el sector de los absorbentes ya que pueden absorber agua u otras moléculas en el espacio interlaminar (esmeclitas) o en los canales estructurales (sepiolita y paligorskita).

La capacidad de absorción está directamente relacionada con las características texturales (superficie específica y porosidad) y se puede hablar de dos tipos de procesos que difícilmente se dan de forma aislada: absorción (cuando se trata fundamentalmente de procesos físicos como la retención por capilaridad) y adsorción (cuando existe una

²³ Fuente: Las arcillas: propiedades y usos-Emilia García Romero: Universidad Complutense (Madrid)-Mercedes Suárez Barrios: Universidad de Salamanca

interacción de tipo químico entre el adsorbente, en este caso la arcilla, y el líquido o gas adsorbido, denominado adsorbato).

La capacidad de adsorción se expresa en porcentaje de adsorbato con respecto a la masa y depende, para una misma arcilla, de la sustancia de que se trate. La absorción de agua de arcillas absorbentes es mayor del 100% con respecto al peso.

2.2.3.4.-Hidratación e hinchamiento.-

La hidratación y deshidratación del espacio interlaminar son propiedades características de las esmectitas, y cuya importancia es crucial en los diferentes usos industriales. Aunque hidratación y deshidratación ocurren con independencia del tipo de catión de cambio presente, el grado de hidratación sí está ligado a la naturaleza del catión interlaminar y a la carga de la lámina.

La absorción de agua en el espacio interlaminar tiene como consecuencia la separación de las láminas dando lugar al hinchamiento. Este proceso depende del balance entre la atracción electrostática catión-lámina y la energía de hidratación del catión.

A medida que se intercalan capas de agua y la separación entre las láminas aumenta, las fuerzas que predominan son de repulsión electrostática entre láminas, lo que contribuye a que el proceso de hinchamiento pueda llegar a disociar completamente unas láminas de otras. Cuando el catión interlaminar es el sodio, las esmectitas tienen una gran capacidad de hinchamiento, pudiendo llegar a producirse la completa disociación de cristales individuales de esmectita, teniendo como resultado un alto grado de dispersión y un máximo desarrollo de propiedades coloidales. Si por el contrario, tienen Ca o Mg como cationes de cambio su capacidad de hinchamiento será mucho más reducida.

2.2.3.5.-Plasticidad.-

Las arcillas son eminentemente plásticas. Esta propiedad se debe a que el agua forma una envuelta sobre las partículas laminares produciendo un efecto lubricante que facilita el deslizamiento de unas partículas sobre otras cuando se ejerce un esfuerzo sobre ellas.

La elevada plasticidad de las arcillas es consecuencia, nuevamente, de su morfología laminar, tamaño de partícula extremadamente pequeño (elevada área superficial) y alta capacidad de hinchamiento.

Generalmente, esta plasticidad puede ser cuantificada mediante la determinación de los índices de Atterberg (Límite Líquido, Límite Plástico y Límite de Retracción). Estos límites marcan una separación arbitraria entre los cuatro estados o modos de comportamiento de un suelo sólido, semisólido, plástico y semilíquido o viscoso (Jiménez Salas, et al. , 1975).

La relación existente entre el límite líquido y el índice de plasticidad ofrece una gran información sobre la composición granulométrica, comportamiento, naturaleza y calidad de la arcilla. Existe una gran variación entre los límites de Atterberg de diferentes minerales de la arcilla, e incluso para un mismo mineral arcilloso, en función del catión de cambio. En gran parte, esta variación se debe a la diferencia en el tamaño de partícula y al grado de perfección del cristal. En general, cuanto más pequeñas son las partículas y más imperfecta su estructura, más plástico es el material.

La relación entre las características plásticas y la expansión de los suelos puede establecerse como:

IP Indice de plasticidad	potencial de expansión del terreno
0 < IP < 15	BAJO
10 < IP < 35	MEDIO
20 < IP < 55	ALTO
35 < IP	MUY ALTO

Figura 7-Relación entre IP y Expansión²⁴

²⁴ Fuente: "Predicción de los movimientos en cimentaciones construidas sobre arcillas Expansivas debido a cambios de Humedad"- Rodríguez P. C. A

2.2.3.6.-Tixotropía.-

La tixotropía se define como el fenómeno consistente en la pérdida de resistencia de un coloide, al amasarlo, y su posterior recuperación con el tiempo. Las arcillas tixotrópicas cuando son amasadas se convierten en un verdadero líquido. Si, a continuación, se las deja en reposo recuperan la cohesión, así como el comportamiento sólido. Para que una arcilla tixotrópica muestre este especial comportamiento deberá poseer un contenido en agua próximo a su límite líquido. Por el contrario, en torno a su límite plástico no existe posibilidad de comportamiento tixotrópico.

2.3.-Porcentaje de Humedad.-

(ASTM D2216)

El contenido de humedad del suelo, se define como la cantidad de agua presente en el suelo al momento de efectuar el ensayo, relacionado al peso de su fase sólida, se representa por la siguiente expresión:²⁵

$$\%w = \frac{\text{peso del agua contenida}}{\text{peso seco}} * 100\% = \frac{W_h - W_s}{W_s} * 100\%$$

W=Humedad.

Wh=Peso de la muestra húmeda.

Ws=Peso de la muestra seca.

2.3.1.-Método del horno.-

- Se deberán pesar las cápsulas: (C).
- Registrando dichos datos en la planilla de contenido de humedad, cabe hacer notar que deben identificarse las cápsulas ya sea con números o letras.
- Se llenarán las cápsulas con el suelo húmedo: (SH+C).

²⁵ Fuente: Manual de laboratorios de suelos –Ing.Alberto Yurquina

- Registrando el peso del suelo más el peso de la cápsula.
- Introducir cápsulas con el suelo al horno durante 24 horas: A una temperatura de 105 a 110°C.
- Extraer del horno y pesar: Registrando el valor obtenido del peso del suelo seco más cápsula (SS+C), si es que se encuentran muy calientes o si se demora el pesaje, se deberán tener las cápsulas cubiertas de manera que no absorba la humedad del ambiente.

Cápsula No.	1	2
Peso cápsula [gr.]		
Peso cápsula + muestra húmeda [gr.]		
Peso cápsula + muestra seca [gr.]		
Peso muestra seca [gr.]		
Peso agua [gr.]		
Contenido de humedad [%]		

Tabla 4- Porcentaje de Humedad²⁶

2.4.- Análisis Granulométrico de los suelos.-

ASTM D422 - AASHTO T88

La variedad en el tamaño de las partículas de suelos, casi es limitada; por definición, los granos mayores son los que se pueden mover con la mano, mientras que los más finos son tan pequeños que no se pueden apreciar con un microscopio corriente.

Debido a ello es que se realiza el análisis granulométrico que tiene por objeto determinar el tamaño de las partículas o granos que constituyen un suelo y fijar, en porcentaje de su peso total, la cantidad de granos de distinto tamaño que el mismo contiene.

La manera de hacer esta determinación es por medio de tamices de abertura cuadrada.

²⁶ Fuente: Manual de laboratorios de suelos de ingeniería civil-Joseph E. Bowles

El procedimiento de ejecución del ensayo es simple y consistente en tomar una muestra de suelo de peso conocido, colocarlo en el juego de tamices ordenados de mayor a menor abertura, pesando los retenidos parciales del suelo en cada tamiz. Esta separación física de la muestra en dos o más fracciones que contiene cada una de las partículas de un solo tamaño, es lo que se conoce como “fraccionamiento”.

La determinación del peso de cada fracción que contiene partículas de un solo tamaño es llamado” análisis mecánico “. Este es uno de los análisis de suelo más antiguo y común, brindando la información básica por relevar la uniformidad o graduación de un material dentro de rangos establecidos, y para la clasificación por textura de un suelo.

No. Alternativo	Abertura nominal plg	Abertura estándar mm
4"	4.000	100 mm
3 1/2"	3.500	90 mm
3"	3.000	75 mm
2 1/2"	2.500	63 mm
2.12"	2.120	53 mm
2"	2.000	50 mm
1 3/4"	1.750	45 mm
1 1/2"	1.500	37.5 mm
1 1/4"	1.250	31.5 mm
1.06"	1.060	26.5 mm
1"	1.000	25.0 mm
7/8"	0.875	22.4 mm
3/4"	0.750	19.0 mm
5/8"	0.625	16.0 mm
0.530"	0.530	13.2 mm
1/2"	0.500	12.5 mm
7/16"	0.434	11.2 mm
3/8"	0.375	9.5 mm
5/16"	0.312	8.0 mm
0.265"	0.265	6.7 mm
1/4"	0.250	6.3 mm
1/8"	0.125	3.17 mm
No. 3	0.223	5.6 mm
No. 4	0.187	4.75 mm
No. 5	0.157	4.00 mm
No. 6	0.131	3.35 mm
No. 7	0.110	2.80 mm
No. 8	0.094	2.36 mm
No. 10	0.078	2.00 mm
No. 12	0.066	1.70 mm
No. 14	0.055	1.40 mm
No. 16	0.046	1.18 mm
No. 18	0.039	1.00 mm
No. 20	0.033	850 µm
No. 25	0.027	710 µm
No. 30	0.023	600 µm
No. 35	0.019	500 µm
No. 40	0.016	425 µm
No. 45	0.013	355 µm
No. 50	0.011	300 µm
No. 60	0.009	250 µm
No. 70	0.008	212 µm
No. 80	0.007	180 µm
No. 100	0.005	150 µm
No. 120	0.0049	125 µm
No. 140	0.0041	106 µm
No. 170	0.0035	90 µm
No. 200	0.0029	75 µm
No. 230	0.0024	62 µm
No. 270	0.0020	53 µm
No. 325	0.0017	45 µm
No. 400	0.0014	38 µm

Figura 8-Tamaño de abertura de tamices ²⁷

²⁷ Fuente: Principios de la ingeniería de cimentaciones-Braja M. Das

2.4.1.-Límites de tamaño para suelos.-

Estos sistemas nos indican el tamaño para gravas, arenas, limos y arcillas.

Sistema de clasificación	Tamaño del grano (mm)
Unificado	Grava: 75 mm a 4.75 mm Arena: 4.75 mm a 0.075 mm Limo y arcilla (finos): <0.075 mm
AASHTO	Grava: 75 mm a 2 mm Arena: 2 mm a 0.05 mm Limo: 0.05 mm a 0.002 mm Arcilla: <0.002 mm

Figura9-Métodos de Clasificación de suelos²⁸

2.4.2.-Método del lavado.-

- Si el suelo, en nuestro caso un suelo expansivo, presenta grumos para lo cual tuvimos que empezar a moler el material.
- Una vez molido nuestro material se pesaron 500gr de nuestro material y se lo dejó saturado con agua 24 horas antes de realizar la práctica.
- Una vez saturado completamente el material se empezó a realizar el método del lavado.
- Para realizar el método del lavado se introdujo nuestra muestra en el tamiz N°200 y se empezó a lavar con agua nuestro material.
- Al comienzo nuestro material presentaba un aspecto oscuro por la sedimentación que después a medida que seguimos lavando se fue perdiendo dejando nuestra muestra con un aspecto más claro.
- Una vez finalizado el lavado en el tamiz solo quedo una arenita fina con un par de pequeñas piedritas.
- Una vez secado el material se empezó a realizar la granulometría de nuestro material utilizando tres tamices el N°10 debido a las piedritas que presentaba nuestra materia, el N°40 y el N°200.

²⁸ Fuente: Principios de la ingeniería de cimentaciones-Braja M. Das

- Luego se pesaron las cápsulas vacías y posteriormente se pesaron las cápsulas con el material retenido por cada tamiz para así poder obtener el porcentaje de material que paso por cada tamiz.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL MATERIAL QUE PASA (LAVADO)				
TAMIZ NO.	PESO RETENIDO PARCIAL EN GRS.	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULATIVO	% QUE PASA POR EL TAMIZ
40				
100				
200				
PASA 200				
SUMA				

Tabla 5-Granulometría²⁹

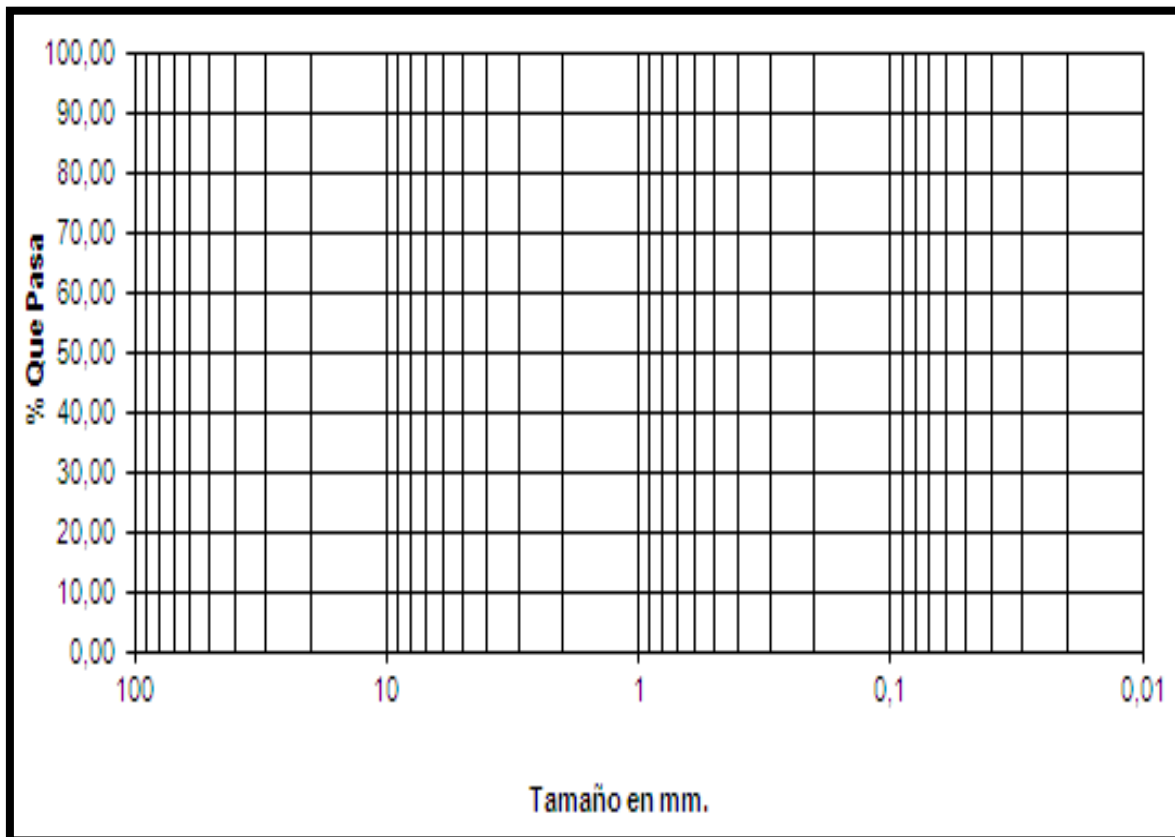


Figura10-Gráfica en escala semi-logarítmica Granulometría³⁰

²⁹ Fuente: Guía de laboratorios de mecánica de suelos-Universidad de Nicaragua

³⁰ Fuente: Guía de laboratorios de mecánica de suelos-Universidad de Nicaragua

2.5.-Límites de Atterberg.-

Se define límites de Atterberg o límites de consistencia como las diferentes fronteras convencionales entre cualquier de los estados o fases que un suelo pueda estar, según el contenido de agua en orden decreciente; los estados de consistencia definidos por Atterberg son: estado líquido, estado semilíquido, estado plástico, estado semisólido y estado sólido. Llamándose límites de plasticidad a las fronteras (límite líquido y límite plástico) que definen el intervalo plástico.

Existen suelos que al ser remoldeados, cambiando su contenido de agua si es necesario, adoptan una consistencia característica, que desde épocas antiguas se ha denominado plástica. Estos suelos han sido llamados arcillas, originalmente por los hombres dedicados a la cerámica; la palabra pasó a la mecánica de suelos, en épocas recientes, con idéntico significado. La plasticidad es, en este sentido, una propiedad tan evidente que ha servido para clasificar suelos en forma puramente descriptiva.

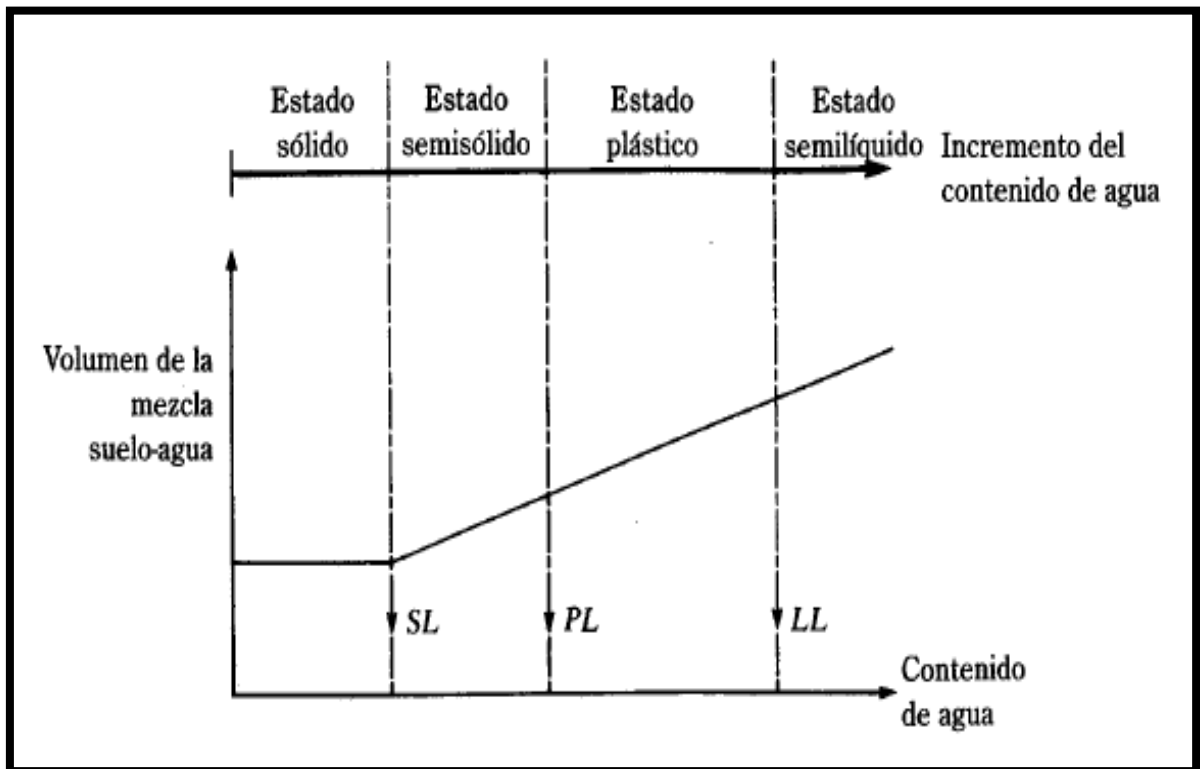


Figura 11-Gráfica de los estados del suelo³¹

³¹ Fuente: Principios de la ingeniería de cimentaciones-Braja M. Das

Según su contenido de agua en orden decreciente, un suelo susceptible de ser plástico puede estar en cualquiera de los siguientes estados de consistencia:

- Estado líquido, con las propiedades y apariencia de una suspensión.
- Estado semilíquido, con las propiedades de un fluido viscoso.
- Estado plástico, en que el suelo se comporta plásticamente.
- Estado semisólido, en que el suelo tienen la apariencia de un sólido, pero aun disminuye de volumen al estar sujeto a secado.
- Estado sólido, en que el volumen del suelo no varía con el secado.

2.5.1.-Límite Líquido.-

ASTM D4318 - AASHTO T89

El límite se define como el contenido de humedad expresado en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra, que debe tener un suelo moldeado para una muestra del mismo en que se haya moldeado en la ranura de dimensiones Estándar, al someterla al impacto de 25 golpes bien definidos se cierre sin resbalar en su apoyo.

2.5.1.1.-Procedimiento.-

Los ensayos de consistencia se hacen solamente con la fracción de suelo que pasa por el tamiz N°40.

- Después de secada la muestra de suelo, se criba a través del tamiz N°40 desechándose el que quede retenido.
- Antes de utilizar la “Copa de Casagrande”, debe ser ajustada(calibrada), para que la copa tenga una altura de caída de 1 centímetro, exactamente.
- Del material que paso por el tamiz N°40 se toman aproximadamente unos 100 gramos, se colocan en una cápsula de porcelana y con espátula se hace una mezcla pastosa, homogénea y de consistencia suave agregándole una pequeña cantidad de agua durante el mezclado.

- Parte de esta mezcla se coloca con la espátula en la copa de Casagrande formando una torta aislada de un espesor de 1 centímetro, en la parte máxima de profundidad. Una altura menor aumenta el valor del límite líquido.
- El suelo colocado en la “Copa de Casagrande” se divide en la parte media en dos porciones utilizando para ello un ranurador, de manera que permanezca perpendicular a la superficie inferior a la copa.
- Para suelos arcillosos con poco o ningún contenido de arena hágase la ranura con un solo movimiento suave y continuo.
- Después asegúrese que la copa y la base estén limpias y secas, se da vuelta a la manija del “Aparato de Casagrande”, uniformemente a razón de 2 golpes por segundo, contando el número de golpes requeridos hasta que se cierre el fondo de la ranura en una distancia de 1 centímetro. Si la ranura se cierra antes de los 10 golpes, se saca el material se vuelve a mezclar y se repiten nuevamente los pasos anteriores.
- Después que el suelo se ha unido en la parte inferior de la ranura, se toman aproximadamente unos 10 gramos del suelo; se anota su peso húmedo, en N° de golpes obtenidos y se determina el peso seco.
- Se deben repetir los anteriores pasos con el propósito de obtener puntos menores y mayores de 25 golpes.
- Determine el porcentaje de humedad correspondiente a cada número de golpes y se construye la curva de fluidez en papel semi-logarítmico.
- El límite líquido se define cuando el contenido de agua en la curvatura de fluidez corresponde a 25 golpes

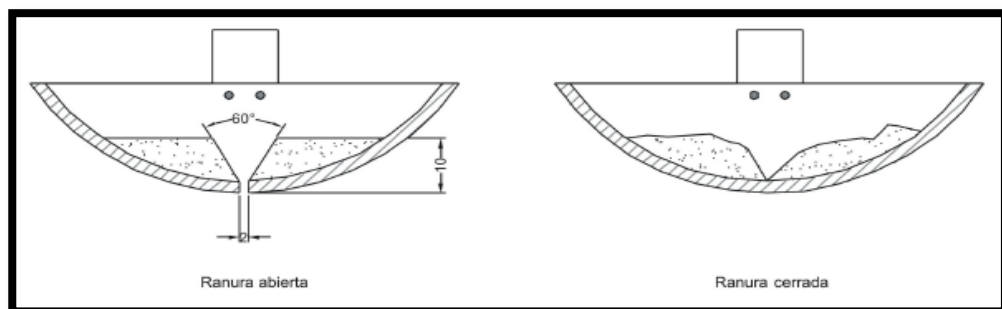


Figura 12-Suelo antes y después de los golpes ³²

³² Fuente: Manual de carreteras-ABC

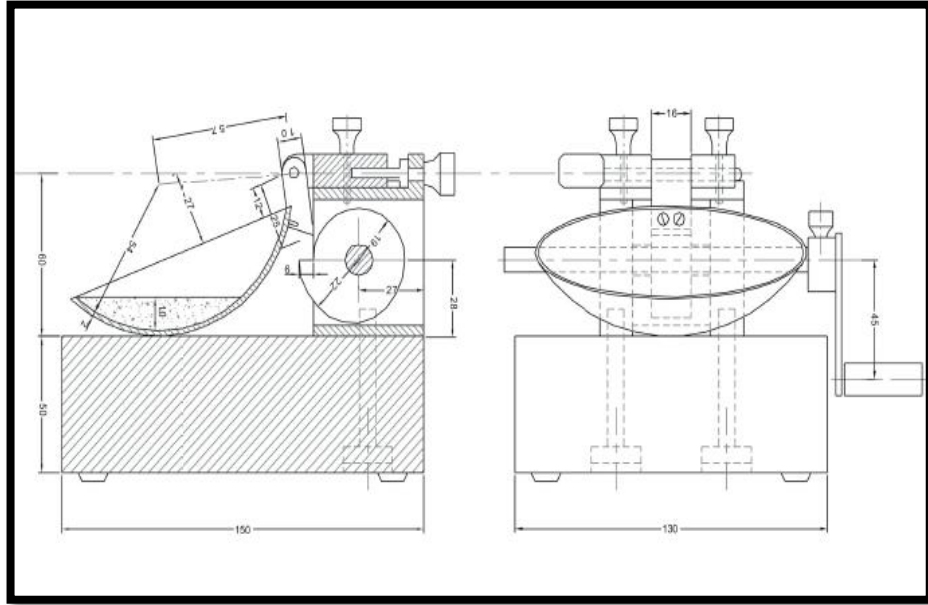


Figura 13-Equipo Casagrande³³

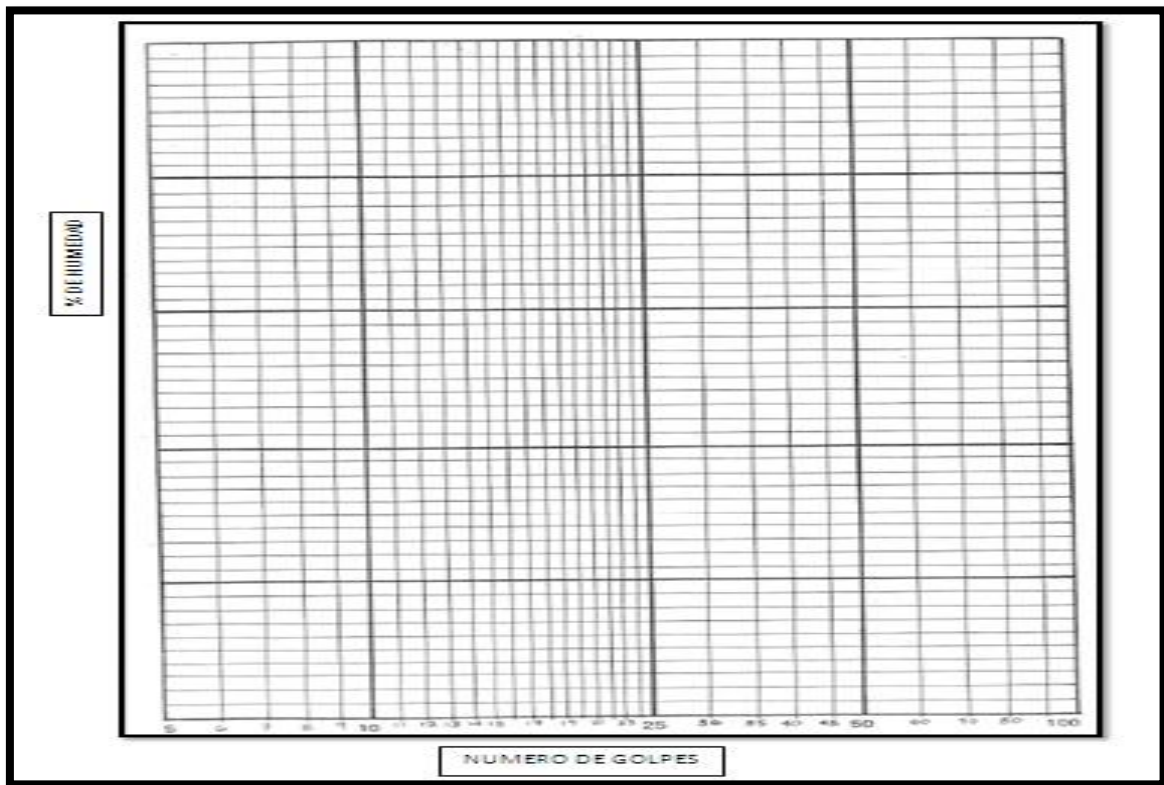


Figura 14-Gráfica en escala semi-logarítmica Límite Líquido³⁴

³³ Fuente: Manual de carreteras-ABC

³⁴ Fuente: Manual de laboratorios de suelos de ingeniería civil-Joseph E. Bowles

Límite Líquido					
Cápsula					
No de golpes					
Peso suelo húmedo + cápsula (g)					
Peso suelo seco + cápsula (g)					
Peso del agua (g)					
Peso de cápsula (g)					
Peso suelo seco (g)					
Porcentaje de humedad (%)					

Tabla 6-Límite Líquido³⁵

2.5.2.-Límite Plástico.-

ASTM D4318-AASHTO T90

El límite plástico se define como el contenido de humedad, expresado en porcentaje, cuando comienza a grietarse un rollo formado con el suelo de 3 milímetros de diámetro, al rodarlo con la mano sobre una superficie lisa y absorbente.

2.5.2.1.-Prodedimiento.-

- Se toma aproximadamente la mitad de la muestra que se usó en el límite líquido, procurando que tenga una humedad uniforme cercana a la humedad óptima, amáselo con la mano y ruédelo sobre una superficie limpia y lisa, como una hoja de papel o vidrio hasta formar un cilindro de 3 milímetros de diámetro y de 15 a 20 cm de largo.
- Se amasa la tira y se vuelve a rodar, repitiendo la operación tantas veces como se necesite para reducir, gradualmente, la humedad por evaporación, hasta que el cilindro se empiece a endurecer.
- El límite plástico se alcanza cuando el cilindro se agrieta al ser reducido a 3 milímetros de diámetro.
- Inmediatamente se divide en porciones y se colocan los pedazos en taras.
- Se pesan y se registran sus pesos.

³⁵ Fuente: Manual de laboratorios de suelos de ingeniería civil-Joseph E. Bowles

- Se pone la muestra en el horno por un periodo de 24 horas y se determina su peso seco.
- Con los datos anteriores se calcula el contenido de agua en porcentaje. Si la diferencia de los dos % no es mayor que 2% se promedian y en caso contrario se repite el ensayo.
- El promedio es el valor en porcentaje del límite plástico.

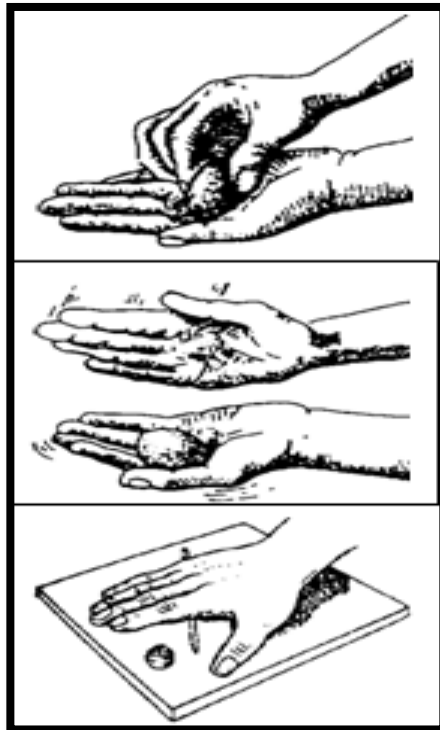


Figura 15-Pasos para Límite Plástico ³⁶

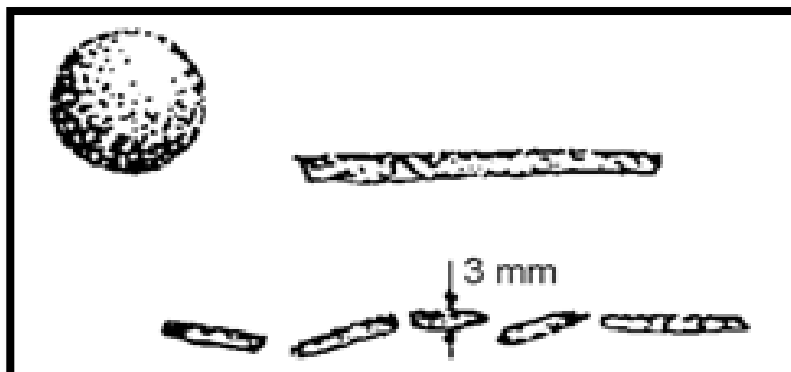


Figura 16-Altura de las muestras para Límite Plástico ³⁷

³⁶ Fuente: Características físicas y propiedades mecánicas de los suelos y sus métodos de medición- Juan Carlos Hernández Canales

³⁷ Fuente: Características físicas y propiedades mecánicas de los suelos y sus métodos de medición- Juan Carlos Hernández Canales

Cápsula				
Peso suelo húmedo + cápsula (g)				
Peso suelo seco + cápsula (g)				
Peso del agua (g)				
Peso de cápsula (g)				
Peso suelo seco (g)				
Porcentaje de humedad (%)				

Tabla 7-Límite Plástico³⁸

2.5.3.-Índice Plástico.-

ASTM D4318 - AASHTO T90

Numéricamente es la diferencia entre el límite líquido (LL) y el límite plástico (LP). El cual representa la variación de humedad que puede tener un suelo que se conserva en estado plástico. Tanto el límite líquido como el límite plástico dependen de la calidad y tipo de arcilla presente en la muestra, sin embargo el índice de plasticidad depende generalmente, de la cantidad de arcilla en el suelo:³⁹

$$IP=LL-LP$$

Atterberg clasificó el IP en diferentes secciones, que varía de 0 hasta 17, en los cuales los suelos se comportan de acuerdo a la magnitud del índice de plasticidad, es decir, que se muestra un indicativo para razonar como trabaja el suelo en el terreno.

Si IP = 0	Si no es posible determinar uno de los dos límites (LL o LP), o si la diferencia es negativa (IP), el suelo se clasifica como No Plástico (NP).
Si IP < 7	El suelo tiene una baja plasticidad
Si 7 < IP < 17	El suelo es medianamente plástico
Si IP > 17	Suelo altamente plástico

Figura 17-Relación plasticidad con IP⁴⁰

³⁸ Fuente: Manual de laboratorios de suelos de ingeniería civil-Joseph E. Bowles

³⁹ Fuente: Manual de laboratorios de suelos de ingeniería civil-Joseph E. Bowles

⁴⁰ Fuente: Características físicas y propiedades mecánicas de los suelos y sus métodos de medición- Juan Carlos Hernández Canales

2.6.-Clasificación de suelos.-

La existencia de esta variedad de sistemas de clasificación de suelos se debe, al hecho de que tanto el ingeniero civil como el geólogo y el agrónomo analizan el suelo desde diferentes puntos de vista. Sin embargo, lo que es fundamental es el hecho de que cualquier clasificación que quiera abarcar las necesidades correspondientes, debe estar basada en las propiedades mecánicas de los suelos, ya que estas son fundamentales en las variadas aplicaciones de la ingeniería.

En general, la textura de un suelo se refiere a su apariencia superficial, la cual es influenciada por el tamaño de los granos presentes en él. La clasificación por texturas permite dividir el suelo en categorías básicas dependiendo del tamaño presente: grava, arena, limo y arcilla, pero en la naturaleza en la presentación habitual de los suelos es una mezcla de ellos, en este caso el nombre del suelo depende de los componentes principales o según el tamaño de grano que predomina en cantidad, según el caso el suelo se puede clasificar como arcillo limoso, areno arcilloso, franco arenoso.

En nuestro medio se utilizan los siguientes métodos: el sistema de clasificación de los suelos AASHTO (American Association of Atate High-way and Transportation Officials) y el sistema unificado de clasificación de los suelos SUCS o USCS (Unified Soil Classification System) también llamado sistema de clasificación ASTM.

2.6.1.-Sistema de Clasificación de suelos AASHTO.-

Está destinada principalmente a clasificar los suelos de acuerdo a su adaptabilidad para ser usados en la construcción de pavimentos de carreteras y caminos. El sistema AASHTO se usa principalmente para la clasificación de las capas de carreteras. No se usa en la construcción de cimentaciones.

Este sistema describe un procedimiento para clasificar suelos en 7 grupos principales: Desde A-1 hasta A-7, basado en el tamaño del grano (granulometría), en la plasticidad (límite líquido e índice de plasticidad). Para sub-rasante de un camino, se desarrolló también un número denominado índice de grupo (IG).

- GRUPO A-1: El material clasificado en este grupo, es una mezcla bien gradada de fragmentos de piedra o grava, arena gruesa, arena fina y un aglomerante no plástico o poco plástico.
- Grupo A-1-a: En este sub-grupo se clasifican aquellos materiales que están formados, principalmente, de fragmentos de piedra o grava con o sin aglomerante fino bien gradado.
- GRUPO A-1-b: Aquellos materiales que están formados de arena gruesa con aglomerante bien gradado o sin él.
- GRUPO A-2: Incluye todos los materiales que contienen hasta un 35% del material que pasa por la malla N°200 y que no pueden clasificarse en los grupos A-1 y A-3, por sobrepasar las limitaciones de dichos grupos debido a un exceso en la proporción de finos, en la plasticidad o en ambas.
- SUB-GRUPO A-2-4 y A-2-5: Aquí se incluyen los materiales similares a los de los grupos A-2-6 y A-2-7, con la diferencia de que el material fino contiene arcilla plástica que tiene las características de los grupos A-6 y A-7. Los efectos combinados de los aumentos por encima de 10 del índice plástico y del aumento por encima del 15% de los que pasa la malla N°200, se reflejan en los valores del índice de grupo desde 0 a 4 (materiales limo-arcillosos).
- GRUPO A-4: A este grupo pertenecen los suelos limosos sin plasticidad o poco plásticos, que tienen más del 75% de sus partículas pasando por la malla N°200. También incluye este grupo mezclas de limo fino y hasta un 64% de arenas y gravas que carecen de la fracción que pasa de la malla N°200. El índice de grupo varía de 1 a 8, notándose un aumento en el porcentaje de material grueso a medida que se reduce el índice de grupo.
- GRUPO A-5: Similares al grupo anterior, pero con la diferencia que son del tipo diatomáceo o micáceo. Estos suelos pueden ser muy elásticos según se refleja por su alto límite líquido. Su índice de grupo varía de 1 a 12, indicando los valores crecientes, el efecto combinado de la disminución del porcentaje de material grueso y el aumento de su límite líquido.
- GRUPO A-6: Arcillas que tienen el 75% o más del material pasado de la malla N°200. Incluye también mezclas de suelo arcilloso fino hasta con un 64% de grava y

arena que carecen de la fracción que pasa de la malla N°200. Con la humedad estos suelos suelen experimentar fuertes cambios de volumen. Su índice de grupo varía de 1 a 16, indican los valores crecientes el efecto del aumento de índice plástico y la disminución del porcentaje del material grueso.

- **GRUPO A-7:** Similares al grupo anterior, excepto que tiene el límite líquido muy alto como es característico de los suelos del grupo A-5. Pueden ser elásticos y están sujetos a grandes cambios de volumen, estos suelos tienen un índice de grupo que varía de 1 a 20.

Reflejándose el efecto combinado del aumento del límite líquido, el índice plástico y la disminución del porcentaje del material grueso, en los valores crecientes del índice de grupo.

- **SUB-GRUPO A-7-5:** Materiales con un índice de plasticidad moderado en relación con el límite líquido, los cuales pueden ser muy elásticos y están sujetos a grandes cambios de volumen.
- **SUB-GRUPO A-7-6:** Materiales que tienen un índice plástico muy alto con relación a su límite líquido y que están sujetos a extremos cambios de volumen con los cambios de humedad.

En la clasificación AASHTO se describe las propiedades de los suelos descritos anteriormente y donde además se muestran algunas recomendaciones para el uso adecuado en carreteras.

- a) **Tamaño de grano grueso:** Se distinguen 3 tamaños principales; grava, arena y finos (limo y arcilla). Los bloques de roca (tamaño superior a los 75 mm) encontrados dentro de la muestra de suelo, se excluyen de la porción de análisis para la clasificación, pero se registra la cantidad presente.
- b) **Plasticidad:** El término limo es aplicado a aquellas fracciones finas donde el índice de plasticidad es inferior o igual a 10, el término arcilloso a las fracciones con plasticidad superior o igual a 11.
- c) **Índice de grupo:** El índice de grupo incluyendo el grupo de clasificación, se usa para determinar la calidad relativa de suelos de terraplenes, material de la subrasante, sub-bases y bases.

El índice de grupo se determina a través de la evaluación en cada grupo, mediante el cálculo de la fórmula empírica:⁴¹

$$IG = (F_{200} - 35)(0.2 + 0.005(LL - 40)) + 0.01(F_{200} - 15)(IP - 10)$$

F_{200} =porcentaje que pasa la malla N°200, expresado como un número entero.

LL=Límite líquido.; IP=Índice de plasticidad.

Si el porcentaje que pasa por la malla N°200, menos 35, es mayor de 75, se anotará 75 y si es menor de 35, se anotará 0.

Si el porcentaje de material que pasa por la malla N°200, menos 15, es mayor de 55, se anotará 55, si es menor de 15, se anotará 0.

Valor del límite líquido, menos 40, si el LL es mayor de 60, se anotará 60 y si es menor de 40 se anotará 0.

Valor del índice de plasticidad, menos 10, si el IP es mayor a 30, se anotará 30 y si es menor de 10 se anotará 0.

Al calcular el índice de grupo para un suelo de los grupos A-2-6 o A-2-7, se debe usar la ecuación del índice de grupo parcial relativa al índice de plasticidad: ⁴²

$$IG = 0.01(F_{200} - 15)(IP - 10)$$

Cuando el suelo es NP o cuando el límite líquido no puede ser determinado, el índice de grupo se debe considerar 0. Si un suelo es altamente orgánico (turba) puede ser clasificada como A-8 solo con una inspección visual generalmente, es de color oscuro, fibroso y olor putrefacto.

Algunas reglas con respecto al uso de estas ecuaciones, son las siguientes:

- 1.- Si el valor obtenido es negativo, se debe asumir como $IG=0$.
- 2.- No hay un límite superior para el índice de grupo.

⁴¹ Fuente: Manual de laboratorios de suelos de ingeniería civil-Joseph E. Bowles

⁴² Fuente: Manual de laboratorios de suelos de ingeniería civil-Joseph E. Bowles

3.- El IG debe recordarse a valores enteros: por ejemplo, si el valor obtenido es $IG=3.3$ realmente es $IG=3$ o si es $IG=3.5$ realmente es $IG=4$.

4.- El índice de grupo de A-1, A-3, A-2-4 y A-2-5 siempre es $=0$.

5.- Para los grupos A-2-6 y A-2-7, el índice de grupo se calcula con la segunda parte de la ecuación, dependiendo sólo del IP.

6.- El valor del índice de grupo debe ser siempre en paréntesis después del símbolo del grupo, como: A-2-6(3), A-7-5(17), etc.

En general, la calidad en el comportamiento de un suelo cuando esta como sub-base es inversamente proporcional al índice de grupo.

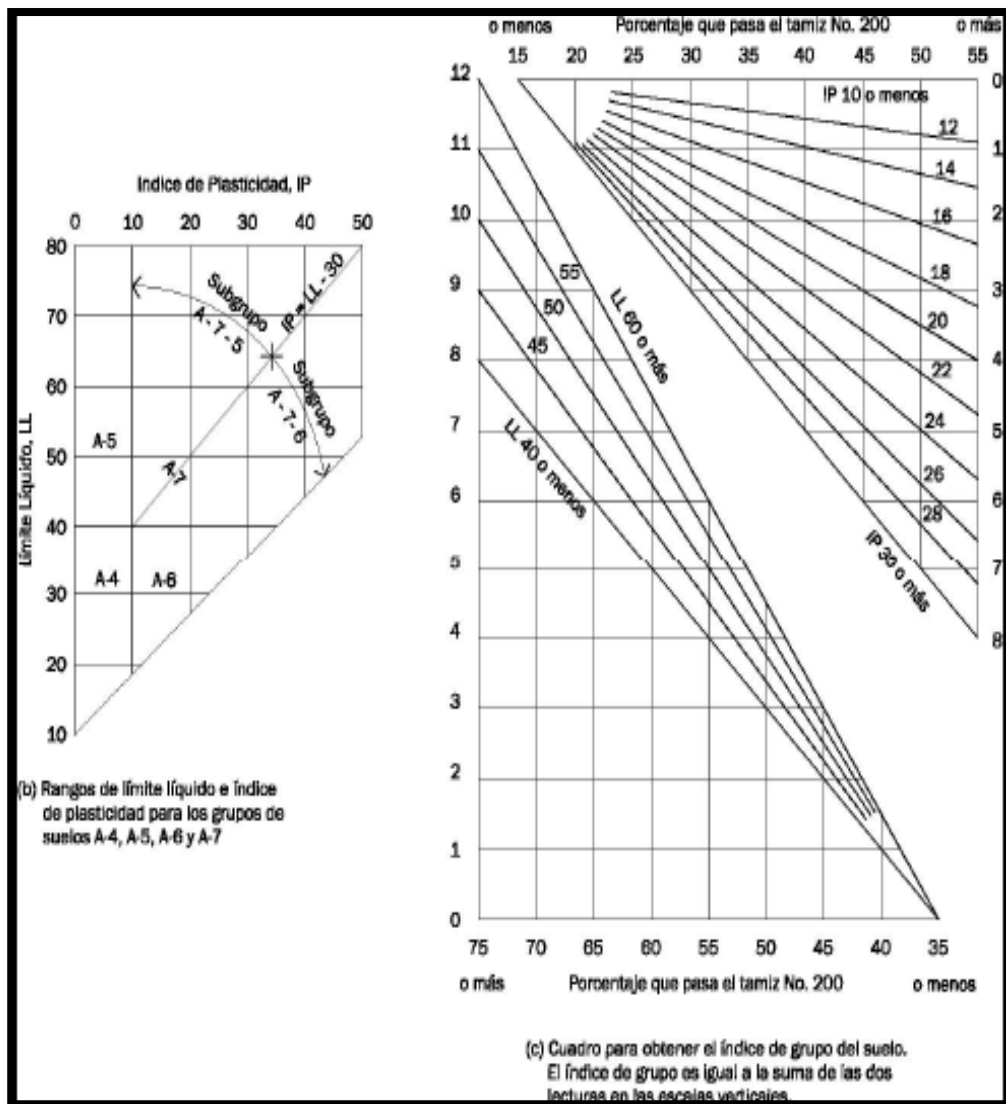


Figura 18-Carta de plasticidad AASHTO⁴³

⁴³ Fuente: AASHTO-93

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS AASHTO											
Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa por el tamiz N° 200)						Materiales limoso arcilloso (más del 35% pasa el tamiz N° 200)				
Grupo:	A-1		A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
Porcentaje que pasa: N° 10 (2mm) N° 40 (0,425mm) N° 200 (0,075mm)	50 máx 30 máx 15 máx	- 50 máx 25 máx	- 51 mín 10 máx	-			35 máx	-			
Características de la fracción que pasa por el tamiz N° 40 Límite líquido Índice de plasticidad	- 6 máx	- NP (1)	40 máx 10 máx	41 mín 10 máx	40 máx 11 mín	41 mín 11 mín	40 máx 10 máx	41 mín 10 máx	40 máx 11 mín	41 mín (2) 11 mín	
Índice de grupo	0		0	0		4 max		8 max	12 max	16 max	20 max
Constituyentes principales	Fracmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Grava y arena arcillosa o limosa			Suelos limosos		Suelos arcillosos		
Características como subgrado	Excelente a bueno						Pobre a malo				
(1):	No plástico										
(2):	El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor al LL menos 30 El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que LL menos 30										

Figura 19-Sistema de Clasificación AASHTO⁴⁴

⁴⁴ Fuente:AASHTO-93

2.6.2.-Sistema de Clasificación de suelos SUCS.-

La clasificación se basa en las propiedades de plasticidad y en la distribución del tamaño de grano, según esta última, el sistema divide el suelo en dos grandes categorías:

1.-Suelos de grano grueso (granulares): Son aquellos materiales en los cuáles el porcentaje retenido en la malla N°200 es superior al 50 % .

Dentro de ellos están las fracciones de arena y grava, son suelos donde la distribución del tamaño y la forma de los granos influye notablemente en las propiedades físico-mecánicas del suelo. El símbolo de cada grupo está formado por letras mayúsculas, que son las iniciales de los nombres ingleses de los suelos más típicos de ese grupo. El significado se especifica a continuación:

- G=Del término inglés Gravel, fracción de suelo más grueso o tamaño grava.
- S=Del término inglés Sand, fracción del suelo con tamaño de grano comprendido entre la malla N°4 y malla N°200.

Las gravas y arenas se separan por la malla N°4, de manera que un suelo pertenece al grupo genérico G, si más del 50% de su fracción gruesa (retenida en la malla N°200) no pasa por la malla N°40 y es del grupo genérico S, en caso contrario.

Las gravas y las arenas se sub-dividen en 4 tipos:

- a) materiales prácticamente limpios de finos, bien gradados.
 - W=Del término inglés Well, buena gradación del suelo, o sea que dentro de la masa de suelo hay predominio de un tamaño de grano. En combinación con los símbolos genéricos, se obtienen los grupos GW y SW.
- b) Materiales prácticamente limpios de finos, mal gradados.
 - P=del término inglés Poorty, mala gradación. Significa que dentro de la masa de suelo hay variedad en el tamaño de grano, aunque haya predominio de uno de ellos. Da lugar a los grupos GP y SP.
- c) Materiales con cantidad apreciable de finos no plásticos.
 - M=Del término sueco Mo, fracción fina del suelo que no posee propiedades de plasticidad, o de tener, es muy baja. Da lugar a los grupos GM y SM.

d) Materiales con cantidad apreciable de finos plásticos.

- C=Del término inglés Clay, fracción fina del suelo que posee propiedades de plasticidad. Da lugar a los grupos GC y SC.

2.-Suelos de grano fino: También en este caso el sistema considera a los suelos agrupados, formándose el símbolo de cada grupo por dos letras mayúsculas, elegidas con un criterio similar al usado para los suelos gruesos y dando lugar a las siguientes divisiones:

a) materiales orgánicos

- M=Del término sueco Mo, fracción fina del suelo que no posee propiedades de plasticidad o de tener, es muy baja.

b) Arcillas inorgánicas.

- C=Del término inglés Clay, fracción fina del suelo que posee propiedades de plasticidad.

c) Limos y arcillas orgánicas.

- O=Del término inglés Organic, define a los suelos que tiene propiedades orgánicas como turba, Suelos no aptos para ingeniería.

Cada uno de estos 3 tipos de suelo se sub-dividen, según su límite líquido, en dos grupos. Si este es menor del 50%, es decir, si son suelos de compresibilidad baja o media, se añade el símbolo genérico.

- L=Del término inglés Low, suelos con baja plasticidad, son aquellos dónde $LL < 50$. Obteniéndose de esta combinación los grupos ML, CL y OL.

Si los suelos son finos con límite líquido mayor del 50% o sea de alta compresibilidad, llevan tras el símbolo genérico:

- H=Del término inglés High, suelos con alta plasticidad, aquellos dónde $LL > 50$. Teniéndose así los grupos MH, CH y OH.

Ha de notarse que las letras L y H no se refieren a alta o baja plasticidad, pues esta propiedad del suelo ha de expresarse en función de 2 parámetros (LL e IP), mientras que en el caso actual solo el valor del límite líquido interviene. En la tabla XXV se presentan los factores a considerar en la clasificación de un suelo de acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de los suelos (SUCS).

- Gravas o arenas son: GW, GP, SW, SP, si menos del 5% del material que pasa a través del tamiz N°200, la designación bien graduada o grada depende de los valores característicos para Cu y Cc.
- Gravas y arenas son: GM, GC, SM, SC, si más del 12% del material que pasa a través del tamiz N°200; la designación limo o arcilla se determina después de obtener los valores de los límites líquido y plástico de la fracción menor al tamiz N°40 y utilizando los criterios de carta de plasticidad.
- Las gravas y las arenas se pueden clasificar así:

GW-GC	SW-SC	GP-GC	SP-SC
GW-GM	SW-SM	GP-GM	SP-SM

Si entre 5 y 12 % del material pasa a través del tamiz N°200.

- Los suelos de grano fino (más del 50% pasa por el tamiz N°200) son: ML, OL, o CL. Si los límites líquidos son menores que 50%.
- Los suelos de grano fino son: MH, OH o CH, si los límites líquidos son superiores a 50%. Los límite líquido y plástico se ejecutan sobre material correspondiente a la fracción menor del tamiz N°40 de todos los suelos, incluyendo gravas, arenas y suelos finos, utilizando en la ejecución los procedimientos del ensayo del límite y plástico.
- Estos límites se utilizan con la carta de plasticidad, para determinar el prefijo M, O o C, dependiendo de la localización de las coordenadas de plasticidad del suelo dentro de la carta.

Una descripción visual del suelo debe siempre incluirse conjuntamente con el símbolo unificado para completar la clasificación igualmente para el sistema de clasificación AASHTO, se presenta también una carta de plasticidad para el SUCS , este cuadro es otra contribución de Casagrande al sistema y la línea A que se encuentra en él, es conocida como línea A de Casagrande. De acuerdo con la sugerencia del cuerpo de ingenieros en el sentido de que no se han encontrado suelos con coordenadas superiores a las determinadas por la línea “límite superior” mostrada.

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS UNIFICADO "U.S.C.S."

DIVISIONES PRINCIPALES		Símbolos del grupo	NOMBRES TÍPICOS	IDENTIFICACIÓN DE LABORATORIO	
SUELOS DE GRANO GRUESO	GRAVAS	Gravas limpias	GW	Gravas, bien graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.	Determinar porcentaje de grava y arena en la curva granulométrica. Cu=D60/D10>4 Cc=(D30)2/D10xD60 entre 1 y 3
		(sin o con pocos finos)	GP	Gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.	Según el porcentaje de finos (fracción inferior al tamiz número 200). Los suelos de grano grueso se clasifican como sigue: No cumplen con las especificaciones de granulometría para GW.
		Gravas con finos	GM	Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo.	Límites de Atterberg debajo de la línea A o IP<4. Encima de línea A con IP entre 4 y 7 son casos límite que requieren doble símbolo.
	ARENAS	Arenas limpias	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.	<5%->GW,GP,SW,SP. Cu=D60/D10>6 Cc=(D30)2/D10xD60 entre 1 y 3
			(pocos o sin finos)	SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.
		Arenas con finos	SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.	Límites de Atterberg debajo de la línea A o IP<4. Los límites situados en la zona rayada con IP entre 4 y 7 son casos intermedios que precisan de símbolo doble.
			SC	Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla.	Límites de Atterberg sobre la línea A con IP>7.
			Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz número 4 (4,76 mm) (apreciable cantidad de finos)		
	SUELOS DE GRANO FINO	Limos y arcillas: Límite líquido menor de 50	ML	Limos inorgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limosas o arcillosa, o limos arcillosos con ligera plasticidad.	
			CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas.	
OL			Limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad.		
Limos y arcillas: Límite líquido mayor de 50		MH	Limos inorgánicos, suelos arenosos finos o limosos con mica o diatomeas, limos elásticos.		
		CH	Arcillas inorgánicas de plasticidad alta.		
		OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada; limos orgánicos.		
		Más de la mitad del material pasa por el tamiz número 200	PT	Turba y otros suelos de alto contenido orgánico.	
Suelos muy orgánicos					

Figura 20-Sistema de Clasificación SUCS ⁴⁵

⁴⁵ Fuente: ASTM

Para la clasificación de los suelos de grano fino y suelos de granos gruesos con parte de finos. Los límites de Atterberg que se grafican en el área sombreada son clasificaciones de frontera y requieren el símbolo de símbolos duales.

La designación limo o arcilla se determina después de obtener los valores de los límites líquido y plástico de la fracción menor al tamiz N°40 y utilizando los criterios de la carta de plasticidad:⁴⁶

IP=0.73 (LL-20)

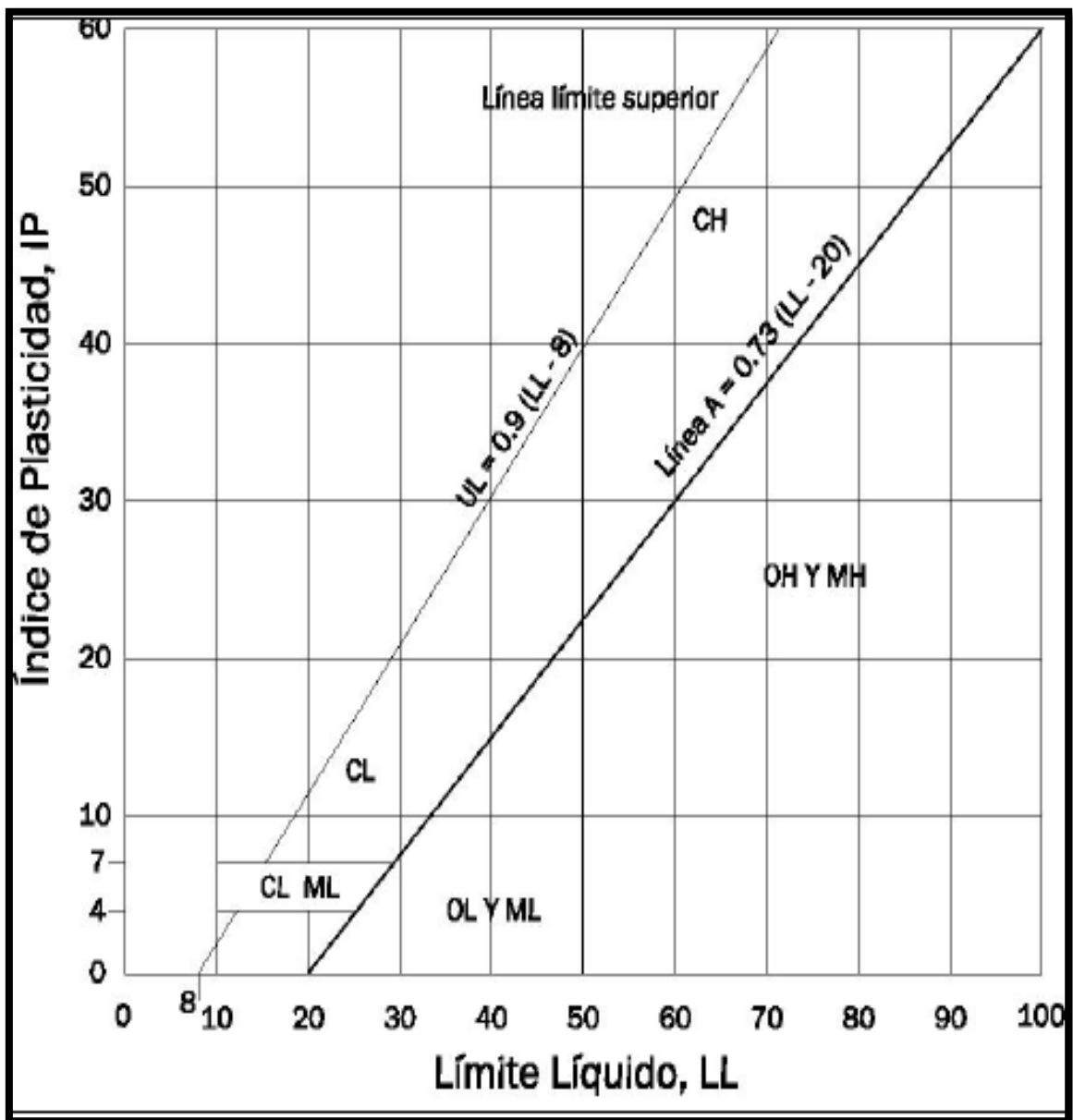


Figura 21-Carta de plasticidad SUCS⁴⁷

⁴⁶ Fuente: Manual de laboratorios de suelos de ingeniería civil-Joseph E. Bowles

⁴⁷ Fuente: ASTM

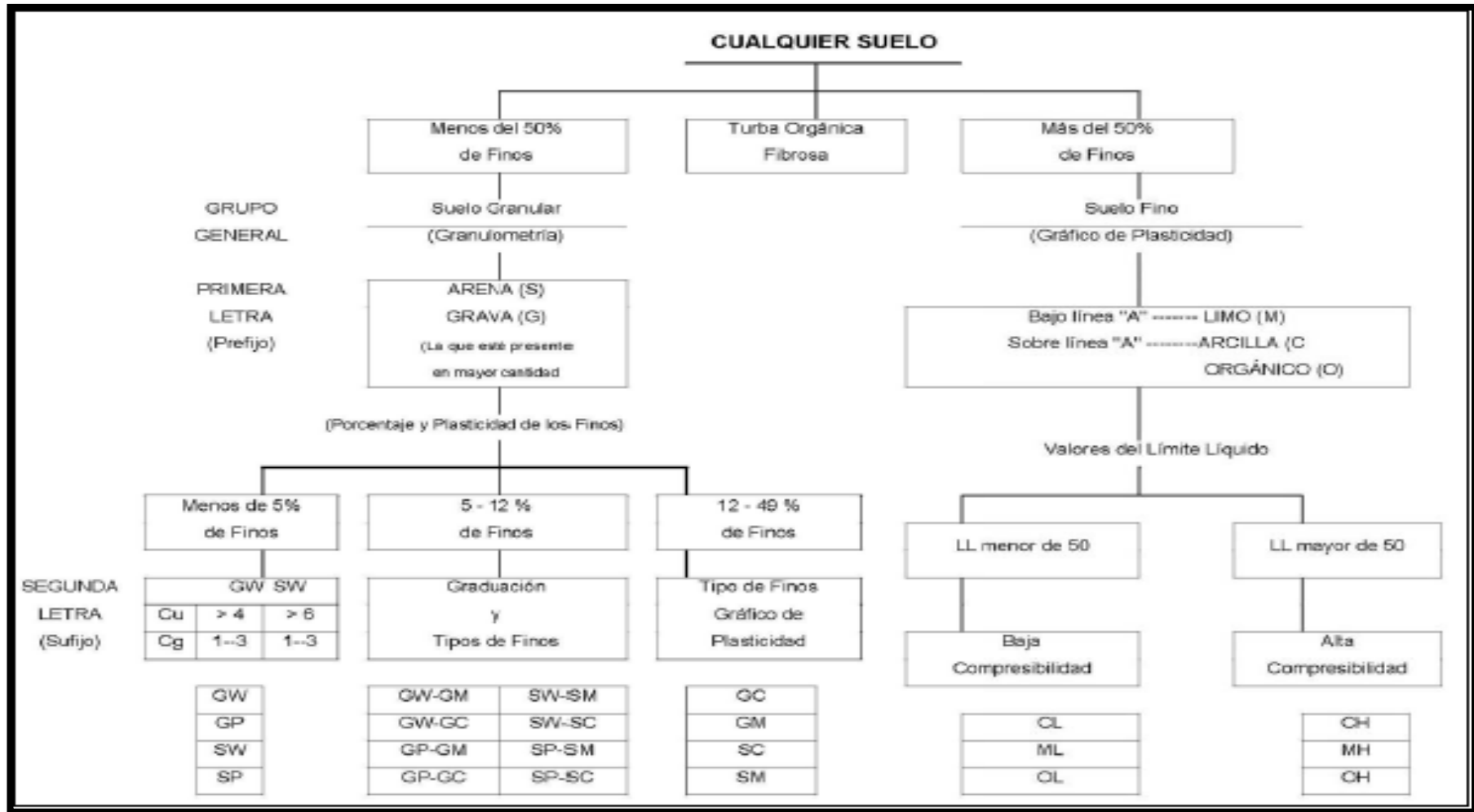


Figura 22-Modelo de Clasificación SUCS⁴⁸

⁴⁸ Fuente: ASTM

2.7. - CBR-Inalterado.-

ASTM D1883 - AASHTO T193

El CBR de un suelo es la carga unitaria correspondiente a 0.1” ó 0.2” de penetración, expresada en por ciento en su respectivo valor estándar. También se dice que mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controlada. El ensayo permite obtener un número de la relación de soporte, que no es constante para un suelo dado sino que se aplica solo al estado en el cual se encontraba el suelo durante el ensayo.

Se trata de un ensayo en que el suelo se somete a la penetración de un vástago cilíndrico a una velocidad constante. El suelo compactado se sumerge en agua y en el proceso de saturación se mide, además, el eventual hinchamiento del suelo a medida que se satura. El resultado, índice CBR, es la capacidad de soporte del suelo comparado con la de una grava patrón en porcentaje.

2.7.1.-Método para muestras inalteradas

Mediante este método, se determina el CBR de un suelo expansivo en estado natural. Se diferencia del anterior solo en la toma de muestras, ya que los pasos para determinar las propiedades expansivas y la resistencia a la penetración son similares.

Se tomaran muestras inalteradas, empleando para ello moldes CBR.

El procedimiento consiste en ir comprimiendo o hincando el molde sobre la superficie del terreno y al mismo tiempo retirando el suelo de alrededor del molde, hasta que la muestra de suelo entre el collarín superior por lo menos 25 mm, cuidando reducir al mínimo las perturbaciones de la muestra.

Finalmente, se retira el molde realizando un movimiento como cortando el suelo, se retira el collarín superior, se enrasan ambas caras de las muestras evitando los agrietamiento y espacios vacíos.

2.7.2.-Determinación de la expansión del material.-

- Sobre la superficie de la muestra se colocara papel filtro y se montara el plato con l vástago graduable. Lugo sobre el plato se colocara varias pesas de plomo. La carga mínima ser de 4.5 kg.
- Colocado el vástago y las pesas, se colocara el molde dentro de un tanque o depósito lleno con agua.
- Se monta el trípode con un extensómetro y se toma una lectura inicial y se tomarán lecturas cada 24 horas.
- Al cabo de las 96 horas se anota la lectura final para calcular el hinchamiento. Se calcula el % de hinchamiento que es la lectura final menos la lectura inicial dividido entre la altura inicial dividido entre la altura inicial de la muestra multiplicado por 100%.

Los adobes, suelos orgánicos y algunos suelos cohesivos tienen expansiones muy grandes, generalmente mayor del 10%.

$$\%E = (\text{expansión/altura de la muestra}) * 100\% \quad ^{49}$$

Expansión=lectura final-lectura inicial.

2.7.3.-Determinación del CBR.-

- Después de saturada la muestra, se saca del cilindro y cuidadosamente se drena durante 15 minutos el agua libre que queda. Como para drenar bien el agua es necesario voltear el cilindro sujétese bien el disco y las pesas metálicas al hacer esta operación. Luego remuévase el disco, las pesas y el papel filtro, pésese la muestra.
- El molde con la muestra y la sobre carga, se coloca debajo de la prensa y se asienta el pistón sobre la muestra, aplicando un carga de 4.5 kg.
- Una vez asentado el pistón, se coloca en cero el extensómetro que mide la penetración y el dial del extensómetro también se coloca en cero.

⁴⁹ Fuente: Manual de laboratorios de suelos –Ing.alberto Yurquina

- Se hincan el pistón en incrementos de 0.025” a la velocidad de 0.05”/minuto y se leen las cargas totales que ha sido necesario aplicar hasta hincar el pistón 0.50 pulgadas(“).
- Una vez hincado el pistón hasta 0.50 pulgada, se suelta la carga lentamente; se retira el molde de la prensa y se quitan las pesas y la base metálica perforada.
- Finalmente se determina el contenido de humedad de la muestra.

Pulg.	mm.
0	0
0,025	0,635
0,05	1,27
0,075	1,905
0,1	2,54
0,2	5,08
0,3	7,62
0,4	10,16
0,5	12,7

Figura 23-Profundidad de penetración para lectura de datos ⁵⁰

$$\text{CBR} = (\text{carga unitaria del ensayo} / \text{carga unitaria patrón}) * 100\% \quad ^{51}$$

CBR=En número CBR es un porcentaje de la carga unitaria patrón.

En la práctica, el símbolo de % se quita y la relación se presenta simplemente por el número entero.

Para determinar el CBR se toma como material de comparación la piedra triturada que sería el 100%, es decir CBR=100%.

⁵⁰ Fuente: Manual de laboratorios de suelos –Ing.alberto Yurquina

⁵¹ Fuente: Manual de laboratorios de suelos –Ing.alberto Yurquina

EXPANSION											
FECHA	HORA	TIEMPO EN DIAS	MOLDE N°1			MOLDE N°2			MOLDE N°3		
			LECT.		EXPANSION	LECT.		EXPANSION	LECT.		EXPANSION
			EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%
		1									
		2									
		3									
		4									
		5									

Tabla 8-Expansión⁵²

C.B.R.														
PENETRACION		CARGA NORMAL	MOLDE N° 1				MOLDE N° 2				MOLDE N° 3			
Pulg.	mm		Kg	CARGA ENSAYO		C.B.R. CORREG		CARGA ENSAYO		C.B.R. CORREG		CARGA ENSAYO		C.B.R. CORREG
			Kg	Kg/cm ²	Kg	%	Kg	Kg/cm ²	Kg	%	Kg	Kg/cm ²	Kg	%
0	0													
0,025	0,63													
0,05	1,27													
0,075	1,9													
0,1	2,54	1360												
0,2	5,08	2040												
0,3	7,62													
0,4	10,16													
0,5	12,7													

Tabla 9-CBR⁵³

⁵² Fuente: Manual de laboratorios de suelos –Ing. Alberto Yurquina

⁵³ Fuente: Manual de laboratorios de suelos –Ing. Alberto Yurquina

2.7.4.-Valores referenciales de CBR, usos y suelos.-

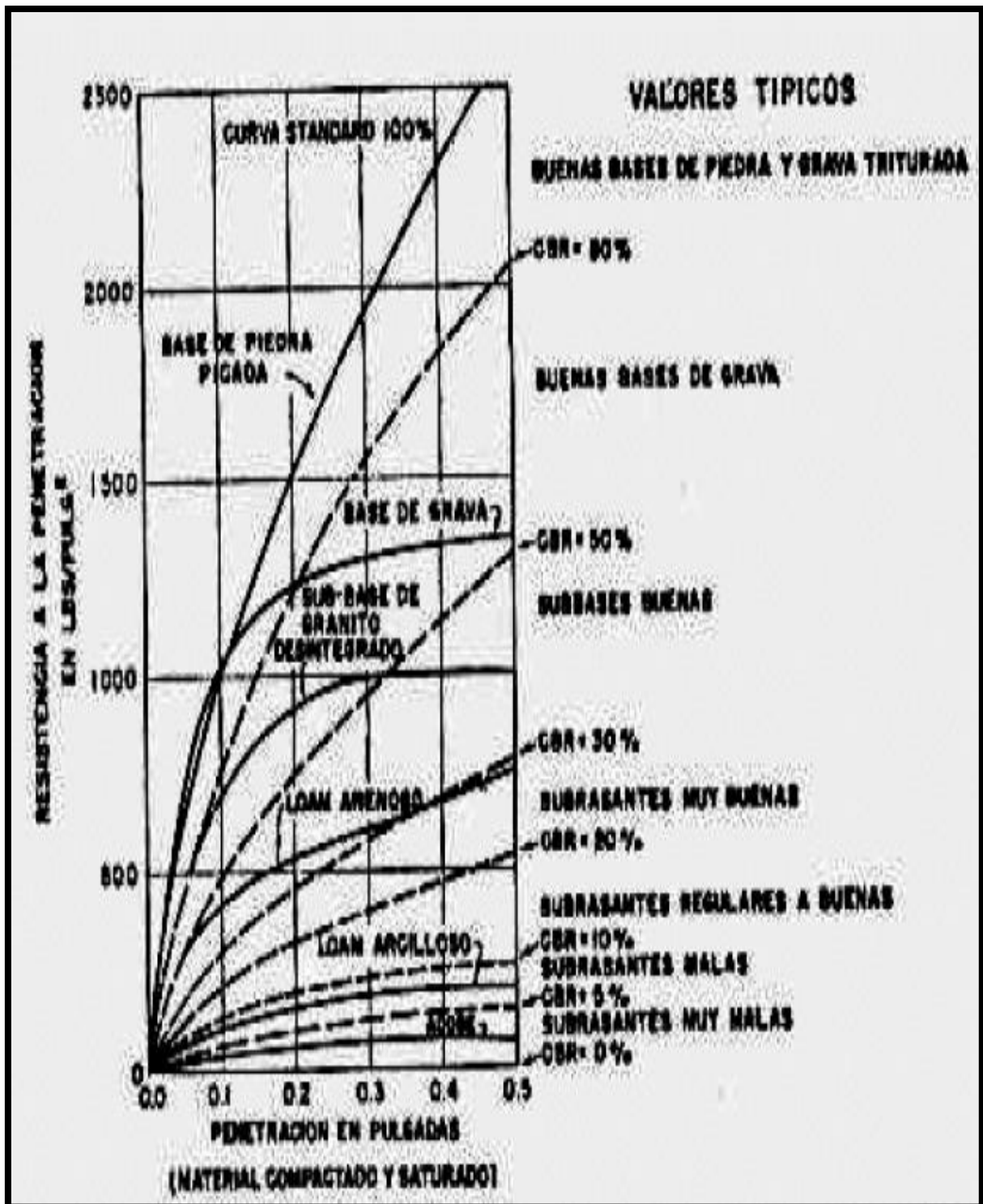


Figura 24-Valores típicos de CBR⁵⁴

⁵⁴ Fuente: AASHTO-93

			Sistema de clasificación	
No. CBR	Clasificación general	Usos	Unificado	AASHTO
0 – 3	Muy pobre	Sub rasante	OH,CH,MH,OL	A5, A6,A7
3 – 7	Muy pobre a regular	Sub rasante	OH,CH,MH,OL	A4,A5,A6,A7
7 – 20	Regular	Sub base	OL,CL,ML,SC,S M,SP	A2,A4,A6,A7
20 - 50	Bueno	Sub base y base	GM,GC,SW,SM, SP,GP	A-1b,A2-5, A-3, A2-6
> 50	Excelente	Base	GW, GM	A1a,A2-4,A-3

Figura 25-Valores referenciales de CBR en función de su Clasificación ⁵⁵

2.7.5.-Hinchamiento vs CBR.-

Suelo con hinchamiento 3% o más, generalmente tienen: $CBR < 9\%$.

Suelo con hinchamiento 2% como máximo tienen: $CBR \geq 15\%$.

Suelos con hinchamiento $< 1\%$ tienen generalmente: $CBR > 30\%$.

2.8.-Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC).-

ASTM D 6951-03

Penetrómetro dinámico de cono (PDC) con un martillo de 8 kg: Es un dispositivo utilizado que describe la rigidez, para determinar una resistencia CBR, a través de una correlación apropiada. Este ensayo se interpreta como evaluador de la resistencia in situ del material bajo las condiciones existentes en el terreno en el instante de la prueba.

Accesorio de deslizamiento: un dispositivo opcional que facilita la lectura de la distancia que la punta del penetrómetro dinámico de cono (PDC) penetra dentro del suelo.

⁵⁵ Fuente: Manual de laboratorios de suelos de ingeniería civil-Joseph E. Bowles

2.8.1.-Uso y significado.-

- Este método de ensayo se usa para evaluar la resistencia in-situ de los suelos inalterados y/o materiales compactados.
- Existen otros métodos de ensayo para penetrómetros con diferentes masas de martillos y tipos de puntas cónicas, los cuales tienen correlaciones que son aplicables únicamente a esos instrumentos específicos.
- El PDC de 8 kg debe ser sostenido verticalmente durante su empleo y, por lo tanto, es utilizado fundamentalmente en aplicaciones de construcciones horizontales, tales como pavimentos y losas de piso.
- El instrumento es típicamente utilizado para evaluar propiedades de los materiales a una profundidad hasta de 1000 milímetros bajo la superficie.
- El PDC de 8 kg puede ser utilizado para estimar las características de resistencia de los suelos de grano fino y grueso, materiales de construcción y materiales débiles modificados o estabilizados. El dispositivo no se puede emplear en materiales altamente estabilizados o cementados o en materiales granulares que contengan un gran porcentaje de agregados pétreos.
- El PDC puede ser utilizado para estimar la resistencia in-situ de materiales que se encuentren por debajo de una capa altamente estabilizada, previo el barrenado de la misma para permitir un orificio de acceso.

La barrena es un instrumento de acero con una punta en espiral en un lado y una manija en el otro y sirve para taladrar o hacer agujeros en un cuerpo, en nuestro caso en el suelo.

2.8.2.-Características del equipo PDC.-

El equipo de 8 kg está constituido por los siguientes elementos:

- Una varilla de acero de 16 milímetros (5/8 pulgadas) de diámetro, con una punta cónica reutilizable o desechable.
- Un martillo de 8 kilogramos (17.6 libras) el cual es asociado desde una altura fija de 575 milímetros (22.6 pulgadas).

- Un yunque de ensamble y una manija. La punta del cono tiene un ángulo de 60° y el diámetro en la base del cono es de 20 milímetros (0.79 pulgadas).

El aparato debe de ser de acero inoxidable con excepción del cono, el cual puede ser de acero endurecido u otro material similar, resistente al desgaste.

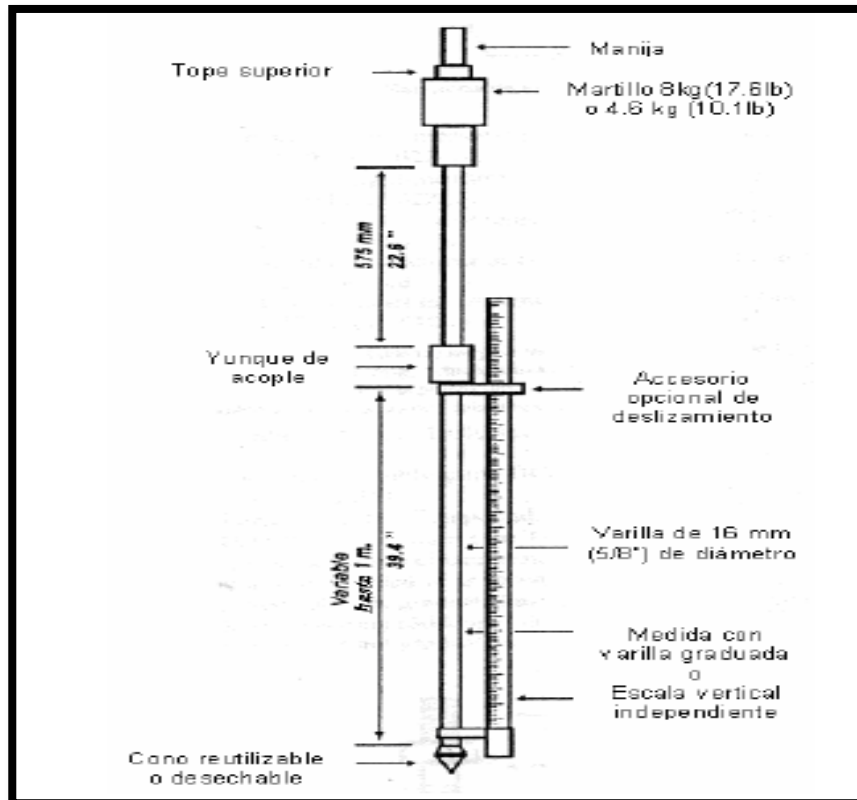


Figura 26- Características del PDC ⁵⁶

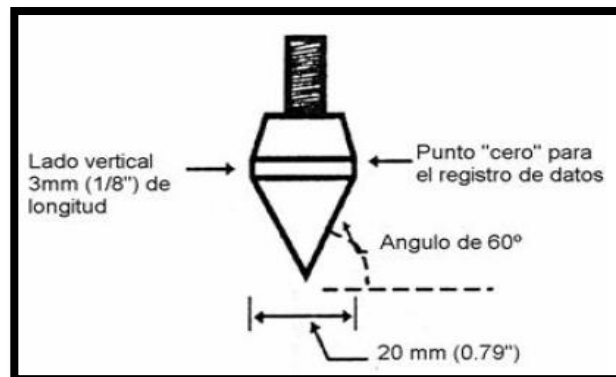


Figura 27- Características del cono (PDC) ⁵⁷

⁵⁶ Fuente: ASTM

⁵⁷ Fuente: ASTM

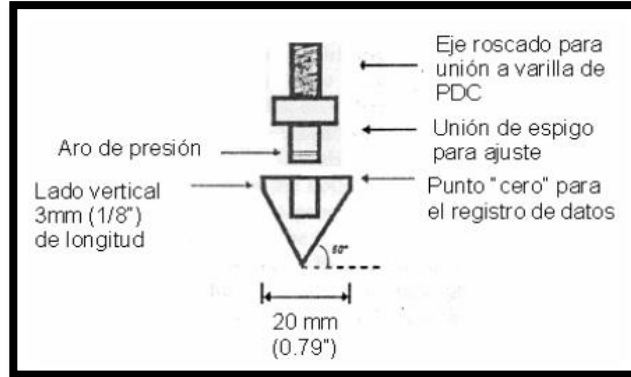


Figura 28-Partes del cono (PDC) ⁵⁸

2.8.3.-Tolerancias a cumplirse.-

Tolerancia en el peso del martillo de 8 kilogramos es 0.010 kilogramos.

Milímetros es de tolerancia en la altura de caída de milímetro.

Tolerancia en el ángulo de la punta del cono de 60° es 1°.

Tolerancia en la base medida del cono de 20 milímetros es 0.25 milímetros.

Nº DE GOLPES	PROFUNDIDAD

Tabla 10-PDC ⁵⁹

2.8.4.-Verificación del equipo y operación básica.-

Antes de comenzar un ensayo, el dispositivo PDC debe ser inspeccionado en las partes que pueden sufrir daños por fatiga como en la manija y se debe verificar que no exista un excesivo desgaste de la varilla ni del cono reutilizable.

⁵⁸ Fuente: ASTM

⁵⁹ Fuente: Elaboración propia

Se debe hincar la punta hasta que el cono quede en punto cero, que es el punto de inicio de lectura de penetración, el operador sostiene el dispositivo a través de la manija en una posición vertical, levanta y libera el martillo, de manera que caiga a la altura especificada.

El encargado de registrar la información, mide y registra la penetración total para un determinado N° de golpes o de la penetración por cada golpe.

2.9.-Densidad in Situ-Método del cono de arena.-

ASTM D1556 - AASHTO T191

En la determinación de la Densidad IN SITU se puede utilizar el método del cono de arena, que consiste en determinar el peso del suelo húmedo de una pequeña excavación de forma irregular (hueco) hecho sobre la superficie del suelo.

Se determina el volumen de dicho hueco y la densidad húmeda del suelo en el sitio (densidad in situ) o peso volumétrico húmedo del campo. Se calcula simplemente como:⁶⁰

$$\gamma \text{ húmeda} = \frac{\text{peso del suelo húmedo}}{\text{volumen del hueco}}$$

El método del cono de arena representa una forma indirecta de obtener el volumen del agujero.

La arena utilizada es generalmente material que pasa el tamiz N°20 y esta se encuentra retenida por el tamiz N°30.

Aunque el material menor que el tamiz N°30 y mayor que el tamiz N°40 o el material menor que el tamiz N°30 y mayor que el N°50 puede también utilizarse, generalmente es deseable tener una arena uniforme o de un solo tamaño para evitar problemas de segregación (un volumen de arena fina puede pesar más que un volumen de arena gruesa, pero un volumen de la mezcla puede pesar aún mas) de forma que en las mismas condiciones de vaciado pueden lograrse la misma estructura del suelo y duplicación requerida.

⁶⁰ Fuente: Manual de laboratorios de suelos de ingeniería civil-Joseph E. Bowles

2.9.1.-Calibración del frasco.-

- Enroscar el cono al frasco, para luego obtener el peso del equipo y registrar su peso, sellar con plastilina, luego agregar agua hasta el nivel de la llave de paso del cono, inmediatamente peso y obtener el peso del equipo más agua, registrar ese valor.
- Si al último peso registrado le resta el peso del equipo se obtiene el peso del agua.
- Es conveniente tomar una temperatura del agua, para su respectiva corrección en la estimación de la densidad del agua.
- Con los datos anteriores se puede calcular el volumen del equipo hasta la llave de paso.

2.9.2.-Calibración de la arena.-

- Secar el equipo y llenar con arena desde una altura de 2” por arriba del cono de forma constante.
- Hay que tomar intervalos de tiempo, durante el llenado de arena, y hacer girar sobre su propio eje el equipo, de tal manera que el acomodamiento de la arena sea uniforme en toda la sección del frasco.
- Cuando ya se encuentre la arena al nivel de la llave de paso del cono, cerrar este y proceder a pesar, para luego restar el peso del equipo y obtener el peso de la arena pura.
- Seguidamente calcular la densidad de la arena dividiendo el peso de la arena entre el volumen del frasco.
- Luego sobre una superficie plana, volcar el equipo y proceder a abrir la llave de paso del cono, esperar que este se llene y cerrar la llave, luego proceder a pesar el equipo con el saldo de arena disponible.
- La diferencia entre el peso del equipo lleno de agua y después de llenar el cono, nos proporciona el peso de arena disponible en el cono.

2.9.3.-Metodología en el campo.-

- Se limpia el sitio escogido, se instala la placa, si es posible ajustarla con clavos
- Se procede a excavar un hoyo de profundidad de 15 a 20 centímetros.

- El material que se extrae se lo guarda en un recipiente dónde no pueda perder humedad, este servirá para obtener el peso húmedo retirado del hoyo.
- Luego se ajusta la llave de paso, se vuelca el equipo y se instala sobre la placa, seguidamente abrir la llave y dejar caer la arena hasta que el hueco y cono se llenen
- Se procede a cerrar el cono para después pesar el equipo con el saldo de arena que queda después del ensayo.
- La arena que queda en el hoyo, se tiene que recuperar en otro recipiente para realizar un lavado de la misma.

CALIBRACION DEL APARATO	
A) Peso del aparato más agua	
B) Peso aparato	
C) Peso del agua $C=A-B$	
D) Densidad agua a Temp. Ensayo	
E) Volumen del frasco $E= C/D$	
F) Peso aparato más arena	
G) Peso de arena $G= F - B$	
H) Densidad de arena $H = G / E$	
I) Peso del aparato más arena (después de llenar el embudo)	
J) Peso de arena seca en el embudo $J = F - I$	
DETERMINACION DEL PESO SECO Y HUMEDAD	
1) Peso de tara más suelo húmedo	
2) Peso de tara más suelo seco	
3) Peso del agua $w = 1 - 2$	
4) Peso de tara	
5) Peso del suelo seco $2 - 4$	
K) Porcentaje de humedad $K = (3 / 5) * 100$	
M) Peso de suelo húmedo retirado del hoyo + tara	
N) Peso de tara	
O) Peso de suelo húmedo retirado del hoyo $O = M - N$	
P) Peso de suelo seco retirado del hoyo $P = (O / (100 + K)) * 100$	
DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DEL HOYO	
Q) Peso de arena calibrada más aparato	
R) Peso de arena que queda después del ensayo	
S) Peso de arena necesaria para llenar el hoyo y el embudo $S = Q - R$	
T) Peso de la arena seca en el embudo $T = J$	
U) Peso de arena para llenar el hoyo $U = S - T$	
V) Volumen del hoyo $V = U/H$	
W) Densidad del suelo $W = P / V$	

Tabla 11-Denidad in Situ ⁶¹

⁶¹ Fuente: Manual de laboratorios de suelos –Ing. Alberto Yurquina

CAPÍTULO III-INVESTIGACIÓN PDC-CBR INALTERADO

3.1.-Principios de la investigación.-

- Artículo de: Daniel Álvarez C.-German Fuertes C.

“MODELOS DE CORRELACIÓN ENTRE EL PDC Y EL CBR INALTERADO PARA SUELOS COHESIVOS”.

Este artículo presenta la obtención de modelos de correlación entre el CBR inalterado, el índice de penetración (DN) del penetrómetro dinámico de cono (modelo sudafricano) y la humedad para suelos cohesivos (CL Y CH), los cuales pretenden mejorar la confiabilidad en la utilización del DCP en la evaluación estructural de un suelo que conforme la capa de un pavimento.

El objetivo principal de esta investigación, es explotar algunas de las aplicaciones de un equipo tan sencillo, práctico y económico como el DCP, entre las aplicaciones se tienen la correlación con parámetros de resistencia como el CBR, el módulo de resiliencia, el control de la calidad de compactación, el seguimiento de la sensibilidad de un suelo ante la humedad, la evaluación de estructuras de pavimento, entre otras.

- Investigación de: ANÓNIMO.

El cono dinámico es un dispositivo para medir in situ la resistencia de los materiales de los pavimentos y de la sub-rasante. Este ensayo se ejecuta hincando el cono dentro del pavimento o sub-rasante levantando y dejando caer un martillo. Se registra la penetración para cada caída y se la denomina tasa de penetración (penetration rate, PR), en mm/golpe. El CBR está relacionado con PR por:

$$\text{CBR} = 405,3 / \text{PR}^{1,259} \text{ para conos a } 60^\circ$$

$$\text{CBR} = 2,20 - 0,71 * \log (\text{DCP})^{1,5} \text{ para conos a } 30^\circ$$

Siendo PR la *Tasa de penetración* en mm/golpe y DCP la *Tasa de penetración* en pulg/golpe.

- INVESTIGACIÓN: ASTM D 6951-03

“MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA EL USO DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO EN ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS”.

Este método de ensayo cubre la medida de la tasa de penetración del penetrómetro dinámico de cono (PDC) con un martillo de 8 kilogramos, a través de un suelo inalterado o de materiales compactados. La tasa de penetración puede ser relacionada con valores de resistencia in-situ, tales como el CBR .

El CBR estimado in-situ se calcula con el índice PDC. La penetración por golpe puede ser dibujada, relacionándola con la profundidad. La correlación entre la penetración por golpe y el CBR ha sido derivada de una ecuación recomendada por el cuerpo de ingenieros de los Estados Unidos:¹

$$CBR = \frac{292}{(PDC)^{1.12}}$$

Esta ecuación puede ser usada para todos los suelos, menos para los que clasifiquen como CL y tengan un CBR inferior a 10 y los suelos CH, para los cuales el cuerpo de ingenieros del ejército de los Estados Unidos, recomienda las siguientes expresiones:

CL con CBR<10: ² $CBR = \frac{1}{(0.017019 * PDC)^2}$

CH: ³ $CBR = \frac{1}{(0.002871 * PDC)}$

¹ Fuente: ASTM

² Fuente: ASTM

³ Fuente: ASTM

3.2.-Hipótesis.-

En éste proyecto se propone un análisis de relación, con el que realizaremos ajustes a diferentes modelos matemáticos con el fin de encontrar una ecuación que está basada en ensayos locales y se aplica los resultados a diseños viales en la provincia Cercado, para suelos arcillosos, con la cual se hallará un valor aproximado de CBR en función al número de golpes del PDC, este análisis de relación, se realizará con los datos encontrados de las siguientes prácticas de laboratorio de suelos: PDC in situ(número de golpes para hincar el equipo 30 cm) y CBR inalterado, los valores hallados se deberán encontrar dentro del sistema AASHTO y UNIFICADO.

3.3.- Identificación de las zonas de muestreo.-

Para realizar el muestreo en una zona se deberán seguir los siguientes pasos:

- Inspección visual de la zona.
Se tuvo que visitar los lugares de la zona muestreo con una semana de anticipación, para conocer las condiciones de los materiales en su estado natural.
- Identificación de las zonas de muestreos.
 - TORRECILLAS.



Figura29-Foto Torrecillas⁴

⁴ Fuente: Google

➤ EL PORTILLO.



Figura30-Foto Portillo⁵

➤ SAN BLAS.



Figura31-Foto San Blas⁶

⁵ Fuente: Google

⁶ Fuente: Google

➤ NUEVA ESPERANZA.

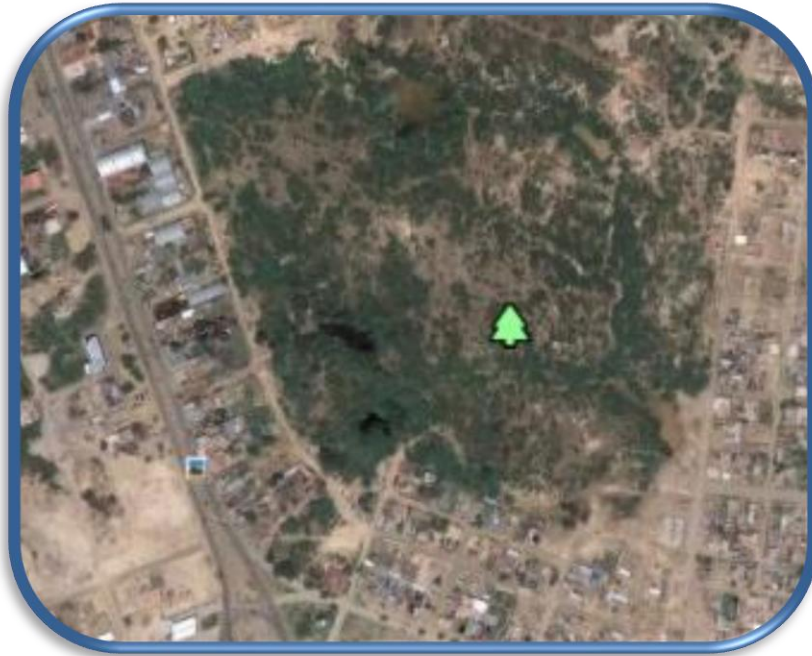


Figura32-Foto Nueva Esperanza ⁷

➤ PARAÍSO.



Figura33-Foto Paraíso ⁸

⁷ Fuente: Google

⁸ Fuente: Google

➤ ERQUIS.



Figura34-Foto Erquis⁹

- Diferenciar los sitios de muestreo.

Son de dos formas:

➤ Sistemáticos.

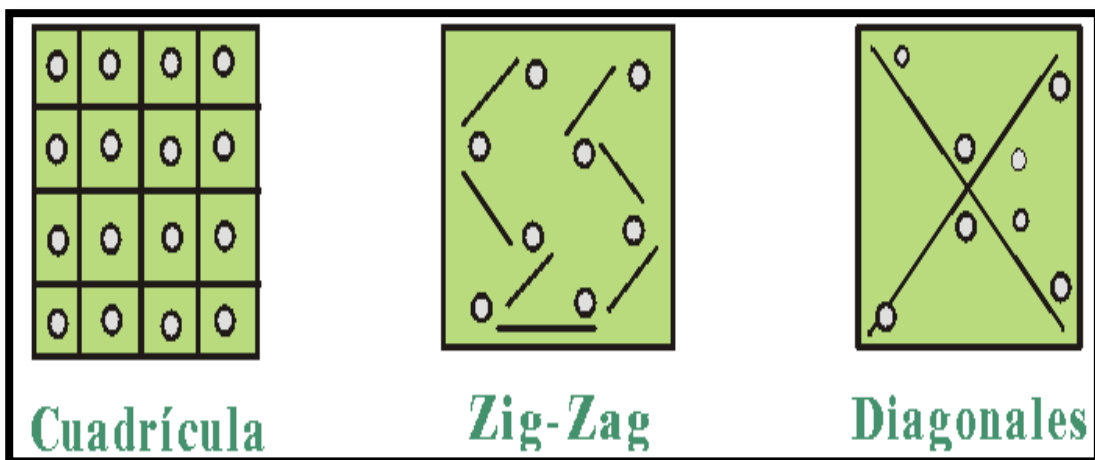


Figura35-Forma de muestreo sistemática¹⁰

⁹ Fuente: Google

¹⁰ Fuente: Muestreo de suelos-Ing. Alberto D. Sosa

- Asistemáticos.

Cuando no se tiene un diseño en especial.

En el siguiente proyecto se utilizó la diferenciación de sitios de muestreo asistemática, porque en estas zonas hubo lugares de difícil acceso para poder utilizar uno de los métodos de forma sistemática.

- Número de muestras.

Para el fin de este proyecto se optó por tomar 30 muestras, para poder realizar el análisis de relación.

3.4.- Tipos de muestras.-

Lo primero que hay que considerar es que la muestra sea representativa del terreno.

Para realizar este proyecto se utilizaron los dos tipos de muestras.

- Muestras alteradas.

Se dice que una muestra es alterada cuando no guarda las mismas condiciones que cuando se encontraba en el terreno de donde procede.

- Para este tipo de muestras se utilizó el siguiente equipo:

- Pala.
- Picota.
- Bolsas nylon.

- Para la extracción de muestras se deberá quitar la cobertura vegetal en caso de existir o sino limpiar toda la parte externa que se encuentre contaminada.

- Profundidad de muestreo.

Hay que tener en cuenta que nunca muestrear luego de una lluvia, debido a que las condiciones del terreno cambiarían debido a su porcentaje de humedad, siempre esperar entre dos y tres días.

En cuanto a la profundidad se deberá considerar lo siguiente:

TIPO DE ENSAYO	PROFUNDIDAD
Contenido de humedad	10 - 15 (cm)
Limites	30- 50 (cm)
Granulometría	> 30 (cm)

Figura36-Profundidad de los muestreos¹¹

- Las muestras deberán ser etiquetadas identificando el lugar, fecha y número de muestra.
- Las muestras deberán ser guardadas en bolsas preferentemente de nylon.
- Muestras inalteradas.

Se dice que una muestra es inalterada cuando guarda las mismas condiciones que cuando se encontraba en el terreno de donde procede.

- En el siguiente proyecto se hizo el molde de CBR en el terreno.
- El traslado al laboratorio fue de manera inmediata para que las condiciones de humedad no afecten a nuestra muestra.
- En el caso de almacenamiento por un día, se tiene que cubrir esta muestra con parafina o cera para que no cambien las condiciones de humedad, o se deberá guardar la muestra en un cuarto húmedo, esto solo se recomienda para un solo día.
- Estas muestras deberán ser debidamente identificadas.

¹¹ Fuente: Muestreo de suelos-Ing. Alberto D. Sosa

3.5.-Materiales a utilizar en la investigación.-

En la siguiente investigación se utilizarán materiales arcillosos: A-6. A-7-5, A-7-6.





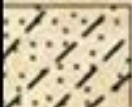




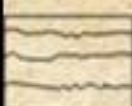
	GRAVAS	GP o GW
	GRAVA LIMOSA	GM
	GRAVA ARCILLOSA	GC
	ARENAS	SP o SW
	ARENA LIMOSA	SM
	ARENA ARCILLOSA	SC
<hr/>		
	LIMOS	ML o MH
<hr/>		
	ARCILLA	CL o CH
<hr/>		
	ARCILLA LIMOSA	—
<hr/>		
	TURBA	PT

Figura37-Tipos de suelos ¹²

¹² Fuente: [HTTP://WWW.UCN.CL/FACULTADESINSTITUTOS/LABORATORIO/PAG 1.HTM](http://www.ucn.cl/facultades/institutos/laboratorio/pag1.htm)

3.5.1.-Ensayos de caracterización.-

3.5.1.1.- Porcentaje de Humedad.-

Para obtener el porcentaje de humedad de las muestras se realizará el método del horno.

3.5.1.1.1.-Procedimiento.-

- En el momento del muestreo en campo se debe guardar muestra en una bolsa de nylon para que no pierda humedad (50-100 gramos).



Figura38-Muestra de suelo para Porcentaje de Humedad ¹³

- Una vez en el laboratorio se deberá colocar la muestra en una cápsula de peso conocido.



Figura39-Cápsulas ¹⁴

¹³ Fuente: Propia

¹⁴ Fuente: Propia

- Pesar el suelo húmedo + cápsula en una balanza eléctrica de 0.01 gramos de precisión.



Figura40-BALANZA DE 0.01 DE precisión ¹⁵

- Colocar cápsula en el horno durante 24 horas.



Figura41-HORNO + Cápsulas ¹⁶

- Pesar el suelo seco + cápsula.
- Realizar el trabajo de escritorio.

¹⁵ Fuente: Propia

¹⁶ Fuente: Propia

3.5.1.1.2.-Resultados.-

ZONA	Nº POZO	%w
TORRECILLAS	1	1,68
	2	3,35
	3	3,67
	4	2,45
	5	6,25
	6	2,38
PORTILLO	1	2,82
	2	3,04
	3	6,93
	4	3,81
	5	2,65
	6	1,32
SAN BLAS	1	2,44
	2	3,89
	3	6,72
	4	1,65
	5	2,71
	6	5,48
PARAISO	1	2,14
	2	3,22
	3	3,41
NUEVA ESPERANZA	1	3,98
	2	1,92
	3	3,02
	4	4,09
	5	5,39
	6	2,97
ERQUIS	1	2,18
	2	7,08
	3	1,15

Tabla12- Porcentajes de Humedad de las muestras ¹⁷

¹⁷ Fuente: Propia

3.5.1.2.- Granulometría.-

Para el suelo arcilloso se realizará el método del lavado.

3.5.1.2.1.-Procedimiento.-

- Si el suelo muestreado esta en terrones se lo deberá moler.
- Agarrar 800 gramos y colocarlos en el horno durante 24 horas.



Figura42-Horno eléctrico ¹⁸

- Sacar la muestra del horno y pesar 500 gramos para realizar el ensayo.



Figura43-Muestra en el horno para Granulometría ¹⁹

¹⁸ Fuente: Propia

¹⁹ Fuente: Propia

- Colocar la muestra en el tamiz N°200 y comenzar a lavar el material con agua.



Figura44-Lavado del material ²⁰

- Para saber si el material está bien lavado el agua que sale por abajo debe ser cristalina.
- Una vez lavado el material se lo coloca en un plato y se lo deja en el horno por 24 horas.



Figura45-Muestra lavada en el horno ²¹

²⁰ Fuente: Propia

²¹ Fuente: Propia

- Ordenar los tamices N°40, N°100 y N°200 y comenzar a tamizar la muestra secada en el horno.



Figura46-Tamices para material fino ²²

- Una vez tamizado el material pesar los retenidos en cada tamiz en una balanza eléctrica de 0.1 gramos de precisión.
- Realizar el trabajo de escritorio.

²² Fuente: Propia

3.5.1.2.2.-Resultados.-

		% Q PASA		
ZONA	Nº POZO	Nº40	Nº100	Nº200
TORRECILLAS	1	99,50	97,14	86,24
	2	99,58	98,80	92,06
	3	99,50	98,44	95,56
	4	99,94	98,78	94,76
	5	99,84	99,56	98,14
	6	98,84	98,16	97,32
PORTILLO	1	98,28	93,74	86,98
	2	99,74	97,34	92,34
	3	99,72	96,30	88,30
	4	99,50	97,14	86,24
	5	99,26	88,14	76,60
	6	99,02	81,24	62,01
SAN BLAS	1	99,98	99,98	99,92
	2	99,98	99,52	95,26
	3	99,78	99,38	98,00
	4	100,00	99,88	97,74
	5	99,98	99,06	89,02
	6	99,98	99,80	99,48
PARAISO	1	96,72	85,46	73,88
	2	96,28	84,00	71,02
	3	96,60	88,10	78,12
NUEVA ESPERANZA	1	99,96	99,86	99,74
	2	99,96	99,90	99,82
	3	99,74	96,28	88,56
	4	99,90	95,98	91,78
	5	99,96	99,90	99,84
	6	99,92	99,82	99,64
ERQUIS	1	99,90	99,52	98,78
	2	99,86	99,54	98,86
	3	99,68	99,00	97,98

Tabla13-Granulometría de las muestras²³

²³ Fuente: Propia

3.5.1.3.- Límites de Atterberg.-

3.5.1.3.1.-Procedimiento.-

- Para el límite líquido se debe agarrar la muestra y si está en terrones se la debe moler.
- Luego agarrar el tamiz N°40 y comenzar a tamizar unos 500 gramos.



Figura47-Tamizado del material ²⁴

- Se repetirá 5 veces este procedimiento haciendo incrementando el agua en cada repetición, se aconseja usar gotero.
- En un pocillo colocar alrededor de 100 gramos, verter agua y comenzar a mezclar con una espátula, hasta que quede una mezcla homogénea.



Figura48-Platos y espátula ²⁵

²⁴ Fuente: Propia

²⁵ Fuente: Propia

- Ubicar el aparato Casagrande en una superficie plana, segura y limpia.



Figura49-Equipo Casagrande ²⁶

- Calibrar la caída de la copa, haciendo que la misma tenga 1 centímetro de caída, la medición se puede realizar con el mismo ranurador del equipo que se encuentra acondicionado para tal efecto.
- Pesar 5 cápsulas vacías y limpias, anotado los pesos de cada cápsula con su respectiva identificación en la planilla de límite líquido.
- Poner la muestra suavemente y tratando siempre que sea de manera horizontal, sobre la copa de Casagrande (esta debe estar siempre en su nivel inferior de reposo), eliminando el aire entrampado y limpiando aquella muestra que se encuentre pegada en los alrededores de la copa.



Figura50- Muestra en la copa del equipo Casagrande ²⁷

²⁶ Fuente: Propia

²⁷ Fuente: Propia

- Una vez que la muestra se encuentre horizontal y la copa limpia de otras impurezas, sujetar con una mano la copa de Casagrande y con la otra realizar la ranura de manera firme en una sola pasada, tratando de que en el fondo de la ranura se encuentre visible el color de la copa a lo largo de toda la muestra, caso contrario repetir todo el procedimiento.
- Una vez realizada la ranura, accionar la copa de Casagrande, al ritmo de 2 golpes por segundo, no perdiendo la cuenta del número de golpes accionado hasta que en la ranura se produzca la unión de aproximadamente 1 centímetro, anotando el número de golpes en la planilla.



Figura51-Equipo Casagrande + Muestra ranurada²⁸

- Con la espátula y en forma perpendicular a la ranura realizar 2 cortes a la muestra, estos deben pasar por los extremos de la parte que se unió. Luego extraer la porción de suelo entre los cortes y proceder a depositar en una de las cápsulas que ya se encuentran pesadas e identificadas.



Figura52-Porción de la mezcla que se unió 1 Centímetro²⁹

²⁸ Fuente: Propia

²⁹ Fuente: Propia

- Pesar el suelo húmedo + cápsula, registrar el dato en la planilla correspondiente al número de golpes.



Figura53-Mezcla en cápsula para poner al horno³⁰

- Introducir la cápsula+ suelo húmedo en el horno por 24 horas, luego pesar la cápsula + suelo seco, registrando los datos en la planilla.



Figura54-Cápsula en el horno³¹

- Con estos valores se calculan los diferentes tipos de humedad a sus respectivos números de golpes y realizar el trabajo de escritorio.
- Para el límite plástico se debe utilizar 300 gramos del material tamizado por el tamiz N°40.

³⁰ Fuente: Propia

³¹ Fuente: Propia

- Se debe mezclar la muestra en un pocillo hasta que la muestra quede homogénea, y pastosa.



Figura55-Posillo + Espátula³²

- Agarrar un poco de la mezcla con la mano para amasarla, para hacer una pelota con la muestra.

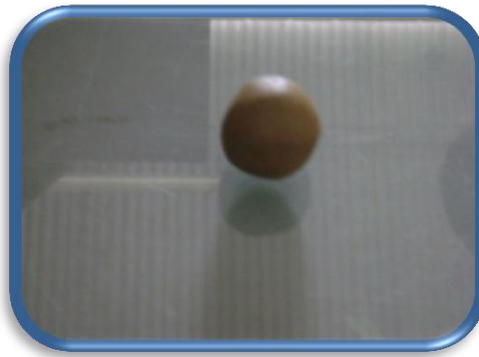


Figura56-Material amasado con la mano³³

- Luego en una base de vidrio se comienza a hacer rollitos.

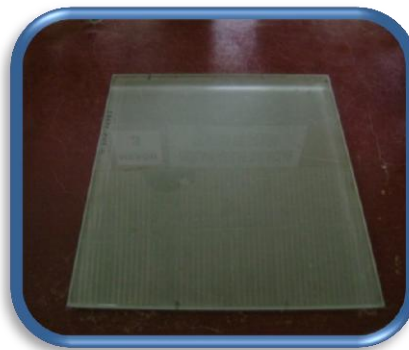


Figura57-Base de vidrio³⁴

³² Fuente: Propia

³³ Fuente: Propia

³⁴ Fuente: Propia

- Estos rollitos deben tener una altura máxima de 3 milímetros.



Figura58-Muestra con altura de 3 milímetros ³⁵

- Dejar de frotar la mezcla cuando el rollito se comience a rajar debido a que se le está quitando humedad.
- Con la espátula cortar un poco de la muestra que tiene rajadura y colocarla en una cápsula de peso conocido.



Figura59-Muestra + Cápsula para poner al horno ³⁶

³⁵ Fuente: Propia

³⁶ Fuente: Propia

- Pesar el suelo húmedo + cápsula y colocarla en el horno durante 24 horas.



Figura60-Cápsulas en el horno³⁷

- Pesar el suelo seco + cápsula.
- Realizar el trabajo de escritorio.

³⁷ Fuente: Propia

3.5.1.3.2.-Resultados.-

ZONA	Nº POZO	LL	LP	LP
TORRECILLAS	1	40,13	16,84	23,29
	2	43,20	12,96	30,24
	3	56,56	33,72	22,84
	4	45,30	18,73	26,57
	5	54,45	20,08	34,37
	6	54,22	34,81	19,41
PORTILLO	1	30,21	12,79	17,42
	2	40,61	21,23	19,38
	3	30,10	19,90	10,20
	4	30,30	15,90	14,40
	5	30,47	17,63	12,84
	6	22,41	12,02	10,39
SAN BLAS	1	58,39	35,57	22,82
	2	38,36	25,21	13,15
	3	29,66	19,62	10,04
	4	34,08	22,79	11,29
	5	26,20	15,85	10,35
	6	51,43	31,84	19,59
PARAISO	1	23,22	13,03	10,19
	2	20,33	10,22	10,11
	3	23,60	13,56	10,04
NUEVA ESPERANZA	1	47,37	19,00	28,37
	2	27,64	17,44	10,20
	3	45,29	23,29	22,00
	4	40,94	19,22	21,72
	5	42,74	28,47	14,27
	6	36,67	24,10	12,57
ERQUIS	1	38,97	13,03	25,94
	2	56,01	28,57	27,44
	3	54,75	29,15	25,60

Tabla14-Límites de Atterberg de las muestras ³⁸

³⁸ Fuente: Propia

3.5.1.4.- Clasificación método AASHTO Y SUCS.-

3.5.1.4.1.-Procedimiento.-

La clasificación de los suelos se realizó por los métodos AASHTO y SUCS

3.5.1.4.2.-Resultados.-

ZONA	Nº POZO	AASHTO	SUCS
TORRECILLAS	1	A-7-6(13)	CL
	2	A-7-6(17)	CL
	3	A-7-5(16)	MH
	4	A-7-6(16)	CL
	5	A-7-6(19)	CH
	6	A-7-5(15)	MH
PORTILLO	1	A-6(11)	CL
	2	A-7-6(12)	CL
	3	A-6(8)	CL
	4	A-6(10)	CL
	5	A-6(9)	CL
	6	A-6(6)	CL
SAN BLAS	1	A-7-5(17)	MH
	2	A-6(9)	ML
	3	A-6(8)	CL
	4	A-6(9)	CL
	5	A-6(8)	CL
	6	A-7-5(14)	MH
PARAISO	1	A-6(8)	CL
	2	A-6(7)	CL
	3	A-6(8)	CL
NUEVA ESPERANZA	1	A-7-6(17)	CL
	2	A-6(8)	CL
	3	A-7-6(14)	CL
	4	A-7-6(13)	CL
	5	A-7-6(10)	ML
	6	A-6(9)	CL
ERQUIS	1	A-6(14)	CL
	2	A-7-6(18)	CH
	3	A-7-6(17)	CH

Tabla15-Clasificación de las muestras ³⁹

³⁹ Fuente: Propia

3.5.1.5.-Porcentaje de Expansión.-

3.5.1.5.1.-Procedimiento.-

- Una vez extraída la muestra inalterada del campo se pone papel filtro en ambas caras del molde, colocándole el collarín y ajustándolo en la base, luego se coloca el plato con el vástago regulable y encima de este colocar pesas de plomo con un peso de 10 libras.
- Antes de dejar el molde sumergido en agua se deberá medir la altura inicial del espécimen.



Figura61-Equipo de Expansión⁴⁰

- Se debe introducir el molde dentro de un tanque o depósito con agua.
- Se montará el trípode con un extensómetro cuyo vértice inferior se conecte con la cabeza del vástago regulable, en ese punto se debe tomar una lectura inicial.
- Se deberá realizar estas lecturas cada 24 horas durante un período de 96 horas.

⁴⁰ Fuente: Propia

- La diferencia entre la lectura final y la inicial en valor absoluto en centímetros, dividida entre la altura real del molde, también en centímetros multiplicada por 100, nos proporciona el valor de la expansión que sufrió el material.
- Realizar el trabajo de escritorio.

3.5.1.5.2.-Resultados.-

ZONA	Nº POZO	% EXPANSION
TORRECILLAS	1	8,59
	2	10,83
	3	8,43
	4	10,17
	5	12,55
	6	10,56
PORTILLO	1	9,21
	2	9,70
	3	6,10
	4	6,32
	5	7,91
	6	6,02
SAN BLAS	1	7,23
	2	6,60
	3	6,25
	4	6,78
	5	6,21
	6	7,27
PARAISO	1	6,32
	2	6,09
	3	6,48
NUEVA ESPERANZA	1	9,07
	2	6,24
	3	8,17
	4	8,29
	5	7,34
	6	6,12
ERQUIS	1	9,76
	2	9,16
	3	10,13

Tabla16- Porcentaje de Expansión ⁴¹

⁴¹ Fuente: Propia

3.5.2.-Ensayos de resistencia.-

3.5.2.1.- CBR (inalterado).-

El CBR inalterado es usado para evaluación y diseño la sub-rasante, y para otras aplicaciones (como vías sin capas de rodadura) para las cuales el CBR es el parámetro de resistencia deseado.

Las pruebas en las muestras inalteradas se usarán en el diseño, cuando no se requiere compactación y para correlacionar las pruebas en el campo. ⁴²

3.5.2.1.1.-Procedimiento.-

- Luego de los 4 días de saturación, se drenara la muestra por lo menos 15 minutos, para instalar el molde en la prensa y asentar el pistón de penetración sobre el espécimen.
- Se hinca el pistón manteniendo una velocidad constante y se leen las cargas totales en 0.025", 0.05", 0.1", 0.2", 0.3", 0.4", 0.5".

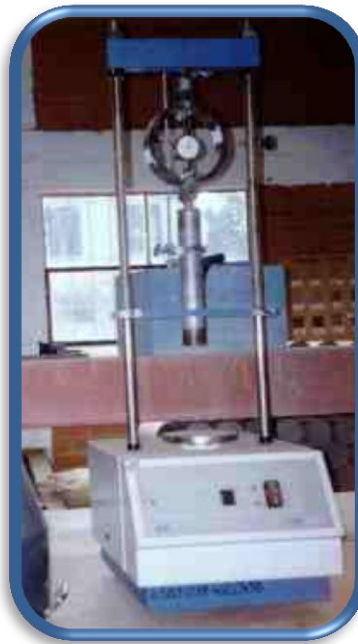


Figura62-Equipo de CBR Eléctrico ⁴³

⁴² Fuente: Mecánica de suelos - Eulalio Juárez Badillo

⁴³ Fuente: Propia

- Una vez que se hincó el pistón en el molde, se suelta la carga, se retira el molde y se quitan las pesas.
- Si los CBR para 0.1” y 0.2” tienen similitud se recomienda usar el valor del 0.2”.⁴⁴
- Si se calcula la penetración 0.5 centímetros (0.2 pulgadas) resulta mayor que el cálculo con la penetración 0.25 centímetros (0.1 pulgadas); en tal caso se adopta como CBR el valor obtenido con la penetración 0.5 centímetros (0.2 pulgadas).⁴⁵

3.5.2.1.2.-Resultados.-

ZONA	Nº POZO	CBR
TORRECILLAS	1	5,0
	2	1,4
	3	1,6
	4	1,4
	5	1,1
	6	2,0
PORTILLO	1	1,9
	2	2,2
	3	2,3
	4	1,3
	5	1,5
	6	1,0
SAN BLAS	1	3,1
	2	4,0
	3	4,9
	4	3,5
	5	3,8
	6	5,2
PARAISO	1	1,1
	2	1,9
	3	1,4
NUEVA ESPERANZA	1	1,3
	2	1,9
	3	1,1
	4	2,7
	5	0,8
	6	1,9
ERQUIS	1	1,9
	2	1,1
	3	1,7

Tabla17-CBR inalterado de los puntos de muestreo ⁴⁶

⁴⁴ Fuente: Manual de laboratorios de suelos –Ing. Alberto Yurquina

⁴⁵ Fuente: Mecánica de suelos - Eulalio Juárez Badillo

⁴⁶ Fuente: Propia

3.5.2.2.- Densidad in Situ.-

Para realizar la densidad in situ se utilizó el método del cono de arena.

3.5.2.2.1.-Procedimiento.-

- Se limpia el sitio escogido, se instala la placa, si es posible ajustarla con clavos.
- Se procede a excavar un hoyo de profundidad, esta puede variar entre 10 y 15 centímetros para suelos finos.
- El material que se extrae se lo guarda en una bolsa nylon para que no pierda humedad, este servirá para obtener el peso del suelo húmedo retirado del hoyo.



Figura63-Muestra extraída del hueco ⁴⁷

- Se ajusta la llave de paso del equipo (cono +arena), se vuelca y se instala sobre la placa, seguidamente abrir la llave de paso, y dejar caer la arena hasta que el hueco y el cono se llenen.

⁴⁷ Fuente: Propia



Figura64-Cono de arena con válvula abierta ⁴⁸

- Se procede a cerrar el cono para después pesar el equipo con el saldo de arena que queda después del ensayo.



Figura65-Arena después de cerrar la válvula ⁴⁹

- Realizar el trabajo de escritorio.

⁴⁸ Fuente: Propia

⁴⁹ Fuente: Propia

3.5.2.2.1.-Resultados.-

ZONA	Nº POZO	DENSIDAD
TORRECILLAS	1	1,53
	2	1,30
	3	1,26
	4	1,31
	5	1,23
	6	1,37
PORTILLO	1	1,36
	2	1,37
	3	1,40
	4	1,24
	5	1,23
	6	1,21
SAN BLAS	1	1,39
	2	1,46
	3	1,48
	4	1,44
	5	1,44
	6	1,56
PARAISO	1	1,22
	2	1,34
	3	1,32
NUEVA ESPERANZA	1	1,25
	2	1,35
	3	1,22
	4	1,39
	5	1,12
	6	1,34
ERQUIS	1	1,31
	2	1,25
	3	1,32

Tabla18-Densidad in Situ en los puntos de muestreo ⁵⁰

⁵⁰ Fuente: Propia

3.5.2.3.- PDC.-

El ensayo de PDC es apropiado para estimar la resistencia de suelos predominantemente finos.⁵¹

3.5.2.3.1.-Procedimiento.-

- Una vez identificados los sitios de muestreo se procede a limpiar el sitio donde se realizara el ensayo.
- Se deben asegurar bien las partes del equipo PDC.
- Hincar la punta del PDC, hasta que queda en lectura 0.



Figura66-PDC al lado del lugar donde se realizó Densidad in Situ⁵²

⁵¹ Fuente: Manual de laboratorios de suelos –Ing. Alberto Yurquina

⁵² Fuente: Propia

- Proceder a levantar el martillo de 8 kilogramos hasta que llegue hasta la manija superior y soltarlo.
- Se deberán contabilizar los golpes para hincar el equipo 30 centímetros.



Figura67-PDC en punto 0 ⁵³

- Realizar el trabajo de escritorio.

⁵³ Fuente: Propia

3.5.2.3.2.-Resultados.-

ZONA	Nº POZO	Nº GOLPES
TORRECILLAS	1	172
	2	38
	3	45
	4	39
	5	35
	6	60
PORTILLO	1	58
	2	64
	3	68
	4	35
	5	45
	6	24
SAN BLAS	1	76
	2	93
	3	125
	4	84
	5	89
	6	185
PARAISO	1	33
	2	58
	3	44
NUEVA ESPERANZA	1	36
	2	51
	3	33
	4	70
	5	21
	6	56
ERQUIS	1	48
	2	33
	3	49

Tabla19-PDC en los puntos de muestreo ⁵⁴

⁵⁴ Fuente: Propia

3.6.-Medias de tendencia central

DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS SIMPLE			
CBR	CONTEO	FRECUENCIA(f)	CBR*f
0,8	/	1	0,8
1	/	1	1
1,1	////	4	4,4
1,3	//	2	2,6
1,4	///	3	4,2
1,5	/	1	1,5
1,6	/	1	1,6
1,7	/	1	1,7
1,9	/////	5	9,5
2	/	1	2
2,2	/	1	2,2
2,3	/	1	2,3
2,7	/	1	2,7
3,1	/	1	3,1
3,5	/	1	3,5
3,8	/	1	3,8
4	/	1	4
4,9	/	1	4,9
5	/	1	5
5,2	/	1	5,2
	SUMA(n)	30	66

Tabla20-Distribución de frecuencia simple ⁵⁵

3.6.1.-Media aritmética.- ⁵⁶

$$\bar{X} = \frac{x_1f_1 + x_2f_2 + \dots + x_if_i + \dots + x_mf_m}{n} = \frac{\sum_{i=1}^m x_if_i}{n}$$

$$x = \frac{66}{30} = 2.2$$

⁵⁵ Fuente: Propia

⁵⁶ Fuente: Estadística aplicada -Norbeto Guarín Salazar

3.6.2.-Mediana.-⁵⁷

$$Me = \frac{x_{(\frac{n}{2})} + x_{(\frac{n}{2}+1)}}{2}, \text{ si n es par}$$

n/2	15	>	1,9
(n/2)+1	16	>	1,9

Tabla21-Valores para la mediana⁵⁸

$$Me = \frac{1.9 + 1.9}{2} = 1.9$$

Este valor nos indica que el 50% de los valores están por encima de 1.9 y el otro 50% debajo de 1.9.

3.6.3.-Moda.-

$$Mo = 1.9$$

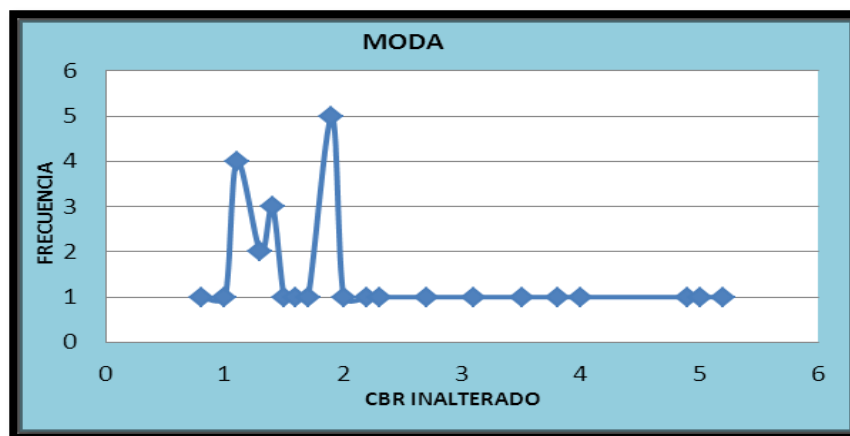


Figura 68-Distribución de frecuencia simple⁵⁹

La moda de nuestra información es multimodal, debido a que presenta 3 picos en la gráfica, pero tomaremos como valor 1.9, debido a que los datos se repiten más con este valor.

⁵⁷ Fuente: Estadística aplicada -Norbeto Guarín Salazar

⁵⁸ Fuente: Propia

⁵⁹ Fuente: Propia

3.7.-Medidas de dispersión.-

N°	CBR - INALT	DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS SIMPLE								
		CBR	CONTEO	FRECUENCIA(f)	CBR*f	XJ-x	f*(XJ-x)	ABS f*(Xj-x)	(XJ-x)^2	F*(XJ-x)^2
1	5,0									
2	1,4	0,8	/	1	0,8	-1,4	-1,4	1,4	1,96	1,96
3	1,6	1	/	1	1	-1,2	-1,2	1,2	1,44	1,44
4	1,4	1,1	////	4	4,4	-1,1	-4,4	4,4	1,21	4,84
5	1,1	1,3	//	2	2,6	-0,9	-1,8	1,8	0,81	1,62
6	2,0	1,4	///	3	4,2	-0,8	-2,4	2,4	0,64	1,92
7	1,9	1,5	/	1	1,5	-0,7	-0,7	0,7	0,49	0,49
8	2,2	1,6	/	1	1,6	-0,6	-0,6	0,6	0,36	0,36
9	2,3	1,7	/	1	1,7	-0,5	-0,5	0,5	0,25	0,25
10	1,3	1,9	////	5	9,5	-0,3	-1,5	1,5	0,09	0,45
11	1,5	2	/	1	2	-0,2	-0,2	0,2	0,04	0,04
12	1,0	2,2	/	1	2,2	0	0	0	0	0
13	3,1	2,3	/	1	2,3	0,1	0,1	0,1	0,01	0,01
14	4,0	2,7	/	1	2,7	0,5	0,5	0,5	0,25	0,25
15	4,9	3,1	/	1	3,1	0,9	0,9	0,9	0,81	0,81
16	3,5	3,5	/	1	3,5	1,3	1,3	1,3	1,69	1,69
17	3,8	3,8	/	1	3,8	1,6	1,6	1,6	2,56	2,56
18	5,2	4	/	1	4	1,8	1,8	1,8	3,24	3,24
19	1,1	4,9	/	1	4,9	2,7	2,7	2,7	7,29	7,29
20	1,9	5	/	1	5	2,8	2,8	2,8	7,84	7,84
21	1,4	5,2	/	1	5,2	3	3	3	9	9
22	1,3		SUMA(n)	30	66			29,4		46,06
23	1,9									
24	1,1									
25	2,7									
26	0,8									
27	1,9									
28	1,9									
29	1,1									
30	1,7									

Tabla22-Datos para análisis de dispersión⁶⁰

⁶⁰ Fuente: Propia

3.7.1.-Rango.-⁶¹

$$R = X_{max} - X_{min}$$

$$R = 5.2 - 0.8 = 4.4$$

Al observar el resultado de la diferencia de los datos máximos y mínimos, se puede observar que existe dispersión entre los datos, para datos sean homogéneos los valores extremos deben ser similares.

3.7.2.-Desviación media.-⁶²

$$DM = \frac{\sum_{i=1}^m |x_i - \bar{X}| f_i}{n}$$

$$DM = \frac{29.4}{30} = 0.98$$

El error promedio de nuestros datos es de 0.98, se podría decir que es la distancia absoluta promedio de los datos y la línea de tendencia

3.7.3.-Varianza.-

3.7.3.1.-Poblacional.-⁶³

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^m (x_i - \bar{X})^2 f_i}{n}$$

⁶¹ Fuente: Estadística aplicada -Norbeto Guarín Salazar

⁶² Fuente: Estadística aplicada -Norbeto Guarín Salazar

⁶³ Fuente: Estadística aplicada -Norbeto Guarín Salazar

$$s^2 = \frac{46.06}{30} = 1.24$$

3.7.3.2.-Muestral.-⁶⁴

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^m (x_i - \bar{X})^2 f_i}{n-1}$$

$$\sigma^2 = \frac{46.06}{29} = 1.60$$

La varianza se interpreta como como una medida de cuán diversos son los datos obtenidos del CBR inalterado.

3.7.4.-Desviación estándar.-⁶⁵

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2}$$

$$\sigma = \sqrt{1.60} = 1.26$$

Por tanto el error estándar es de 1.26, este valor permite conocer la ubicación de nuestros datos con respecto a la media, cuándo no se explica que varianza se utilizará, se tomará el valor de la varianza muestral.

3.7.5.-Coeficiente de variación.-⁶⁶

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{X}} 100\%$$

$$CV = \frac{1.26}{2.2} = 57.28\%$$

⁶⁴ Fuente: Estadística aplicada -Norbeto Guarín Salazar

⁶⁵ Fuente: Estadística aplicada -Norbeto Guarín Salazar

⁶⁶ Fuente: Estadística aplicada -Norbeto Guarín Salazar

Un coeficiente mayor a 50% significa que tiene una alta dispersión de datos

3.8.- Depuración de datos.-

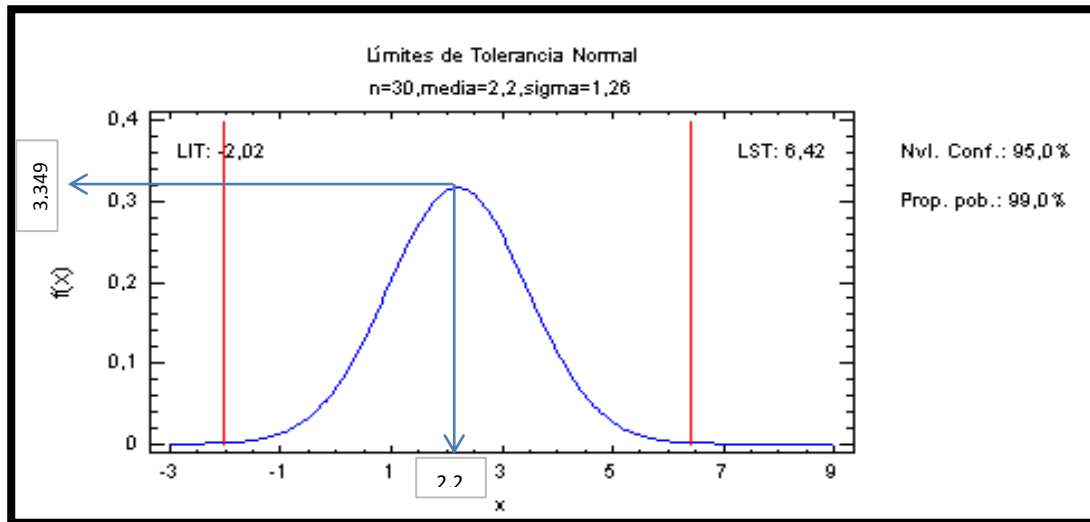


Figura69-Límites de tolerancia ⁶⁷

Límites de tolerancia estadística.-

Tamaño de muestra = 30.

Media de la muestra = 2,2.

Desviación estándar de la muestra = 1,26.

Intervalos de tolerancia del 95,0% para 99,0% de la población.

X barra +/- 3,34971 sigma.

Superior: 6,42064.

Inferior: -2,02064.

$$f(x) = y = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\left(\frac{x^2}{2}\right)} \quad 68$$

Asumiendo que los datos provienen de una distribución normal, los límites de tolerancia establecen que se puede estar 95.0 % confiados en que el 99.0 % de la distribución se

⁶⁷ Fuente: Propia

⁶⁸ Fuente: Estadística- Víctor Hugo Chungara

encuentra entre -2.02064 y 6.42064. Este intervalo se calcula tomando la media de los datos +/- 3.34971 veces por la desviación estándar.

La depuración de datos se realizó solamente en la variable dependiente, al que pertenecen los resultados del ensayo de CBR.

TABLA DE DEPURACION DE DATOS			
ZONA	Nº POZO	CBR	
TORRECILLAS	1	5,0	OK
	2	1,4	OK
	3	1,6	OK
	4	1,4	OK
	5	1,1	OK
	6	2,0	OK
PORTILLO	1	1,9	OK
	2	2,2	OK
	3	2,3	OK
	4	1,3	OK
	5	1,5	OK
	6	1,0	OK
SAN BLAS	1	3,1	OK
	2	4,0	OK
	3	4,9	OK
	4	3,5	OK
	5	3,8	OK
	6	5,2	OK
PARAISO	1	1,1	OK
	2	1,9	OK
	3	1,4	OK
NUEVA ESPERANZA	1	1,3	OK
	2	1,9	OK
	3	1,1	OK
	4	2,7	OK
	5	0,8	OK
	6	1,9	OK
ERQUIS	1	1,9	OK
	2	1,1	OK
	3	1,7	OK

Tabla23-Depuración de datos ⁶⁹

⁶⁹ Fuente: Propia

Los datos que se obtuvieron del CBR se encuentran dentro de los límites de tolerancia, lo que quiere decir que no se tuvo que depurar ningún dato y se trabajara con todos los datos para el análisis estadístico.

3.9.- Gráfica de dispersión de puntos.-

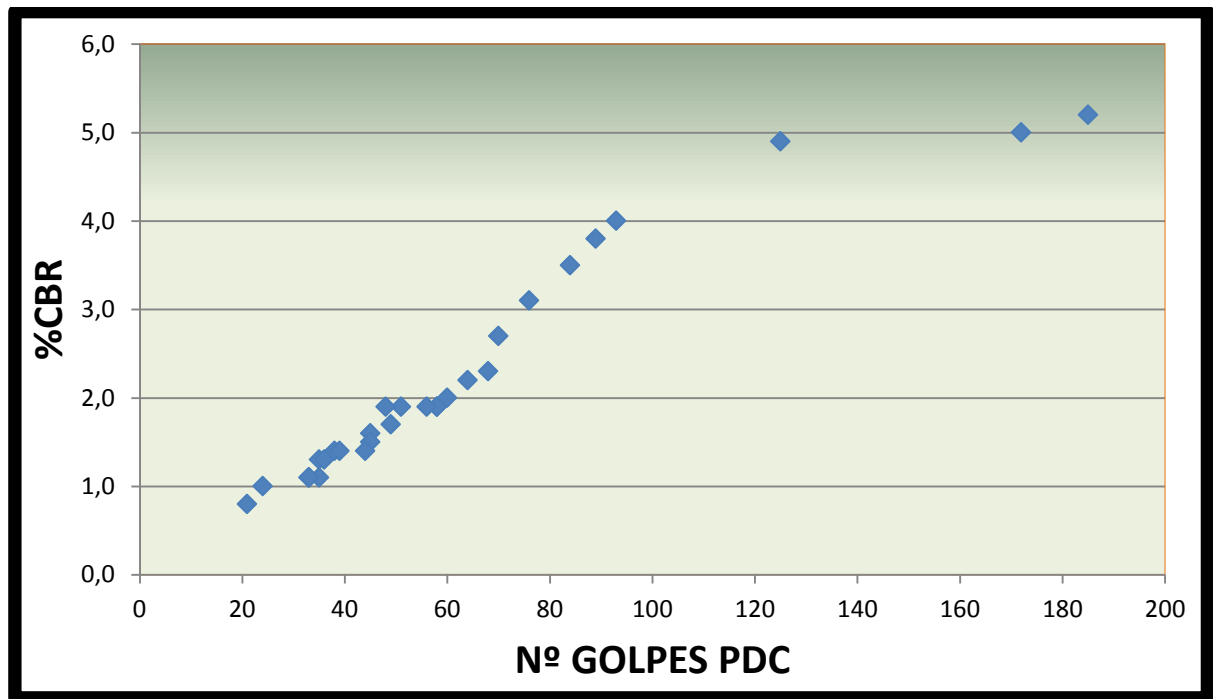


Figura70-Gráfica de dispersión de puntos⁷⁰

En la gráfica de dispersión de datos se debe ordenar la variable independiente (PDC) en el eje x o eje de abscisas, y la variable dependiente (CBR) en el eje y o eje de las ordenadas.

Al conjunto de puntos que se forman se lo llama nube de puntos.

En la nube de puntos formada con los datos de PDC y CBR se puede ver que tiene una pendiente positiva, lo que quiere decir que a medida que X es mayor, Y es mayor.

3.10.-Elección del modelo.-

Un modelo de regresión, es una manera de expresar dos ingredientes esenciales de una relación estadística:

⁷⁰ Fuente: Propia

- Una tendencia de la variable dependiente Y a variar conjuntamente con la variación de la o las X de una manera sistemática.
- Una dispersión de las observaciones alrededor de la curva de relación estadística.

Estas dos características están implícitas en un modelo de regresión, postulando que:

- En la población de observaciones asociadas con el proceso que fue muestreado, hay una distribución de probabilidades de Y para cada nivel de X.
- Las medias de estas distribuciones varían de manera sistemática al variar X.

Suele suceder que al dibujar la nube de puntos correspondiente a n observaciones, se observa una tendencia no rectilínea, pero a la cual se le puede ajustar un modelo teórico conocido

Dentro de la familia de modelos, es de aplicación común el ajuste regresivo polinómico de grado s “ $s \geq 2$ ”.

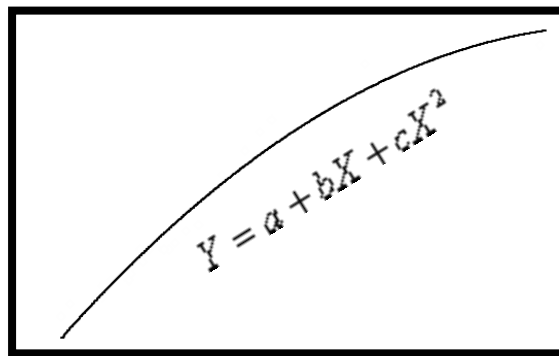


Figura71-Modelo Polinómico ⁷¹

Al fijarse en nuestra nube de puntos se puede notar que se debe realizar un ajuste no lineal.

Para nuestros datos se procede a realizar el ajuste a un modelo de regresión como es el polinómico, por medio del método de mínimos cuadrados, en donde la ecuación será la siguiente:

$$Y = a + bX + cX^2 \quad 72$$

⁷¹ Fuente: STATGRAPHICS

3.11.-Ajuste de curva.-

Mediante el estudio de regresión se determinó el modelo polinómico por medio del método de “cuadrados mínimos”

Nº	CBR - INALT	X	Y	XY	X2	YX2	X3	X4
1	5,0	172	5,0	860	29584	147920	5088448	875213056
2	1,4	38	1,4	53,2	1444	2021,6	54872	2085136
3	1,6	45	1,6	72	2025	3240	91125	4100625
4	1,4	39	1,4	54,6	1521	2129,4	59319	2313441
5	1,1	35	1,1	38,5	1225	1347,5	42875	1500625
6	2,0	60	2,0	120	3600	7200	216000	12960000
7	1,9	58	1,9	110,2	3364	6391,6	195112	11316496
8	2,2	64	2,2	140,8	4096	9011,2	262144	16777216
9	2,3	68	2,3	156,4	4624	10635,2	314432	21381376
10	1,3	35	1,3	45,5	1225	1592,5	42875	1500625
11	1,5	45	1,5	67,5	2025	3037,5	91125	4100625
12	1,0	24	1,0	24	576	576	13824	331776
13	3,1	76	3,1	235,6	5776	17905,6	438976	33362176
14	4,0	93	4,0	372	8649	34596	804357	74805201
15	4,9	125	4,9	612,5	15625	76562,5	1953125	244140625
16	3,5	84	3,5	294	7056	24696	592704	49787136
17	3,8	89	3,8	338,2	7921	30099,8	704969	62742241
18	5,2	185	5,2	962	34225	177970	6331625	1171350625
19	1,1	33	1,1	36,3	1089	1197,9	35937	1185921
20	1,9	58	1,9	110,2	3364	6391,6	195112	11316496
21	1,4	44	1,4	61,6	1936	2710,4	85184	3748096
22	1,3	36	1,3	46,8	1296	1684,8	46656	1679616
23	1,9	51	1,9	96,9	2601	4941,9	132651	6765201
24	1,1	33	1,1	36,3	1089	1197,9	35937	1185921
25	2,7	70	2,7	189	4900	13230	343000	24010000
26	0,8	21	0,8	16,8	441	352,8	9261	194481
27	1,9	56	1,9	106,4	3136	5958,4	175616	9834496
28	1,9	48	1,9	91,2	2304	4377,6	110592	5308416
29	1,1	33	1,1	36,3	1089	1197,9	35937	1185921
30	1,7	49	1,7	83,3	2401	4081,7	117649	5764801
		1867	66,0	5468,1	160207	604255,3	18621439	2661948367
		Sumatoria	Sumatoria	Sumatoria	Sumatoria	Sumatoria	Sumatoria	Sumatoria

Tabla24-Datos para mínimos cuadrados ⁷³

⁷² Fuente: STATGRAPHICS

⁷³ Fuente: Propia

$$66 = a * 30 + b * 1867 + c * 160207$$

$$5468.1 = 1867 * a + 160207 * b + 18621439 * c$$

$$604255.3 = a * 160207 + b * 18621439 + c * 2661948367$$

De dónde se obtiene:

a	-0,7394
b	0,0599
c	-0,0001

Tabla25-Valores de las constantes de la ecuación polinómica ⁷⁴

°La ecuación obtenida se aplicará solamente para los datos de: PDC y CBR inalterado: ⁷⁵

$$\text{CBR} = -0.7394 + 0.0599 * \text{PDC} - 0.0001 * \text{PDC}^2$$

Para el tipo de información como es el PDC y CBR inalterado se aplica este tipo de modelo.

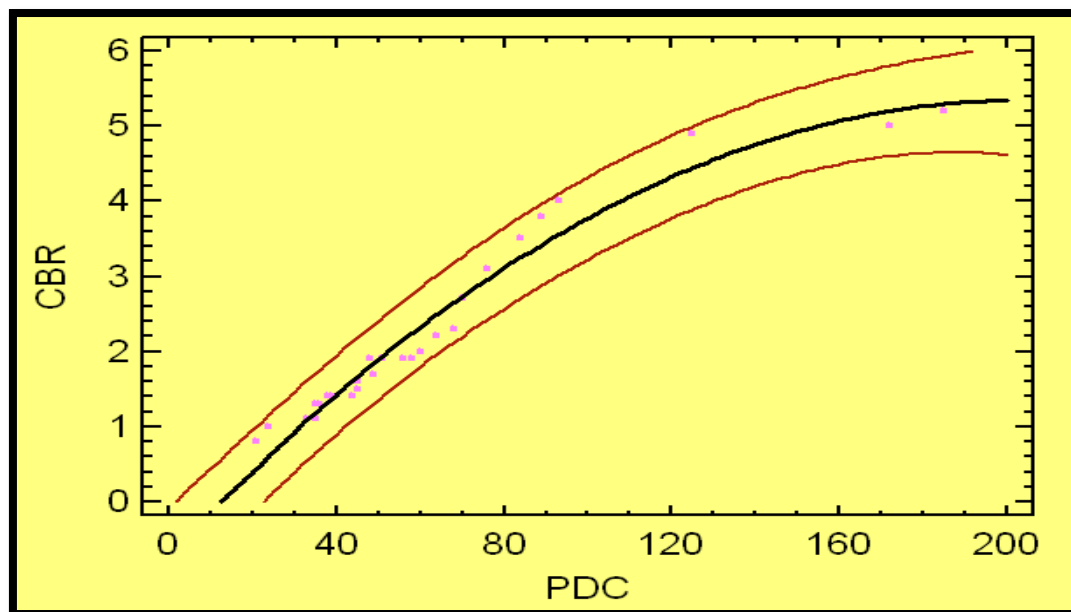


Figura72-Modelo de regresión ajustado ⁷⁶

⁷⁴ Fuente: Propia

⁷⁵ Fuente: Propia

⁷⁶ Fuente: Propia

3.12.-Análisis de correlación.-

Un análisis de correlación trata de establecer el grado de relación entre dos variables, decir trata de medir cuán dependiente es una variable de la otra.

Se asume que existe correlación entre dos variables, cuando es evidente que al variar una de ellas, también se produce variación de la otra.

3.12.1.-Coeficiente de correlación.-⁷⁷

Es un número que varía entre -1 y +1, se usa para medir el grado de relación existente entre las variables.

$$r = 0.9815$$

Lo que nos indica que la relación existente entre las variables es excelente, porque una correlación excelente esta entre 0.9 – 1.0.

3.12.2.-Coeficiente de determinación.-⁷⁸

Es el cuadrado del coeficiente de correlación, es un número positivo que varía entre 0 y 1, permite indicar el grado de certeza con que una variable depende de la otra, este coeficiente multiplicado por 100 y redondeado, es la certeza de en qué porcentaje los valores de Y dependen de los valores de X.

Para nuestro estudio se tiene un coeficiente de determinación:

$$R^2 = 0.9632$$

Que en porcentaje nos da:

$$R^2 = 96 \%$$

Lo que nos indica que el valor Y (CBR-Inalterado) depende en un 96% de la variable X (PDC)

⁷⁷ Fuente: Estadística I-Víctor Chungara Castro

⁷⁸ Fuente: Estadística I-Víctor Chungara Castro

CAPÍTULO IV-CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1.-Conclusiones.-

- Por las limitaciones que se tienen tanto en equipo, como en costo y tiempo para la obtención del CBR, es posible la realización de una correlación entre PDC y CBR inalterado, teniendo como la variable independiente el N° de golpes del PDC un equipo de fácil manejo, del cual dependerá una variable dependiente como el CBR inalterado, de esta manera al pretender determinar el CBR de un terreno de difícil acceso será posible debido a que solo se llevara el equipo de PDC, ahorrando de manera significativa el tiempo y el costo
- Para los lugares de muestreo se optó por una forma asimétrica, quiere decir que no sigue ningún orden para la toma de muestras, porque en algunas de las zonas había lugares de difícil acceso para realizar el muestreo. Los ensayos in situ se realizaron al lado de la toma de muestra inalterada, para evitar que hubiere cambios de humedad que afectaría la Densidad in Situ, haciendo variar el número de golpes del PDC y el CBR inalterado, como en la constitución del suelo lo que nos ocasionaría una diferente clasificación y se entremezclarían los datos
- Para verificar si se obtuvieron buenos datos de los ensayos tanto de CBR como del PDC, se realizó una verificación con la Densidad in situ, debido a que si la densidad es mayor, el CBR será mayor y también el número de golpes del PDC aumentará.
- Hubo casos en que densidades in situ mayores se daban con número de golpes menores, esto se debió a que una arcilla al estar en una cierto tipo de consolidación, esta adquiere dureza, entonces al verse sometida al equipo PDC, tiende a rajarse lo que ocasionaba que la rata de penetración del equipo, penetre con menos golpes, esto se notó más en arcillas grises con un contenido de hierro, decimos esto porque se notaba como se producía la oxidación y esta era de un color naranja oscuro
- En ensayo de PDC y Densidad in Situ se los realizan conjuntamente, debido a que si se los realiza en distintos días cambia el porcentaje de humedad del terreno y así su densidad, debido a la expansión que sufren estos suelos, y si se los realiza muy

alejados podrían variar debido a que nos guiamos en la siguiente expresión “un metro de suelo no es igual a otro metro de suelo”

- Para la toma de muestras inalteradas se tuvo que hincar el molde de CBR en el terreno, se utilizó moldes normales de CBR porque ni la universidad ni otros laboratorios del departamento cuenta con moldes para toma de muestras inalteradas de CBR, con la ayuda de un combo se procedió a hincar el molde, llevándolo rápidamente al laboratorio de suelos para los ensayos de expansión y remojo para la prueba de CBR, en el caso de dejar guardados los moldes de CBR se tendrán que guardar en un lugar húmedo para que no haiga una variación considerable en la humedad de la muestra
- En el ensayo de expansión se realizaron la toma de datos cada 24 horas, en algunos moldes se tuvo porcentajes de expansión bajos, esto paso debido a la relación de vacíos que tenía el suelo, sufriendo este primero un asentamiento, acomodo de las partículas y luego el proceso de expansión
- En algunos moldes de CBR de El Portillo y Nueva Esperanza se notó que en el momento de hacer correr el CBR este daba valores bajos, pero cuando se procedió a limpiar los moldes se notó que el corazón de la muestra se encontraba casi con su humedad natural, notando así que tenía mayor CBR, lo que podemos decir de lo ocurrido es que como se procedió al remojo de 96 horas, la arcilla actuó como impermeabilizante, evitando así que el agua penetre en toda la muestra



Figura73-Variacion de Humedad en el corazón de la muestra¹

¹ Fuente: Propia

- En este análisis se optó por un modelo polinómico o parabólico de segundo grado, hay que señalar que estos modelos son de regresión, que en este caso fue una regresión no lineal, y por la forma que tomo la nube de puntos en el gráfico de dispersión se optó por una regresión polinómica de segundo orden, señalando que:

Regresión: Es un procedimiento estadístico que estudia la relación funcional entre variables. Con el objeto de predecir una en función de la/s otra/s.

Modelo de Regresión: Es una manera de expresar dos ingredientes esenciales de una relación estadística:

- Una tendencia de la variable dependiente Y a variar conjuntamente con la variación de la o las X de una manera sistemática
- Una dispersión de las observaciones alrededor de la curva de relación estadística
- En la cual el valor del CBR se encuentra dependiente del número de golpes del PDC, existe una buena correlación entre el CBR inalterado y el PDC, porque su R cuadrado (coeficiente de determinación) tiene que ser lo más aproximada a uno, y se obtuvo la siguiente:

$R^2 = 0,9632$ lo que indica que la variable Y depende en un 96% de la variable X

Además de que su coeficiente de correlación tiene el siguiente valor:

$r=0.9815$ lo que nos indica que el grado de relación entre las variables es excelente

- Esta investigación demuestra que es posible relacionar el CBR inalterado con el N° de golpes del PDC, dando unos resultados satisfactorios, y nos abre camino a realizar diferentes análisis de relación; SPT vs CBR, CONO HOLANDES vs CBR, las cuales ayudarán tanto en el costo como en el tiempo de una obra

4.2.-Recomendaciones.-

- En la recopilación de información, uno tiene que estar seguro de que esta información es confiable, para no cometer errores en los ensayos
- Para los límites de Atterberg se recomienda trabajar con un gotero, porque se puede controlar fácilmente la cantidad de agua, obteniendo mejores resultados en el proceso para la obtención de resultados del límite líquido y límite plástico
- Tener en cuenta que el equipo Casagrande se encuentre calibrado, debido a que esto podría hacer variar el número de golpes para unir la muestra un centímetro
- Al momento de realizar la lecturación en el ensayo de expansión, tener mucho cuidado con la pérdida de material, esto puede ocurrir por no asegurar bien el molde, o colocar mal el papel filtro en la base y encima de la muestra
- Tener en cuenta que el N° de golpes del PDC tiene que tener valores coherentes, verificando estos con su DENSIDAD in situ, por que a mayor número de golpes mayor densidad y viceversa