

CAPITULO I

1.- INTRODUCCIÓN:

La construcción de la capa sub-base y base de carreteras requiere de un conocimiento geotécnico detallado de los materiales involucrados. En general, se utilizan principalmente materiales disponibles en el sector de emplazamiento de la obra, sobre los que se aplican técnicas de mejoramiento de suelos con el objetivo de mejorar su comportamiento y disminuir los espesores de diseño en cada una de las capas que forman el pavimento.

La infraestructura vial incide mucho en la economía de nuestro país por la gran incidencia que tiene en ésta, pues al alto costo de construcción, mantenimiento o rehabilitación hay que adicionarle también los costos que se derivan por el mal estado de las vías.

Dentro del contexto del diseño de carreteras se acepta que el dimensionamiento de estas estructuras permite que se establezca las características de los materiales de las distintas capas de tal forma que la capa sub base funcione bien y conocer la vida útil que tendrá.

Por lo cual se ve en la necesidad de estudiar la calidad de materiales y su vida útil en la conformación de la capa sub base.

Esta metodología es para analizar el límite de cohesividad los suelos cohesivos y no cohesivos y así poder determinar parámetros que nos ayuden a reconocer los límites entre estos, en la conformación de la capa sub base. La condición para esta metodología es que se conozca los límites cohesivos y no cohesivos del material en estudio.

Este estudio podría mostrarnos la importancia que se debe dar a la capa sub base para que las carreteras pudieran funcionar el tiempo establecido sin sufrir deterioros.

1.2.-JUSTIFICACIÓN:

A pesar de los trabajos publicados sobre este tema y una falta de información sobre diversos aspectos de estos materiales que pueden contribuir a un mejor entendimiento de

comportamiento que presentan estos suelos a cambios de grados de compactación y de aumento o reducción de la relación de vacíos.

Este problema embarga tópicos sociales, entre otros pero que están directamente relacionados con el entorno social. Es decir enfoca un aspecto de beneficio para la comunidad que necesita solucionar el problema de nuestros diseños de carpetas asfálticas ya sean rígidas ó flexibles.

Al estudiar los efectos de calidad de la capa sub base en la deformación de los caminos a definirnos el impacto que tienen estos aspectos en el buen funcionamiento de los mismos y así tenerlos en cuando se quiera pavimentar algún lugar y se busque un buen estado de funcionamiento.

1.3.- SITUACIÓN PROBLEMICA.-

1.3.1.- DETERMINACION DEL PROBLEMA.-

A través de los años existen pocos estudios sobre la conformación de la capa sub base, en lo que se refiere a algún parámetro que establezca una línea divisoria entre los suelos cohesivos y no cohesivos por lo que se ve en la necesidad de realizar un análisis más extenso acerca de estos suelos cohesivos y no cohesivos, y así poder determinar parámetros que nos ayuden a reconocer los límites de cohesividad entre estos. De esta hipótesis nace la pregunta:

¿Será que Existe algún parámetro establecido que sirva para determinar el límite de cohesividad entre el suelo cohesivo y suelo no cohesivo para la conformación de la Sub base?

1.3.2.- OBJETO DEL ESTUDIO.-

Realizar un análisis empírico de los suelos cohesivos y no cohesivos, para determinar parámetros de límites de cohesividad entre éstos y así realizar una comparación de los mismos.

1.3.3.- CAMPO DE ACCIÓN.-

Análisis de suelos cohesivos y no cohesivos.

1.4.- OBJETIVOS.-

1.4.1.- OBJETIVO GENERAL.-

Determinar parámetros de comparación, entre un suelo cohesivo y no cohesivo que ayuden a la toma de decisión para la conformación de una capa sub base, mediante ensayos estandarizados de laboratorio, normas y guías, que se podrá utilizar en la estabilización de suelos en la conformación de la capa de sub base, que permita tomar una decisión acertada en el trabajo estipulado.

1.4.2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS.-

- Realizar un análisis y clasificación de datos de suelos cohesivos y no cohesivos.
- Determinar el tipo de suelos mediante muestreo y justificar con criterios técnicos en base a normas establecidas.
- Comparar y establecer semejanzas y diferencias aplicadas a la capa sub base mediante ensayos estandarizados en laboratorio, como ser Granulometría de Suelos, Ensayo del Hidrómetro, Límites de Atterberg, Ensayo de compresión no Confinado.
- Establecer los límites basado en estudios detallados en laboratorio.
- Determinar el mayor número de parámetros que ayuden a establecer el comportamiento de la capa sub base mediante ensayos de Laboratorio.
- Aplicación práctica en la conformación de la capa sub base.

1.5.- ALCANCE.-

Se elaborara un análisis empírico de rangos de la compactación y clasificación de suelos procedimiento a seguir para el diseño y de las variables a tomar en cuenta por la enorme evolución del tráfico y las actividades sociales que surgen en nuestro departamento.

Luego se pretende realizar una aplicación práctica de la determinación de límites de cohesividad entre un suelo cohesivo y no cohesivo que ayuden a la toma de decisión para la conformación de una capa sub base, mediante equipos estandarizados de laboratorio, normas y guías, que se pueden utilizar en la estabilización de suelos en la capa sub bases por lo cual se podrá tomar una decisión acertada en el trabajo estipulado, determinando ventajas en costos que pudieran presentarse y optimizando tiempo.

Este problema incluye tópicos sociales, entre otros pero que están directamente relacionados con el entorno social. Es decir enfoca un aspecto de beneficio para la comunidad que necesita solucionar el problema de nuestros diseños de carpetas asfálticas ya sean rígidas ó flexibles, aumentar su calidad y vida útil.

CAPÍTULO II.

ESTADO DE CONOCIMIENTO

2.1.- GENERALIDADES DE SUELOS

2.1.1.- DEFINICION DE SUELO.-

Es común creencia que el suelo es un agregado de partículas orgánicas e inorgánicas no sujetas a ninguna organización. Pero en realidad es un conjunto definido y propiedades que varían vectorialmente. “Suelo” es un término del que hacen uso diferentes profesantes, la interpretación varía de acuerdo con sus respectivos intereses.

Para fines de obra la palabra **SUELO** representa todo tipo de material terroso, desde un relleno de desperdicio hasta areniscas parcialmente cementadas o lutitas suaves. Quedan excluidos de la definición las rocas sanas, ígneas o metamórficas y los depósitos sedimentarios altamente cementados, que no se ablanden o desintegren rápidamente por acción de la intemperie. El agua contenida juega un papel fundamental en el comportamiento mecánico del suelo que debe considerarse como parte integral del mismo. Es común creencia que el suelo es un agregado de partículas orgánicas e inorgánicas no sujetas a ninguna organización, pero en realidad es un conjunto definido y propiedades que varían vectorialmente.

“Suelo” es un término del que hacen uso diferentes profesantes, la interpretación varía de acuerdo con sus respectivos intereses. Para el Agrónomo por ejemplo la palabra se aplica a la parte superficial de la corteza, capaz de sustentar vida vegetal siendo esta interpretación demasiado restringida para el Ingeniero. Para el geólogo es todo material intemperizado en el lugar en que ahora se encuentra y con contenido de materia orgánica cerca de la superficie; esta definición peca de parcial en ingeniería, al no tomar en cuenta los materiales transportados no intemperizados y posteriormente su transporte.

Para fines de obra la palabra **SUELO** representa todo tipo de material terroso, desde un relleno de desperdicio hasta areniscas parcialmente cementadas o lutitas suaves. Quedan excluidos de la definición las rocas sanas, ígneas o metamórficas y los depósitos sedimentarios altamente cementados, que no se ablanden o desintegren rápidamente por acción de la intemperie. El agua contenida juega un papel fundamental en el comportamiento mecánico del suelo que debe considerarse como parte integral del mismo.

2.1.2.- TIPOS DE SUELOS.-

De acuerdo con el origen de sus elementos, los suelos se dividen en dos amplios grupos: suelos cuyo origen se debe a la descomposición física y / o química de las rocas, o sea los suelos inorgánicos, y suelos cuyo origen es principalmente orgánico.

2.1.2.1.- Suelo Orgánico.-

En cuanto a los suelos orgánicos, ellos se forman casi siempre *in situ*. Muchas veces la cantidad de materia orgánica, ya sea en forma de humus o de materia no descompuesta, o en su estado de descomposición, es tan alta con la relación a la cantidad de suelo orgánico que las propiedades que pudieran derivar de la porción mineral quedan eliminadas. Esto es muy común en las zonas pantanosas, en las cuales los restos de vegetación acuática llegan a formar verdaderos depósitos de gran espesor, conocidos con el nombre genéricos de *turbas*. Se caracterizan por su color negro o café oscuro, por su poco peso cuando están secos y su gran compresibilidad y porosidad. La turba es el primer paso de la conversión de la materia vegetal en carbón.

2.1.2.2.- Suelo inorgánico.-

Si en los suelos inorgánicos el producto del intemperismo de las rocas permanece en el sitio donde se formó originalmente reciben el nombre de *suelos residuales*; en contraste algunos de esos productos intemperizados pueden ser removidos del lugar de su formación dando origen a los *suelos transportados*.

2.1.2.3.- Suelos residuales.-

Estos suelos aparecen particularmente cuando los procesos químicos del intemperismo (que involucra diversos procesos naturales que resultan de la acción individual o combinada de factores tales como el viento, lluvia, heladas y cambio de temperatura) predominan sobre los físicos, lo que sucede en los terrenos llanos de las áreas tropicales. La composición de estos suelos es muy variable, con una gran diversidad tanto de tipos minerales como de tamaños de partículas. En los climas calientes, el intemperismo puede eliminar algunos minerales, dejando otros más resistentes en depósitos concentrados.

2.1.2.4.- Suelos Transportados.-

Son aquellos suelos que por medio de agentes físicos son redepositados en otros lugares, generando así los suelos sobre yacientes a otros estratos, sin relación directa con ellos. Según el agente de transporte se subdividen en las siguientes categorías.

2.1.2.5.- Aluviales o Fluviales.-

Depositados por agua en movimiento, produciendo el arrastre de materiales de gran tamaño que se van depositando en forma graduada a lo largo de su curso, correspondiendo los materiales más finos (limos y arcillas) a depósitos próximos a su desembocadura en zonas planas.

2.1.2.6.- Glaciales.-

Depositados por acción glacial, están formados por suelos heterogéneos, que van desde grandes bloques, hasta materiales muy finamente granulados, a causa de las grandes presiones desarrolladas y de la abrasión producidas por el movimiento de las masas de hielo.

2.1.2.7.- Eólicos.-

Depositados por la acción del viento, el cual puede arrastrar partículas cuyo tamaño puede variar desde limos hasta arenas gruesas; dos tipos de suelo se pueden destacar dentro de esta categoría: *El Loess* que es un depósito constituido por una mezcla uniforme de arenas finas y limos.

2.1.2.8.- Los Médanos.-

Son aglomeraciones de arena suelta arrastrada por el viento y que se vio detenida por algún obstáculo natural de la superficie del terreno.

2.1.3.- CLASIFICACIÓN DE SUELOS.-

La clasificación nos proporciona información cualitativa de las propiedades mecánicas y comportamiento de un suelo. Existen diversos sistemas de clasificación, pero nos centraremos en los dos siguientes:

- Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, creado por Casagrande e incluido en las normas de la ASTM (American Society for Testing and Materials).
- AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials).

Es evidente que un sistema de clasificación de suelos debe agruparlos de acuerdo con sus propiedades mecánicas básicas, por ser estas lo que interesa para las aplicaciones ingenieriles. A la vez, el criterio clasificador ha de ser preponderantemente de naturaleza cualitativa, puesto que un sistema que incluyera relaciones cuantitativas resultaría excesivamente engorroso y complicado.

Probablemente, lo menos que puede esperar un técnico de un sistema de clasificación es que sirva para normar su criterio respecto al suelo en cuestión, antes de que adquiera conocimientos más profundos y extensos de las propiedades del mismo; así, al usar el sistema será posible, entre otras cosas, obtener criterios para saber en que direcciones es conveniente profundizar la investigación.

A pesar de su sencillez, los criterios de clasificación puramente granulométricos resultan hoy poco apropiados, porque la correlación de la distribución granulométrica con las propiedades fundamentales (resistencia, compresibilidad, relaciones esfuerzo-deformación, permeabilidad, etc.) resulta demasiado insegura y sujeta a excepciones y casos especiales.

El sistema clasifica a los suelos finos principalmente con base en sus características de plasticidad, cuya correlación con las propiedades mecánicas básicas es consistente y confiable. Los suelos gruesos, mayores que la malla N° 200 (0.074 mm de abertura), se clasifican sobre todo con criterio granulométrico, si bien son cuidadosamente tomadas en

cuenta también las características de plasticidad de su fracción fina. No está claramente definido el tamaño máximo de los suelos que quedan comprendidos en el Sistema, pero como han de poder ser cribados, frecuentemente se fija en forma arbitraria en 7.6 cm. (3"). El Sistema Unificado nació como medio para clasificar suelos finos únicamente (menores que la malla 200, con 0.074 mm de abertura), y después fue extendido hasta incluir gravas y arenas.

a) Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

La base del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos es la Carta de Plasticidad, resultado de una investigación realizada por A. Casagrande en el laboratorio. En esta investigación se vio que, si se sitúan los suelos en un sistema coordinado que tenga el Límite Líquido en el eje de las abscisas y al Índice Plástico en el de las ordenadas, su agrupamiento no ocurre al azar sino que se agrupan de manera que en cada zona de la carta se sitúan suelos con características de plasticidad y propiedades mecánicas e hidráulicas cualitativamente definidas.

El Sistema unificado abarca tanto a los suelos gruesos como a los finos, distinguiéndolos por el cribado a través de la malla N° 200. El suelo es **fino** cuando más del 50% pasa el Tamiz N° 200.

Los tipos de suelo que establece el sistema son:

- GW: Grava bien gradada, mezclas gravosas, poco o ningún fino.
- GP: Grava mal gradada, mezclas grava – arena, poco o ningún fino.
- GM: Grava limosa, mezclas grava, arena, limo.
- GC: Grava arcillosa, mezclas grava – arena arcillosas.
- SW: Arena bien gradada.
- SP: Arena mal gradada, arenas gravosas, poco o ningún fino.
- SM: Arenas limosas, mezclas arena – limo.
- SC: Arenas arcillosas, mezclas arena – arcilla.
- ML: Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, limo arcilloso, poco plástico, arenas finas limosas, arenas finas arcillosas.

- CL: Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas magras (pulpa).
- OL: Limos orgánicos, arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.
- MH: Limos inorgánicos, suelos limosos o arenosos finos micáceos o diatomáceos (ambiente marino, naturaleza orgánica silíceo), suelos elásticos.
- CH: Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas gruesas.
- OH: Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta, limos orgánicos.
- Pt: Turba (carbón en formación) y otros suelos altamente orgánicos.

Las gravas y arenas limpias se dividen en bien graduadas o mal graduadas en función de los coeficientes C_c y C_u . Las gravas y arenas sucias se diferencian en función del índice de plasticidad y la línea A. En el caso de gravas y arenas pueden existir, además, símbolos dobles si el porcentaje de finos está entre el 5 y 12 % o si el suelo se encuentra sobre la línea A, del ábaco de plasticidad de Casagrande, y el índice de plasticidad entre 4 y 7. Una simbología corresponderá a uno de los grupos de las gravas o arenas limpias, aquella que cumpla los requisitos, y otra a uno de los grupos de las gravas o arenas con finos, el que cumpla los requisitos. Las gravas con símbolo doble podrán ser GC-GW, GM-GW, GC-GP o GM-GP. Las posibles arenas con símbolo serán SC-SW, SM-SW, SC-SP o SM-SP.

Con el Índice de Plasticidad y el Límite Líquido se obtiene la posición del suelo en el gráfico de plasticidad de Casagrande. La ecuación de la línea A es: $IP = 0.73 (LL - 20)$.

Suelos no cohesivos o granulares.- se consideran como suelos no cohesivos o granulares los que cumplen las siguientes condiciones, de acuerdo al sistema de clasificación unificada de suelos, con algunas modificaciones:

(a) Todos los materiales clasificados como GW, GP, GW-GM, GP-GM, GW-GC, GP-GC, SW, SP, SW-SM, SP-SM, SW-SC, SP-SC.

(b) Todos los materiales clasificados como GM, GC, GM-GC, SM, SC, SM-SC, en los cuales 30% o menos del peso pase por tamiz no 200 y que tengan límite líquido $WL \leq 30\%$ e Índice Plástico $IP \leq 10\%$.

Suelos cohesivos.- se consideran como suelos cohesivos todos aquellos que no cumplan con las condiciones de suelos no cohesivos o granulares.

Tabla Nro. 1 Clasificación de los suelos según la ASTM.

Descripción			Símbolo de Grupo	Criterios de Laboratorio			
				Finos(%)	Gradación	Plasticidad	Notas
Grano Grueso (mas de 50% de Tamaño mayor que la medida del Tamiz Nro. 200	Gravas mas de 50 % de la fracción gruesa es retenida por el tamiz N° 4	Gravas bien escalonadas, gravas arenosas, con escasos finos o sin ellos	GW	0-5	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$$1 < Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} D_{60}} < 3$		símbolos duales si los finos van de 5 a 12%
		Gravas pobremente escalonadas, arenosas, con escasos finos o sin ellos	GP	0-5			
		Gravas sedimentarias, gravas arenosas arcillosas	GM	>12		Por debajo de la línea A IP<4	
		Gravas arcillosas, gravas arenosas arcillosas	GC	>12		Por encima de la línea A con IP>7	
	Arena mas de 50% de la fracción gruesa pasa por el tamiz N°4	Arenas bien escalonadas, arenas con grava, con poco finos o si ellos	SW	0-5	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$$1 < Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} D_{60}} < 3$		símbolos duales si están sobre la línea A 4<IP<7
		Arenas pobremente escalonadas arenas con gravas, con pocos finos o sin ellos	SP	0-5			
		Arenas sedimentarias	SM	>12		Por debajo de la línea A IP<4	
		Arenas arcillosas	SC	>12		Por encima de la línea A con IP>7	

Descripción			Símbolo de Grupo	Criterios de Laboratorio			
				Finos(%)	Gradación	Plasticidad	Notas
Grano fino mas de 50% de tamaño menor que la medida del tamiz N° 200	Sedimentos y arcillas Limite Liquido inferior a 50	Sedimentos inorgánicos, arenas finas sedimentarias o arcillosas, con leve plasticidad	ML	Usar diagrama de plasticidad			
		Arcillas inorgánicas, sedimentarias, arenosas de baja plasticidad	CL	Usar diagrama de plasticidad			
		Sedimentos orgánicos y arcillas sedimentarias orgánicas de baja plasticidad	OL	Usar diagrama de plasticidad			
	Sedimentos y arcillas Limite Liquido superior a 50	Sedimentos orgánicos de alta plasticidad	NH	Usar diagrama de plasticidad			
		Arcillas inorgánicas de alta plasticidad	CH	Usar diagrama de plasticidad			
		Arcillas orgánicas de alta plasticidad	OH	Usar diagrama de plasticidad			

Figura Nro. 1 Equipo para la Clasificación de Suelos



b) Método AASHTO

La AASHTO, que representa a todos los departamentos de carreteras de los Estados Unidos de Norte América, ha adoptado esta clasificación, designaremos esta clasificación como “Clasificación de Suelos AASHTO”.

Los suelos se clasifican en siete grupos, basándose en la composición granulométrica, en el Límite Líquido y en el Índice de Plasticidad de un suelo. La evaluación de cada grupo, se hace por medio de su “Índice de Grupo”, el cual es calculado mediante la fórmula empírica.

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

Donde:

F = Porcentaje que pasa la malla N° 200

LL = Límite Líquido

PI = Índice de Plasticidad

También se podrá determinar el IG mediante la siguiente fórmula:

$$IG = 0,2 a + 0,005 a c + 0,01 b d$$

Donde:

$(F - 35) = a$ [es % material pasa N° 200 menor 35% (0-40)] $\begin{cases} \nearrow \text{Si } \% > 75 = 40 \\ \searrow \text{Si } \% < 35 = 0 \end{cases}$

$(F - 15) = b$ [es % material pasa N° 200 menor 15% (0-40)] $\begin{cases} \nearrow \text{Si } \% > 55 = 40 \\ \searrow \text{Si } \% < 15 = 0 \end{cases}$

$(LL - 40) = c$ [es valor de LL menor 40% (0-20)] $\begin{cases} \nearrow \text{Si } LL > 60 = 20 \\ \searrow \text{Si } LL < 40 = 0 \end{cases}$

$(PI - 10) = d$ [es valor de IP menor de 10% (0-20)] $\begin{cases} \nearrow \text{Si } IP > 30 = 20 \\ \searrow \text{Si } IP < 10 = 0 \end{cases}$

Los tipos de suelo que establece el sistema son:

- A-1-a: Principalmente gravas con o sin partículas finas de granulometrías bien definidas.
- A-1-b: Arena con o sin partículas finas de granulometrías bien definidas.
- A-2-4: Materiales granulares con partículas finas limosas.
- A-2-5: Intermedio.
- A-2-6: Materiales granulares con partículas finas arcillosas.
- A-2-7: Intermedio.
- A-3: Arena de granulometría deficiente que casi no contiene partículas finas ni gravas.
- A-4: Principalmente partículas finas limosas.
- A-5: Tipos de suelos poco frecuentes que contienen partículas finas limosas, generalmente elásticos y difíciles de compactar.
- A-6: Contienen partículas finas limosas o arcillosas con un límite líquido bajo.
- A-7-5: Las arcillas y limos más plásticos.
- A-7-6: Las arcillas y limos más plásticos.

Para la clasificación de los suelos A-4, A-5, A-6 y A-7, conocidos el IP y el LL, se debe recurrir, además, a la figura 2.2

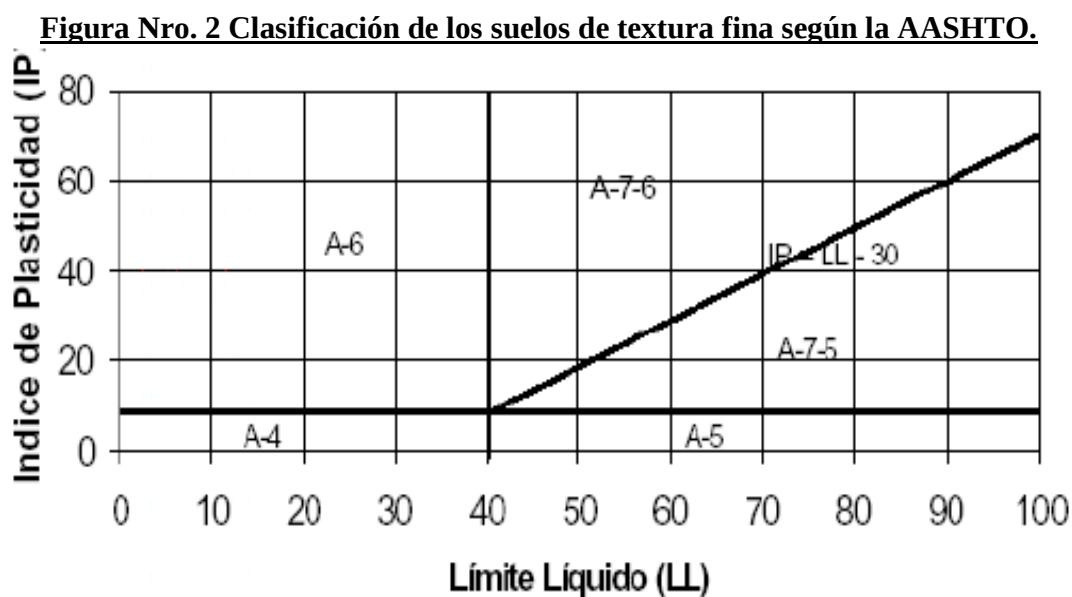


Tabla Nro. 2 Clasificación de los suelos según la AASHTO

CLASIFICACION GENERAL	MATERIALES GRANULARES (Menor del 35% pasa por el tamiz N° 200)							MATERIALES LIMO-ARCILLOSOS (Mas del 35% pasa por el tamiz N° 200)			
Grupo	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
Subgrupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
<u>Análisis granulométrico</u> <u>% que pasa el tamiz</u>											
N° 10	50 máx.										
N°40	30 máx.	50 máx.	51 máx.								
N°200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
<u>Características de la fracción que pasa por N° 40</u>											
Límite Líquido				40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min. (1)
Índice de Plasticidad (1)	6 máx.	6 máx.	No plástico	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.
Índice del Grupo (2)	0		0	0		4 máx.		8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Tipos de materiales Preponderantes	Fragmento de piedra grava y arena		Arena fina	Grava y arena limosa o arcillosa				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Valor general como cimiento	Excelente a bueno							Regular a malo			

2.2.- CONCEPTOS GENERALES.-

2.2.1.-GRAVAS.-

Las gravas son acumulaciones sueltas de fragmentos de rocas y que tienen mas de dos milímetros de diámetro. Dado el origen, cuando son acarreadas por las aguas las gravas sufren desgaste en sus aristas y son, por lo tanto, redondeadas. Como material suelto suele encontrársele en los lechos, en los márgenes y en los conos de deyección de los ríos, también en muchas depresiones de terrenos rellenadas por el acarreo de los ríos y en muchos otros lugares a los cuales las gravas han sido retransportadas. Las gravas ocupan grandes extensiones, pero casi siempre se encuentran con mayor o menor proporción de cantos rodados, arenas, limos y arcillas. Sus partículas varían desde 7.62 cm (3") hasta 2.0 mm.

La forma de las partículas de las gravas y su relativa frescura mineralógica dependen de la historia de su formación, encontrándose variaciones desde elementos rodados a los poliédricos.

2.2.2.-ARENAS.-

La arena es el nombre que se le da a los materiales de granos finos procedentes de la denudación de las rocas o de su trituración artificial, y cuyas partículas varían entre 2 mm y 0.05 mm de diámetro.

El origen y la existencia de las arenas es análoga a la de las gravas: las dos suelen encontrarse juntas en el mismo depósito. La arena de río contiene muy a menudo proporciones relativamente grandes de grava y arcilla. Las arenas estando limpias no se contraen al secarse, no son plásticas, son mucho menos compresibles que la arcilla y si se aplica una carga en su superficie, se comprimen casi de manera instantánea.

2.2.3.-ARCILLAS.-

Se da el nombre de arcilla a las partículas sólidas con diámetro menor de 0.005 mm y cuya masa tiene la propiedad de volverse plástica al ser mezclada con agua. Químicamente es un silicato de alúmina hidratado, aunque en pocas ocasiones contiene también silicatos de hierro o de magnesio hidratados. La estructura de estos minerales es, generalmente,

cristalina y complicada y sus átomos están dispuestos en forma laminar. De hecho se puede decir que hay dos tipos clásicos de tales láminas: uno de ellos del tipo siliceo y el otro del tipo aluminico.

Las arcillas son agregados de partículas microscópicas y submicroscópicas derivadas de la descomposición química que sufren los constituyentes de las rocas. Son suelos plásticos dentro de límites extensos en contenido de humedad y cuando están secos son duros, sin que sea posible despegar polvo de una pasta frotada con los dedos. Tienen, además, una permeabilidad extremadamente baja.

El tipo silice se encuentra formada por un átomo de silice rodeado de cuatro átomos de oxígeno. La unión entre partículas se lleva a cabo mediante un mismo átomo de oxígeno. Algunas entidades consideran como arcillas a las partículas menores a 0.002 mm.

El tipo aluminico está formada por un átomo de aluminio rodeado de seis átomos de oxígeno y de oxígeno e hidrógeno.

2.2.4.- LIMOS.-

Los limos son suelos de granos finos con poca o ninguna plasticidad, pudiendo ser limo inorgánico como el producido en canteras, o limo orgánico como el que suele encontrarse en los ríos, siendo en este último caso de características plásticas. El diámetro de las partículas de los limos está comprendido entre 0.05 mm y 0.005 mm. Los limos sueltos y saturados son completamente inadecuados para soportar cargas por medio de zapatas. Su color varía desde gris claro a muy oscuro. La permeabilidad de los limos orgánicos es muy baja y su compresibilidad muy alta. Los limos, de no encontrarse en estado denso, a menudo son considerados como suelos pobres para cimentar.

2.2.5.- GRANULOMETRÍA.-

Se denomina clasificación granulométrica o granulometría, a la medición y gradación que se lleva a cabo de los granos de una formación sedimentaria, de los materiales sedimentarios, así como de los suelos, con fines de análisis, tanto de su origen como de sus propiedades mecánicas, y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica.

La granulometría ofrece un medio sencillo y evidente para clasificar suelos. En verdad, basta dividir un suelo en sus fracciones granulométricas para tenerlo “clasificado”, si previamente se conviene en dar una denominación particular a las distintas fracciones, según queden comprendidas en una determinada gama de tamaños. Los sistemas de clasificación granulométrica, tan popular en el pasado, tuvieron esa génesis tan simple, y los términos grava, arena, limo y arcilla aun tienen para muchos ingenieros un significado relacionado únicamente con el tamaño de las partículas constitutivas de esos suelos o fracciones.

Los ensayos de granulometría tienen por finalidad determinar en forma cuantitativa la distribución de las partículas del suelo de acuerdo a su tamaño.

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

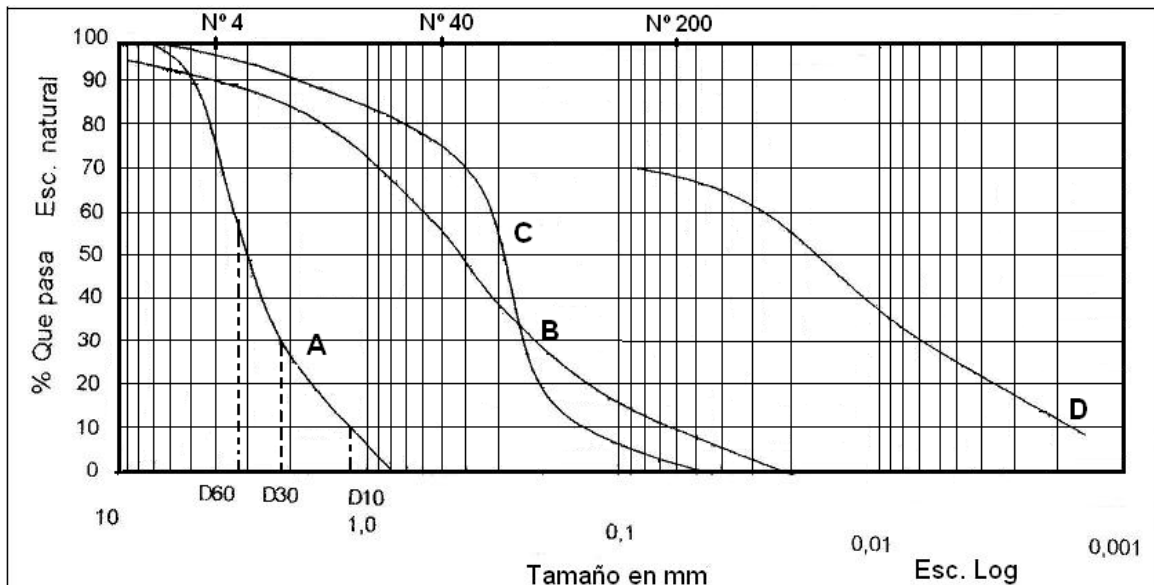
Si bien se realiza una distribución de tamaños, esto no incide en la forma que puedan tener los granos de suelo, ya que al retener material en una malla se observa diferentes tamaños y el porcentaje que se calcula está basado estrictamente en los pesos que se retiene en la malla, referido al peso total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

El factor fundamental del ensayo es la curva granulométrica, que se dibuja en una escala logarítmica, ya que de no ser así, la representación gráfica tendría que usar una escala demasiado grande.

2.2.5.1.- REPRESENTACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA

Siempre que se cuente con suficiente número de puntos, la representación gráfica de la distribución granulométrica debe estimarse preferiblemente en tablas.

Figura 3 Curvas granulométricas de algunos suelos



- A) Arena muy uniforme.
- B) Suelo bien graduado.
- C) Suelo mal graduados.
- D) Arcilla.

La grafica granulométrica suele dibujarse con porcentajes como ordenadas y tamaños de las partículas como abscisas. Las ordenadas se refieren a porcentaje, en peso, de las partículas menores que el tamaño correspondiente.

La forma de la curva da inmediata idea de la distribución granulométrica del suelo.

La curva granulométrica de un suelo uniforme se caracteriza por tener una parte importante casi vertical, puede ser en la parte de las gravas, arenas.

La curva granulométrica de un suelo bien graduado es tendida; decrece paulatinamente desde los diámetros de suelo grueso hasta los finos. Es una curva relativamente suave, cubre un amplio rango de partículas.

Una muestra mal graduada, la forma de la curva granulométrica no es suave, y puede tener, mucha pendiente, saltos, o ser muy vertical o puede ser horizontal por partes.

Como una medida simple de la uniformidad de un suelo, Allen Hazen propuso el coeficiente de uniformidad.

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (2.1)$$

En donde:

D_{60} : Tamaño tal, que el 60%, en peso, sea igual o menor

D_{10} : Llamando por Hazen diámetro efectivo; es el tamaño tal que se igual o mayor que el 10%, en peso, del suelo.

En realidad, la relación (2.1) es un coeficiente de no uniformidad, pues su valor numérico decrece cuando la uniformidad aumenta. Los suelos $C_u < 3$ se recomienda muy uniforme; aún las arenas naturales muy uniformes rara vez presentes $C_u < 2$.

Para definir la graduación, se define el coeficiente de curvatura del suelo con la expresión:

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} * D_{10}} \quad (2.2)$$

D_{30} se define análogamente que los D_{10} y D_{60} anteriores. Esta relación tiene un valor entre 1 y 3 en suelos bien graduados, con amplio margen de tamaños de partículas y cantidades apreciables de cada tamaño intermedio.

2.2.5.2.- ANÁLISIS MECÁNICO

Consiste en la determinación de los porcentajes de grava, arena, limo, arcilla, que hay en una cierta masa de suelo.

Si el material es granular, los porcentajes de grava, arena pueden determinarse fácilmente mediante él.

En cambio, si el suelo contiene un porcentaje apreciable de material fino (limo + arcilla) que pasa el tamiz N° 200, habrá que utilizar métodos basados en el principio de sedimentación.

Generalmente, el análisis granulométrico para suelos finos, limosos, limo arcillosos se basa como se ha dicho en el principio de sedimentación siendo el método del hidrómetro el más conocido y usado este método consiste en introducir en la suspensión un hidrómetro especial a determinados tiempos luego de inicio de la sedimentación. Para cada tiempo, el hidrómetro mide la gravedad específica de la suspensión a una determinada profundidad.

Este método demanda mucho tiempo en su realización y exige una serie de operaciones.

2.2.6.-SUBBASE.-

Es la capa de material seleccionado que se coloca encima de la subrasante. La sub base es la capa anterior que es generalmente la primera que se pone sobre el terreno natural.

Es la capa granular localizada entre la sub-rasante y la base en pavimentos flexibles o rígidos y ocasionalmente, sobre todo en pavimentos rígidos, se puede prescindir de ella.

Tiene por objeto:

- a) Servir de capa de drenaje al pavimento.
- b) Controlar o eliminar en lo posible cambios de volumen, elasticidad y plasticidad perjudiciales que pudiera tener el material de la sub rasante.
- c) Controlar la ascensión capilar del agua proveniente de las napas freáticas cercanas protegiendo así al pavimento contra los hinchamientos que se producen en épocas de helada. Este hinchamiento es causado por el congelamiento del agua capilar, fenómeno que se observa especialmente en los suelos limosos donde la ascensión capilar del agua es considerable.

El material de la sub-base debe ser seleccionada y tener mayor capacidad que el terreno de fundación compactado, este material puede ser grava, arena, grava o granzón, escoria de los altos hornos y residuos de material de cantera.

En algunos casos es posible emplear para la sub-base material de la sub rasante mezclado con cemento, etc.

El material ha de tener las características de un suelo A1 o A2 aproximadamente. Su límite líquido debe ser inferior al 35% y su índice plástico no mayor a 6 .El CBR no podrá bajar del 15%.

Si la función principal de la sub-base es de servir de capa de drenaje, el material a emplearse debe ser granular y la cantidad de material fino que pasa el tamiz No 200 no deberá ser mayor al 8%.

2.2.6.1.- FUNCIÓN DE LA CAPA SUB-BASE.-

- Prevenir la intrusión de los finos del suelo de sub-rasante en las capas de base, para lo cual se debe especificar materiales de graduación relativamente densa para este propósito.
- Minimizar los daños por efecto de las heladas y en estos casos se debe especificar materiales con alto porcentaje de vacíos.
- Ayuda a prevenir la acumulación de agua libre dentro de la estructura del pavimento. En ese caso se debe especificar material de libre drenaje y colectores para evacuar el agua.
- Proveer una plataforma de trabajo para los equipos de construcción.
- Dar soporte a las capas estructurales siguientes. Se podrá usar partículas limpias, con suelos tipo grava arenosa, arenas arcillosas o suelos similares, que cumplan los siguientes requisitos:
 - Inorgánicos.
 - Libres de materia vegetal.
 - Libres de escombros.
 - Libres de basuras.
 - Libres de material congelado.
 - Sin presencia de terrones.
 - Sin presencia de trozos degradables.

Además, se debe cumplir las siguientes características:

Límite Líquido (LL)	25%	Max.
Índice de Plasticidad (IP)	6%	Max.
Poder de soporte (CBR)	40%	Min.
Desgaste de los Ángeles	60%	Max.
Finos que pasa malla N° 200	15%	Max.

La confección de la sub-base deberá ejecutarse en plantas procesadoras fijas o móviles, que aseguren la obtención de material que cumpla con los requisitos establecidos. El material deberá acopiarse en canchas habilitadas especialmente para este efecto, de manera que no se produzca contaminación ni segregación de los materiales.

La sub-base debidamente preparada se extenderá sobre la plataforma del camino, incluyendo las áreas de bermas, mediante equipos distribuidores autopropulsados, debiendo quedar el material listo para ser compactado sin necesidad de mayor manipulación para obtener el espesor y perfil transversal deseado. La sub-base deberá construirse por capas de espesor compactado no superior a 0.3 m ni inferior a 0.12 m. Espesores superiores a 0.3 m se extenderán y compactarán en capas. El material extendido debe ser de una granulometría homogénea, no debiendo presentar bolsones o nidos de materiales finos o gruesos. Ningún material deberá ser colocado sobre nieve o sobre una capa blanda, barrosa o helada.

Una vez esparcido el material, éste deberá compactarse mediante rodillos preferentemente del tipo vibratorios y riegos adicionales para terminar con rodillos lisos o neumáticos. El rodillado deberá progresar en forma gradual desde el punto bajo de los costados hacia el centro de la vía en construcción, traslapando cada pasada con la precedente en por lo menos la mitad del ancho del rodillo.

Cualquier área de la sub-base terminada que presente un espesor compactado menor al espesor indicado, deberá corregirse mediante el escarificado de la superficie, agregando material aprobado, perfilando, recompackando y terminando conforme a lo especificado.

No se recomiendan los parches superficiales de un área, sin que se escarifique la superficie de manera de lograr la ligazón correcta de material agregado.

Las áreas con un nivel superior a la tolerancia especificada, serán rebajadas, regadas y compactadas nuevamente hasta cumplir con lo establecido. La subbase terminada, deberá quedar uniformemente lisa y paralela a la superficie terminada de la calzada, recomendándose no tener variaciones en ningún lugar de mas de 2 cm por sobre o bajo los perfiles indicados en los planos.

La sub-base deberá mantenerse en su longitud total, mediante el uso de motoniveladoras y rodillos aprobados para recibir la capa inmediatamente superior.

2.2.6.2.-COMPACTACION DE LA CAPA SUB-BASE.-

Para todos los tipos de tráfico la sub-base ha de compactarse hasta alcanzar un mínimo del 97 % de la densidad de laboratorio obtenida según los métodos ASTM-D-1559, D-1560 o ASSHO-T-16.

La sub base es la capa anterior que es general mente la primera que se pone sobre el terreno natural.

2.2.7.- COMPACTACIÓN

2.2.7.1.- CONCEPTO DE COMPACTACION.-

Se denomina compactación de suelos al proceso mecánico por el cual se busca mejorar las características de resistencia, compresibilidad y esfuerzo-deformación de los mismos; por lo general el proceso implica una reducción más o menos rápida de los vacíos, como consecuencia de la cual en el suelo ocurren cambios de volumen de importancia,

fundamentalmente ligados a pérdida de volumen de aire, pues por lo común no se expulsa agua de los huecos durante el proceso de compactación.

No todo el aire sale del suelo, por lo que la condición de un suelo compactado es la de un suelo parcialmente saturado.

Es un proceso de la disminución o minimización de espacios vacíos por medio de la acción mecánica de los equipos de compactación. Durante este proceso se puede mejorar las características del suelo, con un aumento simultáneo de densidad. El suelo como un elemento que recibe diferentes estructuras construídas por el hombre como por ejemplo calles, estacionamientos, edificaciones, por lo que con la compactación de un suelo se busca.

I.- Mayor capacidad de carga. Al compactar un suelo se obtiene mayor densidad del mismo, debido a lo anterior se obtiene una mejor distribución de fuerzas que actúan directamente sobre el suelo como consecuencia de la carga que transmite la carga, lo que nos da una mayor capacidad de carga.

II.- Mayor estabilidad. Al construirse alguna edificación sobre un suelo sin compactar o compactado en forma desigual, el suelo por la acción de la carga, se asienta en forma desigual, lo cual ocasionara grietas en la estructura, y en un momento dado la inestabilidad de la construcción.

III.- Disminución de la contracción del suelo. Al existir espacios de aire en el suelo, el agua penetra con facilidad, por lo que se produce un fenómeno de dilatación y contracción del suelo, el cual se separa de la estructura, modificando las condiciones iniciales de diseño.

IV.- Disminución de la permeabilidad. La permeabilidad de un suelo depende de la granulometría del suelo y de su densidad, un suelo bien compactado impide el paso del agua, evitando así deformaciones en el suelo, modificando las características de diseño, como es el caso de los baches.

V.- Disminución de asentamiento. Cuando un suelo está mal compactado, en esos espacios se puede llenar de agua, el cual con bajas temperaturas se congela, y en los cambios de

estado puede producir agrietamiento en la estructura de los pavimentos, bases de estructuras, muros etc.

2.2.7.2.- PRUEBAS DE COMPACTACIÓN

Históricamente, los primeros métodos en el sentido de la técnica actual, es el debido a R.R. Proctor y es conocido hoy en día como (Prueba Proctor Estándar).

2.2.7.2.1.- PRUEBA PROCTOR ESTÁNDAR

La prueba consiste en compactar el suelo en cuestión en tres capas dentro de un molde de dimensiones y forma especificadas, por medio de golpes de un pisón, tamicen especificado, que se deja caer libremente desde una altura prefijada.

El Molde: es un cilindro de 943.3 cm³ de capacidad, de 10.2 cm. (4 pulgadas) de diámetro y 11.7 cm. (4.59 pulgadas) de altura provisto de una extensión desmontable de igual diámetro y 5 cm. (2 pulgadas) de altura. El molde puede fijarse a una base metálica con tornillos de mariposa.

El Pisón: es de 2.5 Kg. (5.5 libras) de peso y consta de un vástago en cuyo extremo inferior hay un cilindro metálico de 5 cm. (2 pulgadas) de diámetro. Los golpes se aplican dejando caer el pison desde una altura de 30.5 cm. (12 pulgadas).

Dentro del molde el suelo debe colocarse en tres capas que se compactan dando 25 golpes, repartidos en el área del cilindro, a cada una de ellas.

$$Ee = \frac{N * n * W * h}{V} \quad (2.3)$$

En donde:

Ee = Energía especifica

N = Numero de golpes por capa

n = Numero de capas de suelo

W = Peso del pisón

h = Altura de caída libre del pisón

V = Volumen del suelo compactado.

2.2.7.2.2.- PRUEBA PROCTOR ESTÁNDAR MODIFICADA

Con el desarrollo de rodillos pesados y su uso en la compactación de campo la Prueba Proctor Estándar fue modificada para representar mejor las condiciones de campo. A esta se le llama *Prueba Proctor Modificada*, una modificación aumentando la energía de compactación de modo que conservando el número de golpes por capa se elevo el número de estas de 3 a 5 aumentando el peso del pisón y la altura de caída del mismo. Las nueva dimensiones son 4.5 Kg. (10 libras) y 45.7 cm. (18 pulgadas) respectiva y aproximadamente. La energía específica de compactación es ahora de 27.2 Kg.*cm./cm³ (56.200 libras*pie/pie³), sobre la base de que el molde utilizado es el mismo que en la Prueba Proctor Estándar.

Figura Nro. 4 Equipo usado para la Prueba Proctor Modificada



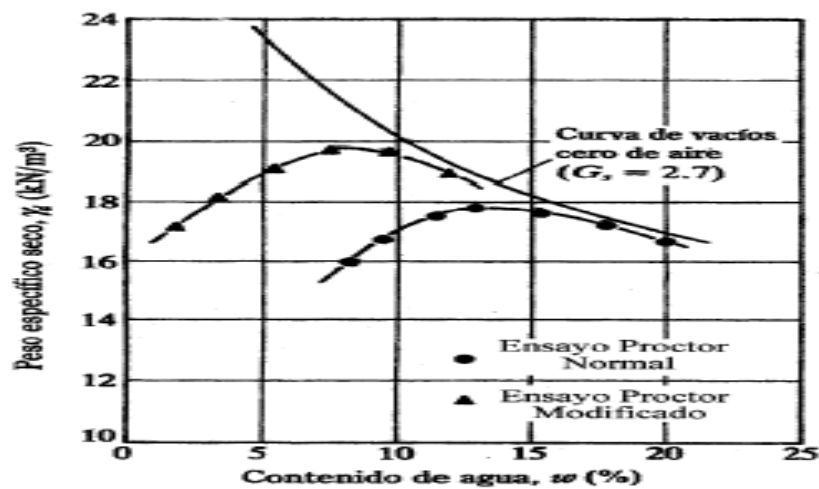
2.2.7.3.- FACTORES QUE AFECTAN EL PROCESO DE LA COMPACTACIÓN DE LOS SUELOS

1.- NATURALEZA Y TIPO DE SUELO: Los granulares consiguen alcanzar mayores densidades que los de textura fina y por tanto tendrán mayor resistencia y capacidad de soporte. Interesan, pues, suelos con alto contenido en gravas y arenas por su mayor densidad y resistencia.

2.- CONTENIDO DE HUMEDAD: el Ingeniero R. Proctor demostró que para contenidos de humedad crecientes y una determinada energía de compactación, la densidad lograda aumenta ya que el agua actúa como lubricante entre las partículas del suelo, incrementándose la densidad hasta un cierto punto en el cual al seguir añadiendo agua, la densidad empieza a decrecer; el agua ha dejado de desplazar aire y como es incompresible, empieza a desplazar las partículas de suelo, incrementando el volumen y disminuyendo la densidad. Para cada suelo existe un contenido en humedad que proporciona la máxima densidad seca. Este es el contenido de humedad óptimo que es el que se debe utilizar en obra cuando se va a compactar un suelo.

3.- ENERGÍA Y MÉTODO DE COMPACTACIÓN EMPLEADO: al aumentar la energía de compactación se obtiene un aumento de la densidad seca máxima y una disminución del contenido óptimo de humedad, lo que produce que la curva Proctor de compactación se traslade hacia la izquierda y hacia arriba. Esta circunstancia que se produce en el ensayo de Proctor modificado, en el cual se emplea una mayor energía de compactación que en el normal, se aprecia en la siguiente figura.

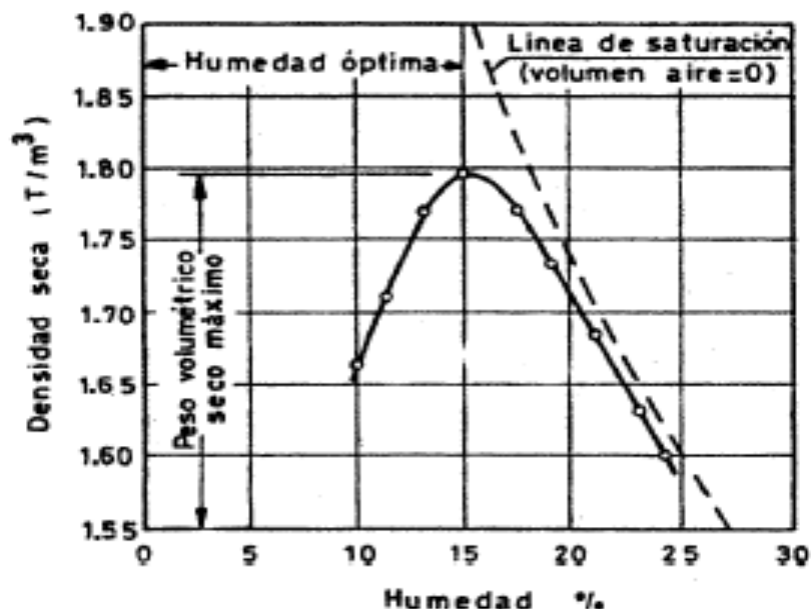
Figura Nro. 5 Efecto de la energía de compactación en la curva Proctor



2.2.7.4.- CURVA DE COMPACTACIÓN

Como ya se dijo, Proctor visualizó la correlación entre los resultados de un proceso de compactación y el aumento del peso volumétrico seco del material compactado, y estableció la costumbre, que aun hoy se sigue, de juzgar los resultados de un proceso de compactación con base en la variación del peso volumétrico seco que se logre; también comprendió el fundamental papel que desempeña el contenido de agua del suelo en la compactación que de él se obtiene, con un cierto procedimiento. Relacionando estos aspectos que considero básicos, estableció la costumbre, que también ha subsistido hasta la actualidad, de representar la marcha de un proceso de compactación por medio de una grafica en la que se haga ver el cambio de peso volumétrico seco al compactar al suelo con diversos contenidos de agua, utilizando varias muestras del mismo suelo, cada una de la cuales proporciona un punto de la curva.

Figura Nro. 6 Curva típica de compactación



2.2.7.5.- PROCESOS DE COMPACTACIÓN DE CAMPO

La energía que se requiere para compactar los suelos en el campo se puede aplicar mediante cualquiera de las cuatro formas que adelante se enumeran, las cuales se diferencian por la naturaleza de los esfuerzos aplicados y por la duración de los mismos. Estas formas son:

- a) Por amasado
- b) Por presión
- c) Por impacto
- d) Por vibración

Con las tres primeras formas se aplican casi todos los métodos convencionales en uso desde hace varias décadas. La cuarta se refiere a técnicas de implantación más reciente, pero que se han popularizado mucho en los últimos tiempos. Como es natural no representan todos los modos posibles de entregar energía de compactación a un suelo, sino que simplemente son las soluciones comerciales e industriales que hasta el momento se han desarrollado para resolver el problema.

2.2.7.6.- PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS SUELOS COMPACTADOS

a) ARENAS Y SUELOS GRUESOS

Como suele suceder en muchos ámbitos de la Mecánica de Suelos, los resultados de aplicar compactación a suelos gruesos son mucho más claros y consistentes que los que se tienen con materiales finos. Algunas precisiones de interés se hacen en lo que sigue y otras, también de valor práctico. El comportamiento esfuerzo-deformación de una arena suelta y una arena compacta difieren radical, pero gradualmente, según es conocimiento general.

Las arenas fuertemente compactadas muestran comportamientos netamente frágiles, en tanto que el mismo material suelto ostenta comportamientos claramente plásticos. Esta diferencia en comportamiento puede explicarse en términos de estructuración, pues en las arenas compactas cualquier esfuerzo tangencial aplicado ha de vencer no sólo a la resistencia friccionante entre los granos, sino obligarlos a girar y moverse, rodando unos sobre otros.

Al vencer los dos efectos combinados se tiene resistencia máxima, pero una vez vencido el segundo efecto se facilita mucho el movimiento relativo y la resistencia disminuye mucho con rapidez; en la arena muy suelta, la estructuración inicial es inestable y es fácil comenzar el movimiento relativo a bajo esfuerzo cortante aplicado, pero los movimientos inducidos van densificando el conjunto, produciendo estructuras más cerradas y, correspondientemente, mayores resistencias, que se mantienen prácticamente uniformes a deformaciones crecientes, por lo que la resistencia ya no varía. La resistencia final, obtenida tras deformaciones muy grandes, es la misma en arenas sueltas y compactas, pues aunque por etapas diferentes, la arena llega a la misma estructura. Todo lo anterior lleva al hecho práctico de que la resistencia máxima de una arena muy compacta es mucho más grande que la que llega a tener una arena suelta, pero también es menos confiable, pues si la arena se obliga a deformaciones subsecuentes mayores que la que corresponde a esa

resistencia máxima, la resistencia del conjunto disminuye cuanto más compacta haya estado la arena.

- **ESTABILIZACION MECANICA EMPLEANDO SUELO GRANULAR.-** Se ha referido principalmente, a los tratamientos encaminados a proporcionar estabilidad a los suelos naturales que se van encontrando a lo largo de la cama de los caminos, adicionándoles pequeñas cantidades de materiales de otras procedencia. En la estabilización mecánica de los de los suelos granulares a menudo se acarrea de otros lugares todo el material empleado.

La estabilización mecánica depende de la cohesión y de la fricción interna que pueda desarrollarse mezclando adecuadamente distintos tipos de suelos. Sabemos que los suelos de grano grueso, como las gravas y arenas, poseen fricción interna relativamente alta, mientras que los suelos de partículas finas, como las arcillas, tienen escasa fricción interna, excepto cuando están secos.

Con la fricción interna sola no imparte toda la estabilidad que se necesita en un camino, ya que las partículas pueden moverse libremente, se separan de la mezcla y se reducirá la magnitud de fricción interna que pudieran desarrollar, es necesario agregar un agente aglutinante que mantenga firmemente unidas a las partículas gruesas.

Los suelos arcillosos poseen bastante cohesión cuando su contenido de humedad se encuentra dentro de ciertos límites, y por lo tanto pueden emplearse como aglutinantes para mantener unidas las gravas y la arena.

- **ESTABILIZACION ARENA – ARCILLA.-** La mezcla de arena con arcilla es un material estabilizado en forma económica cuando el suelo natural es arena con muy poco aglutinante

2.3.- CONCEPTO DE SUELO COHESIVOS

Son suelos que poseen características de cohesión y plasticidad. Dichos suelos pueden ser granulares con parte de arcilla o limo orgánico, que les importen cohesión y plasticidad, o pueden ser arcillas o limos orgánicos sin componentes granulares.

Suelo cohesivo, son suelos arcillosos y limosos o sea material de grano muy fino.

Cuando existe una atracción entre partículas y cuando interactúa el agua con el suelo, produciendo una masa que permanece unida y se deforma plásticamente para diferentes contenidos de humedad, entonces se llaman SUELOS COHESIVOS.

Normalmente, los suelos cohesivos tienen un porcentaje de finos superior al 15% y este valor se usará en esta Guía como identificador del carácter cohesivo. Como característica física, podemos apreciar que los suelos cohesivos son moldeables y de escasa resistencia friccional. Su forma es en general laminar o filiforme, con predominio de uno o dos de sus lados respecto de su espesor. Su comportamiento ante las cargas, y por ende sus deformaciones, son absolutamente disimiles en comparación a los suelos granulares. En estos, su resistencia está directamente relacionada con su compactación (se refiere la disposición de las partículas del suelo, con mayor o menor porcentajes de vacíos entre ellas) y con la dureza de sus granos constituyentes. Es obvio que a mayor compactación (es decir mejor nivel de acomodamiento) las deformaciones de ese suelo bajo carga, serán menores que en otros menos compactados.

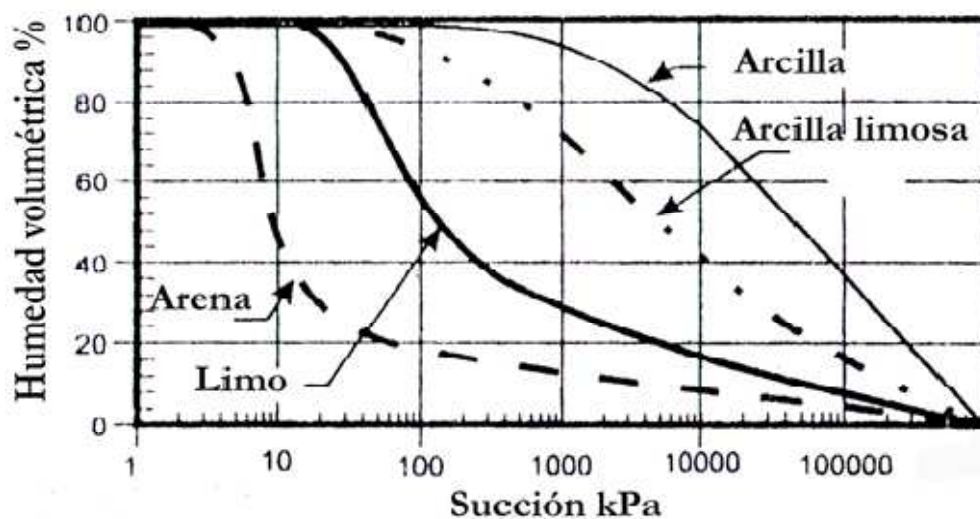
Lo de suelo granular es un concepto bastante difuso, y más bien coloquial, para definir una característica granulométrica, mientras que el adjetivo cohesivo se refiere a una propiedad de resistencia mecánica.

Con la granulometría puedes establecer una separación entre fracciones por tamaño, pero un porcentaje elevado de material inferior al 0.08 UNE no te asegura un comportamiento cohesivo, ya que puede estar constituido por limos medios o gruesos carentes de lo que se conoce como cohesión, así como presentar una permeabilidad relativamente elevada.

Para definir un suelo como cohesivo, lo primero, y de Perogrullo, es que tenga resistencia al corte bajo tensión normal nula. Dicho en otras palabras, que tenga una cierta resistencia a tracción. El ejemplo está en comparar un montoncillo de arena seca con un pegote de arcilla. La arena no ofrece resistencia a la separación de sus partículas, porque carecen de cohesión, mientras que para romper la arcilla necesitas un cierto esfuerzo.

Otro aspecto definitorio es la permeabilidad. Un suelo arenoso es muy permeable, por lo que el agua escapa rápidamente a través de sus poros al someterlo a deformación, no generando sobrepresiones intersticiales. Por el contrario, un suelo arcilloso suele tener muy baja permeabilidad, por lo que el agua drena muy lentamente, y aparecen sobrepresiones intersticiales. En el primer caso, podrás utilizar métodos de cálculo elásticos o elastoplásticos para calcular asientos, mientras que en el segundo deberás acudir al edómetro.

Figura Nro. 7 Cuadro de relación Humedad Volumétrica /Succión kPa



2.4.- CONCEPTO DE SUELOS NO COHESIVOS

Suelo no cohesivo (granular), son suelos compuestos de; rocas, piedras, gravas y arenas, o sea suelos de granos gruesos.. En el caso de suelos granulares el proceso de compactación más adecuado resulta el de la vibración, pero debe tenerse en cuenta, como ya se sabe, que el comportamiento de los suelos gruesos depende mucho de la granulometría. Los suelos no cohesivos son los formados por partículas de roca sin ninguna cementación, como la arena y la grava.

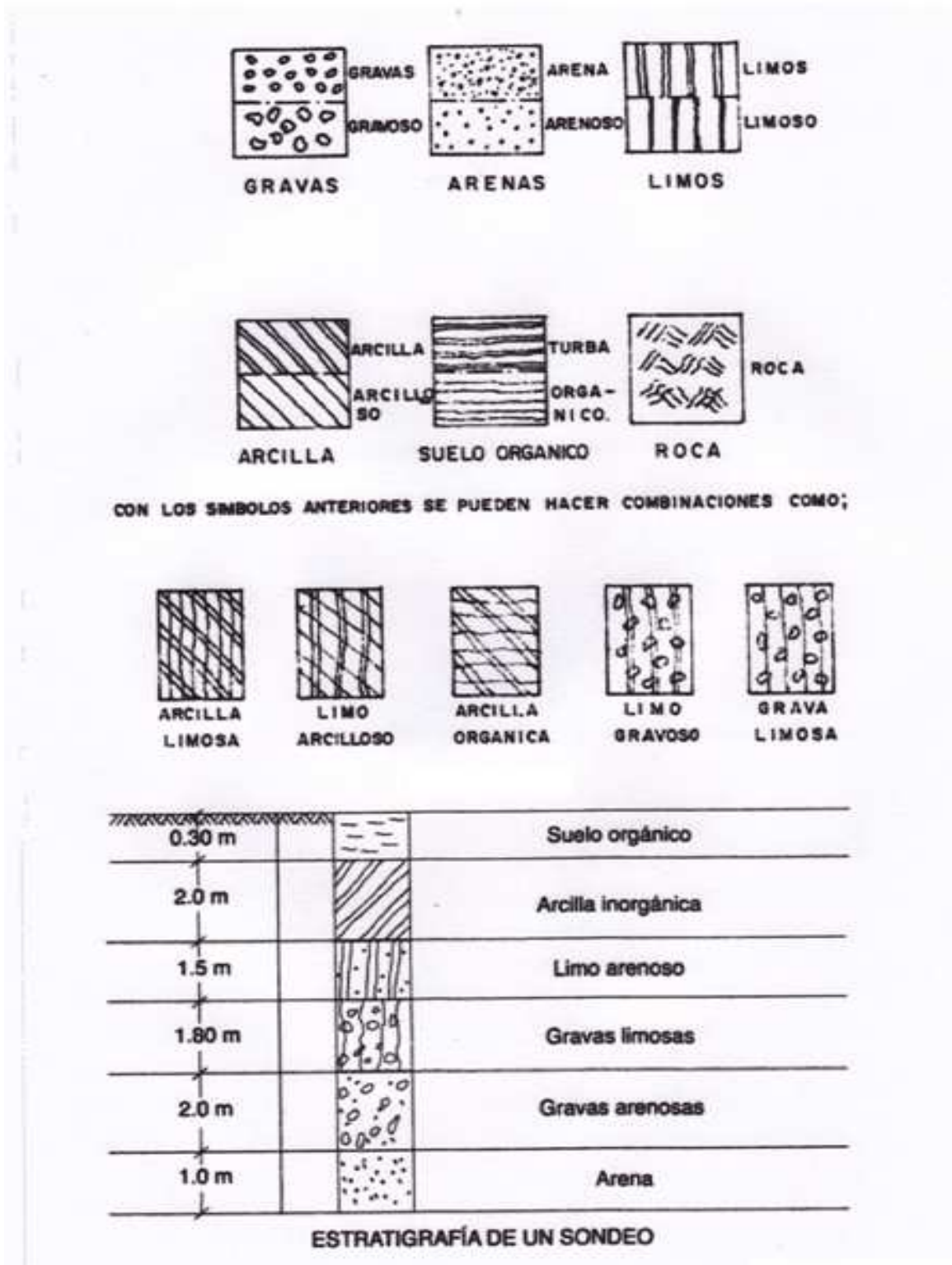
Ejemplo de suelos cohesivos y no cohesivos.

Arcilla: Cohesivo

Grava: No cohesivo

Arena: No cohesivo

Figura Nro. 8 Suelos cohesivos y no cohesivos



2.5.- ENSAYOS DE LABORATORIO A REALIZAR

2.5.1.- GRANULOMETRÍA DE SUELOS.-

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

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

El factor fundamental del ensayo es la curva granulométrica, que se dibuja en una escala logarítmica, ya que de no ser así, la representación gráfica tendría que usar una escala demasiado grande.

2.5.1.1.- OBJETIVO DE LA GRANULOMETRIA.-

Es obtener el porcentaje de material que pasa en cada tamiz, para luego graficar una curva granulométrica y así tener una visión de la distribución del tamaño de los granos presentes en una masa de suelo.

2.5.1.2.- PROCEDIMIENTO DE LA GRANULOMETRIA.-

En primer lugar la muestra debe ser representativa, por lo que se tiene que usar el cuarteador mecánico, este proceso se repite hasta obtener la cantidad necesaria para la realización del ensayo.

Las cantidades ensayadas, dependerán del tipo de suelo que tienen, así por ejemplo: para suelos granulares se estima aproximadamente unos 5000 gramos, para suelos arcillosos sin presencia de piedras puede variar entre 300 a 500 gramos.

- Se procede a secar el material, hasta que los granos no se encuentren pegados o formando grumos, en caso de existir grumos hay que buscar la forma de desintegrarlos, pero sin triturar las partículas verdaderas del suelo, para ello se pueden ayudar con rodillos de madera, u otro objeto parecido.
- Los tamices para disponer para la parte gruesa del material son: 2 ½", 2", 1 ½", 1", ¾", 3/8", N°4, N°10.
- Los tamices para la parte fina del suelo son: N°40 y N° 200.
- El método consiste en hacer pasar el material por los tamices de acuerdo a la disposición mencionada, para ello se tiene que realizar un agitado de los tamices por el tiempo de 15 minutos.
- El tamizado puede ser manual o mecánico utilizando el Rop-Tap, aunque luego hay que realizar una revisión para observar si es que ya no pasa material por cada malla.
- Si el tamizado es manual, es muy práctico utilizar bandejas en las que se depositará cada material que pasa, para luego estos identificarlos de acuerdo a la malla que se haya utilizado.
- Proceder a realizar el pesaje del material retenido en cada malla y lo que pasa en el tamiz N°200.

Partiendo por el tamiz N°10.

- Una vez realizada la granulometría del grueso, se tiene un saldo de muestra que pasa el tamiz N° 10. Este, a veces, puede ser en una cantidad considerablemente grande, por lo que resulta moroso tamizar tanto material fino, por lo que se realiza la siguiente propuesta.
- Del material que pasa el tamiz N° 10, se considera pesar solamente 300 gramos, siempre referido al peso total utilizado en el ensayo.
- Luego este material se hace pasar por el tamiz N°40 y N°200, respectivamente.
- Pesar los materiales retenidos en las mallas, además del material retenido en la base o pasante del N° 200.
- Este trabajo se tiene que corregir en la planilla, columna del porcentaje que pasa, con la siguiente regla de tres.

$$\%Tci = \frac{Ti * T_{10}}{100} (5 - 1)$$

Donde:

$\%Tci$ = Porcentaje que pasa corregido en cada malla del fino.

Ti = Porcentaje que pasa calculado para cada tamiz en el fino.

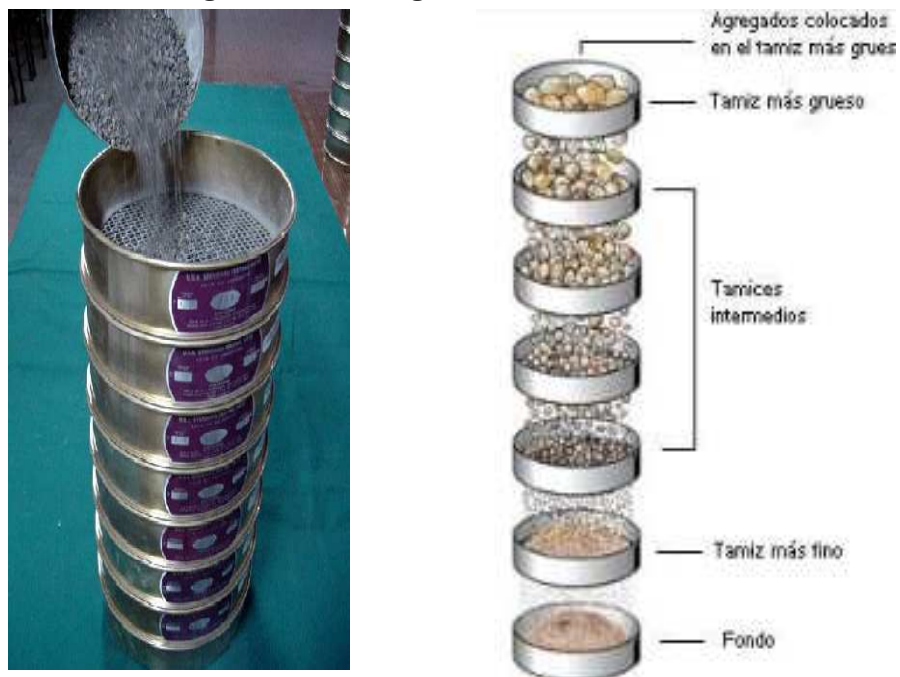
T_{10} = Porcentaje que pasa en el Tamiz N° 10 (Dato nexa al peso total)

- Si la parte fina del material contiene todavía grumos pequeños, entonces se debe realizar el ensayo por el método del lavado.

Método del lavado.

- Este método, se usa para el material que pasa el Tamiz N°10, donde también se puede realizar con una representación menor del peso total. Esto quiere decir que se puede usar un peso de 300 gramos aproximadamente.
- La muestra hay que dejar reposar en agua hasta que ésta sature completamente, haciendo que el suelo tenga características de barro o lodo. Generalmente se usa un tiempo cómodo de 24 horas o más, si es que se quiere un tiempo más corto utilizar 5 horas.
- Sin perder material se introduce la muestra en la malla N°200, Luego con ayuda del agua se puede lavar el suelo, hasta que el agua pasante tome aspectos más claros sin sedimentación.
- Luego el material que se retiene en la malla N° 200, disponer dentro de un recipiente para realizar un secado del suelo y proceder a retamizar por las mallas N°40 y N°200.
- Pesar el material retenido en cada malla dispuesta para el fino.
- De la misma manera se tienen que corregir los porcentajes que pasan de acuerdo a la fórmula mencionada en el párrafo anterior.

Figura Nro. 9 Juego de Tamices



2.5.2.- LIMITES DE ATTERBERG.-

La consistencia de los suelos cohesivos varía aumentando o disminuyendo la humedad. Estos límites se denominan límites de Atterberg, los cuales permiten establecer el contenido de agua con el cual se produce cambio de estado, es decir miden la consistencia o plasticidad del suelo fino (Bajo la malla Nro. 4)

La consistencia de un suelo varía con la humedad, Atterberg: mediante analogías definió los estados de consistencia de un suelo, observando que la misma muestra desde un grado de saturación hasta un grado seco tiene los siguientes estados.

ESTADOS Y LIMITES DE CONSISTENCIA

ESTADO	DESCRIPCIÓN	LIMITES
Líquido	Mantequilla Blanda Líquido viscoso	LL
Plástico	Mantequilla Blanda a Masilla dura; se deforma pero no se agrieta	LP
Semi Sólido	Queso, se deforma permanentemente y se agrieta	LC
Sólido	Caramelo duro, falla al deformarse	

Cada límite se caracteriza por un determinado contenido de humedad, o sea que cuando nos refiramos a cualquier límite, nos estamos refiriendo básicamente a un contenido de humedad.

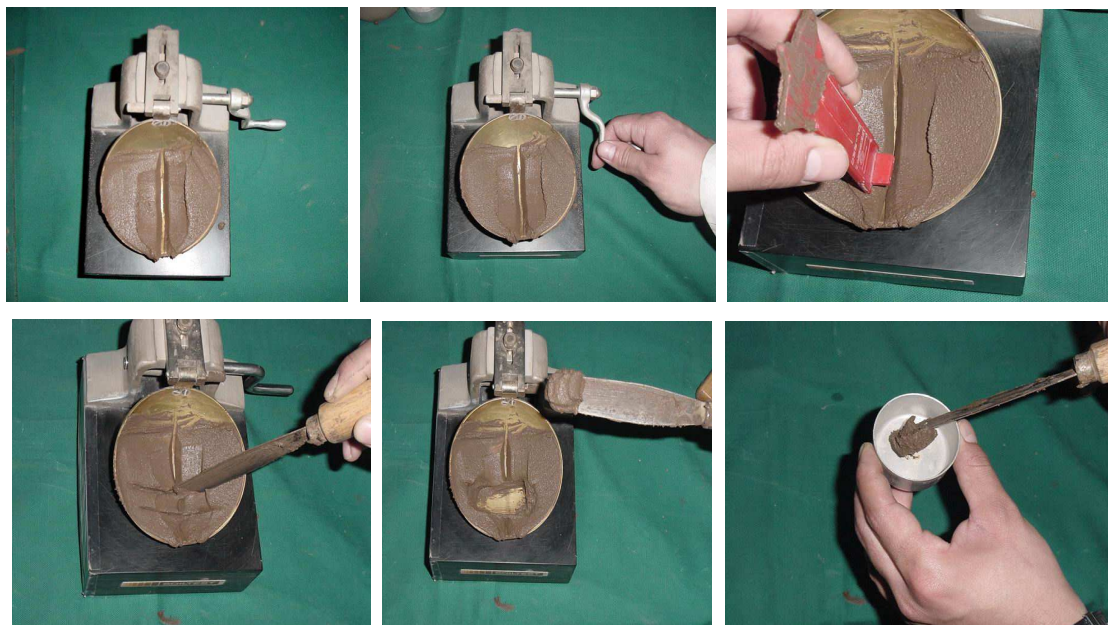
2.5.2.1.- LIMITE LÍQUIDO (LL).-

Humedad del suelo en el límite entre el estado semilíquido y plástico. Es un contenido de humedad (%), que presenta un suelo cuando a los 25 golpes del aparato de Casagrande, se cierra la abertura hecha con un ranurador que se encuentra normalizado.

Figura Nro. 10 Aparato de Casagrande



Figura Nro. 10 Aparato de Casagrande



2.5.2.2.- LIMITE PLÁSTICO (LP).-

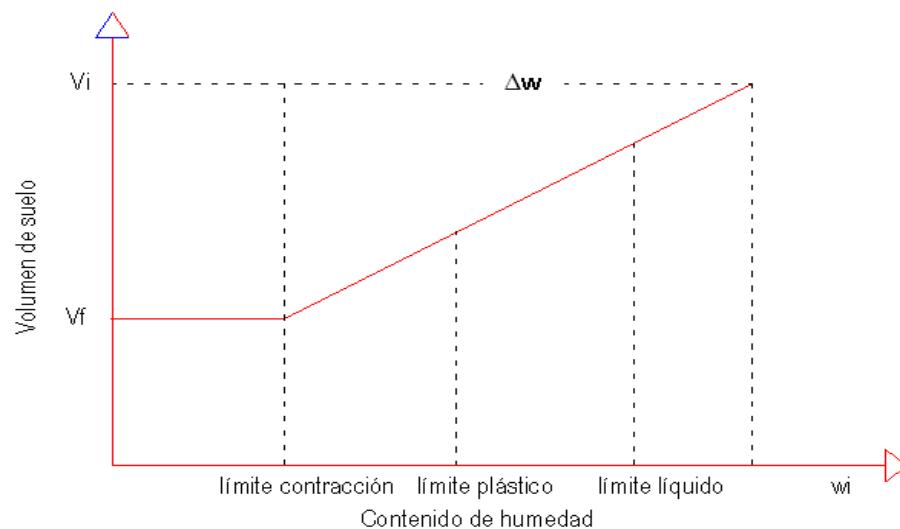
Humedad del suelo en el límite entre plástico y semisólido. Es un contenido de humedad (%), que tiene el suelo cuando el mismo empieza a producir grietas y desmoronamientos, al construir con la mano pequeños cilindros de 3 mm de diámetro.

Figura Nro. 11 Determinación de Limite plastico



2.5.2.3.- LÍMITE DE CONTRACCIÓN (LS).-

Humedad máxima para el cual una reducción de la humedad no causa variación en el volumen. Es un contenido de humedad (%), cuando alcanza su volumen mínimo teórico al secarse viniendo de la saturación.



2.5.3.- ANÁLISIS POR HIDRÓMETRO.-

El análisis de hidrómetro es un método ampliamente utilizado para obtener un estimado de la distribución granulométrica de suelos cuyas partículas se encuentran desde el tamiz No. 200 (0,075 mm.) hasta alrededor de 0,0001 mm. Los datos se presentan en un gráfico semi logarítmico de porcentaje de material más fino contra diámetro de los granos y puede combinarse con los datos obtenidos en el análisis mecánico del material retenido, ósea mayor que el tamiz No. 200.

La ley fundamental del que se hace uso en el procedimiento del hidrómetro es debida a Stokes y proporciona una relación entre la velocidad de sedimentación de las partículas del suelo en un fluido y el tamaño de las partículas de suelo en el mismo fluido y el tamaño de esas partículas.

Esta relación puede establecerse empíricamente haciendo observaciones con microscopios o bien procedimientos teóricos.

Para obtener la velocidad de caída de las partículas se utiliza el hidrómetro, este aparato se desarrollo originalmente para determinar la gravedad específica de una solución pero alterando su escala se puede utilizar para leer otros valores.

Al mezclar una cantidad de suelo con agua y un pequeño contenido de un agente dispersante para formar una solución. El agente dispersante llamado también defloculante se añade a la solución para neutralizar las cargas sobre las partículas más pequeñas de suelo, que a menudo tiene carga negativa.

El hidrómetro se hunde en una suspensión hasta que su peso se equilibre con el peso de la suspensión desplazada por él. El hidrómetro mide así el peso específico promedio de la suspensión desplazada. La distancia de la superficie libre de la suspensión al centro del bulbo, indicada por la lectura del hidrómetro

El ensayo de hidrómetro permite determinar el tamaño de las partículas utilizando la velocidad de sedimentación de una masa de suelo en suspensión, el dispositivo utilizado para efectuar dicha medida se conoce como hidrómetro o densímetro, el cual permite leer el cambio de la densidad de la solución. Los cálculos basados en estas lecturas nos permiten obtener la distribución del tamaño de los granos del suelo y luego dibujar la curva granulométrica.

Figura Nro. 12 Análisis Granulométrico (método de hidrómetro)



Se requiere el peso en su estado seco, pudiendo haber variantes de acuerdo a las características del suelo ensayado, así por ejemplo.

- Suelos para clasificación (arenosos, pasa N°10) 75 a 100 gramos.
- Limos y arcillas (pasan el tamiz N°200) 50 a 60 gramos.

Hay dos opciones para obtener el peso de la muestra, que se seque antes del ensayo o después del ensayo. Si la muestra se seca antes del ensayo, entonces se anota el valor de peso de suelo seco en la planilla.

Si la muestra se seca después del ensayo, hay que transportar toda la suspensión a un recipiente para luego introducirlo al horno, luego hay que restar el peso del defloculante, este punto se explicará con más detalle en el procedimiento.

2.5.3.1.- PROCEDIMIENTO PARA LA REALIZACION DEL HIDROMETRO.-

- 1 Se Preparan 125 ml. de solución (agua con defloculante), el porcentaje del defloculante es aproximado en un 4% en peso de lo que pesa 1000 ml. de agua.

- 2 La muestra se coloca en un recipiente y se mezcla con los 125 ml de solución al 4% de defloculante.
- 3 Se deja a la muestra sedimentar durante 24 horas, luego transferir a un vaso donde se pueda batir el material, en este vaso se puede aumentar agua hasta $\frac{2}{3}$ del volumen total del vaso, se comienza el batido durante un periodo de 1 minuto (cuando el tiempo de sedimentación es una hora hay que batir durante 5 minutos).
- 4 Se vacía el contenido del vaso de mezclado, a una probeta graduada (que se llamará probeta de sedimentación), y aumentar agua común hasta llegar a los 1000 ml.
- 5 Se preparara una probeta patrón de control de 1000 ml. que contenga 125 ml. De solución dispersante al 4%, (se puede usar parte de la solución descrita en el paso “ 1 “). Verificar que las temperaturas sean iguales en ambas probetas.
- 6 La probeta de sedimentación se tapa con un tapón (utilizar la palma de la mano si es necesario), para evitar que durante la agitación de la misma tenga pérdidas, la agitación tiene que ser alrededor de 1 minuto.
- 7 Luego de sacudir la probeta, poner sobre la mesa e introducir el hidrómetro tomando lecturas en los siguientes intervalos de tiempo 1, 2, 3, 4 minutos, realizando igualmente lecturas del termómetro.
- 8 Colocar el hidrómetro y el termómetro en el recipiente de control (el cual debe encontrarse a una temperatura que no difiera en más de 1°C del suelo). Tomar una lectura para corrección de menisco en el hidrómetro dentro del cilindro de control.
- 9 Es necesario que en cada medición se evite la agitación en la introducción del hidrómetro, colocándolo tan suavemente como para requerir alrededor de 10 seg. en realizar dicha operación.

El proceso se vuelve a repetir, comparando los resultados de las mediciones anteriores, si existe concordancia hay que seguir incrementando los tiempos de mediciones de tiempo de 8, 15, 30, 60 minutos

2.5.4.- CURVA DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA.-

La gráfica de la distribución granulométrica suele dibujarse con porcentajes como ordenadas y tamaños de las partículas como abscisas. Las ordenadas se refieren a

porcentaje, en peso, de las partículas menores que el tamaño correspondiente. La representación en escala semilogarítmica resulta preferible a la simple presentación natural, pues en la primera se dispone de mayor amplitud en los tamaños finos y muy finos, que en escala natural resultan muy comprimidos.

La forma de la curva da idea inmediata de la distribución granulométrica del suelo; un suelo constituido por partículas de un solo tamaño estará representado por una línea vertical, una curva muy tendida indica gran variedad en tamaños (suelo bien graduado)

A partir de la curva de distribución granulométrica, se puede obtener diámetros característicos tales como el D10, D85, D60, etc

➤ **Coefficiente de uniformidad.**

Es la relación entre el diámetro correspondiente al 60% y al 10% más fino, respectivamente, considerados desde la curva granulométrica.

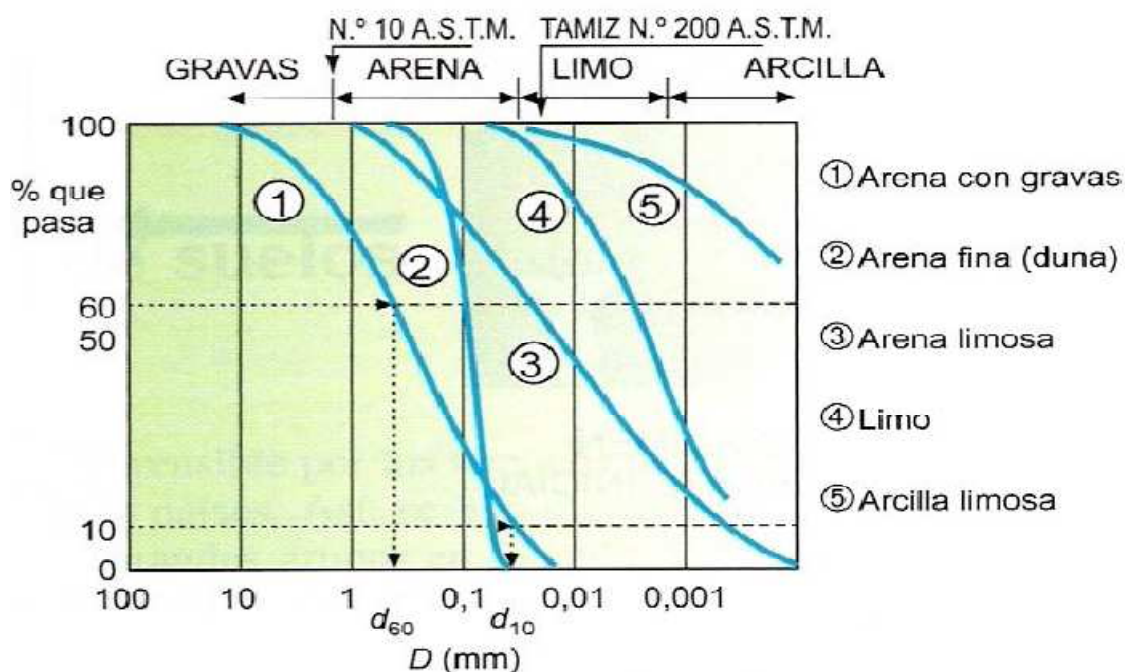
$$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

➤ **Coefficiente de curvatura**

Este coeficiente de uniformidad, es un valor que decrece cuando incrementa la uniformidad.

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

Figura Nro. 13 Curvas granulométricas



2.5.5.- CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Dada la gran variedad de suelos que se encuentran en la naturaleza, La mecánica de suelos desarrollo sistemas adecuados, para determinar posibles clasificaciones de los suelos. Estos sistemas están basados estrictamente a las características más importantes que determinan los suelos.

2.5.5.1.- Clasificación AASHTO.

El sistema de clasificación de suelos de la "American Association of State Highway and Transportation Officials" es el más utilizado actualmente y se basa en las prestaciones de suelos utilizados en la práctica para construir carreteras.

Tabla Nro. 3 Sistema de clasificación AASHTO

Clasificación	Materiales granulares (35% o menos del total pasa el tamiz N° 200)						Materiales Limo Arcillosos (más del 35 % del total pasa el tamiz N° 200)			
Clasificación de grupo	A - 1	A - 3	A - 2				A - 4	A - 5	A - 6	A - 7
	A-1-a A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
Porcentaje de material que pasa el tamiz N° 10 N° 40 N° 200	50 máx. 30 máx. 50 máx. 15 máx. 25 máx.	51min 10máx	35máx	35máx	35máx	35máx	36min	36min	36min	36min
Características de la Fracción que pasa el tamiz N° 40 LL: IP:	6 máx.	NP	40máx 10máx	41min 10máx	40máx 11min	40min 11min	40máx 10máx	41min 10máx	40máx 11min	41min 11min
Índice de grupo	0	0	0		4 máx.		8 máx.	12máx	16 máx.	20máx

2.5.5.2.- El índice de grupo

Fundado en una fórmula que tiene en cuenta el tamaño de la partícula, y los índices Límite Líquido e Índice de plasticidad. El índice del grupo indica la idoneidad de un suelo determinado para construir explanaciones. El índice de un grupo igual a "0" indica un material bueno mientras que un índice igual a "20" indica un material deficiente.

$$IG = 0.2a + 0.005ac + 0.01bd$$

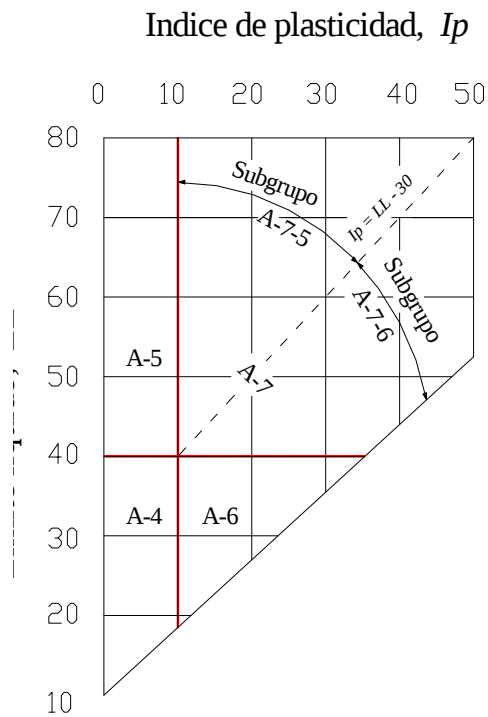
Donde: a = % Pasa N° 200 – 35 %

b = % Pasa N° 200 – 15 %

$c = \text{Límite Líquido} - 40 \%$

$d = \text{Índice de Plasticidad} - 10 \%$

El índice de grupo siempre tiene que llevarse a un valor entero.



2.5.5.3.- Sistema unificado de clasificación de suelos SUCS

La forma original de éste sistema fue propuesto por Casagrande en 1942, para usarse en la construcción de aeropuertos emprendida por el cuerpo de Ingenieros del Ejército durante la segunda Guerra Mundial, hoy en día, es ampliamente usado por los ingenieros.

Este sistema fue creado para la clasificación de suelos en la Construcción de Aeropuertos, aunque en el mundo se utiliza en casi todas las obras civiles.

El método también considera dividir al suelo en dos partes, (grueso y fino), la división la realiza el Tamiz N° 200.

El primer grupo se encuentran las gravas, arenas o suelos gravosos arenosos con poco o nada de material fino (limo y arcilla), son designados de la siguiente manera:

G: grava **C:** arcilla

S: arena **O:** limos y arcillas organicas

M: limo **L:** baja y media plasticidad

W: bien gradada **H:** alta plasticidad

P: pobremente gradada

Pt: turbas y fangos

De acuerdo a esta simbología, se pueden agrupar de la siguiente manera.

Grupos GW y SW.

Se tratan de suelos bien graduados, que contienen poco o casi nada de finos, tienen una alta capacidad de drenaje de aguas.

Grupos GP y SP.

Son suelos que se encuentran mal graduados, vale hacer notar que la clasificación unificada, considera que un suelo que presente uniformidad en sus granos, es mal graduado.

Grupos GM y SM.

Considerados suelos con presencia relevante de limo inorgánico o arena fina. Contienen plasticidad baja a media.

Grupos GC y SC.

Suelos que contienen arcillas que se consideran de media a alta plasticidad

Segundo Grupo, Se encuentran los suelos finos, limosos o arcillosos, de baja o alta compresibilidad, son designados de la siguiente manera.

M = Limo inorgánico o arena muy fina.

C = Arcilla

O = Limos, arcillas y mezclas con alto contenido de material orgánico.

L = Baja a mediana compresibilidad. ($LL < 50\%$)

H = Alta compresibilidad. ($LL > 50\%$)

Grupos CL y CH.

Indican los suelos arcillas inorgánicas de baja compresibilidad ($LL < 50\%$ $I_p > 7\%$) y las arcillas inorgánicas de alta compresibilidad ($LL > 50\%$).

Grupos ML y MH.

Son limos inorgánicos de baja y alta compresibilidad, esta calificación incluyen a las arcillas inorgánicas.

Grupos OL y OH.

Se trata de arcillas con alto porcentaje de material orgánico, haciendo que el límite líquido crezca.

Grupos Pt.

Este grupo se refiere a la turba vegetal, extremadamente compresible, los límites líquidos generalmente se encuentran entre 300% y 500%, los índices de plasticidad entre 100% y 200%.

Caso frontera para gravas.

GW – GM	El porcentaje que pasa la malla N° 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GW y GM.
GW – GC	El porcentaje que pasa la malla N° 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GW y GC.
GP – GM	El porcentaje que pasa la malla N° 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GP y GM.
GP - GC	El porcentaje que pasa la malla N° 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GP y GC.

Caso frontera para arenas.

SW – SM	El porcentaje que pasa la malla N° 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SW y SM.
SW – SC	El porcentaje que pasa la malla N° 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SW y SC.
SP – SM	El porcentaje que pasa la malla N° 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SP y SM.
SP - SC	El porcentaje que pasa la malla N° 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SP y SC.

Una vez que se encontraron los símbolos, la clasificación no se encuentra completa si es que no se define literalmente los grupos de suelos, de tal manera se muestran a partir de la siguiente hoja, la forma correcta de completar la Clasificación de suelos por el Método del Sistema Unificado.

Tabla Nro. 5 Tablas para definir literalmente los grupos de suelos

Símbolo	% de grava o arena	Nombre de Grupo
GW	< 15% de arena (menos del 15% es arena)	Grava bien Graduada
	>=15% de arena	Grava bien Graduada
GP	< 15% de arena	Grava mal graduada
	>=15% de arena	Grava mal graduada con arena
GW - GM	< 15% de arena	Grava bien graduada con limo
	>=15% de arena	Grava bien graduada con limo y arena
GW - GC	< 15% de arena	Grava bien graduada con arcilla (arcilla limosa)
	>=15% de arena	Grava bien graduada con arcilla y arena
GP - GM	< 15% de arena	Grava mal graduada con limo
	>=15% de arena	Grava mal graduada con limo y arena.
GP - GC	< 15% de arena	Grava mal graduada con arcilla (arcilla limosa)
	>=15% de arena	Grava mal graduada con arcilla y arena
GM	< 15% de arena	Grava limosa
	>=15% de arena	Grava limosa con arena
GC	< 15% de arena	Grava arcillosa
	>=15% de arena	Grava arcillosa con arena
GC - GM	< 15% de arena	Grava limo arcillosa
	>=15% de arena	Grava limo arcillosa con arena
SW	< 15% de grava	Arena bien graduada
	>=15% de grava	Arena bien graduada con grava
SP	< 15% de grava	Arena mal graduada
	>=15% de grava	Arena mal graduada con grava
SW - SM	< 15% de grava	Arena bien graduada con limo
	>=15% de grava	Arena bien graduada con limo y grava
SW - SC	< 15% de grava	Arena bien graduada con arcilla
	>=15% de grava	Arena bien graduada con arcilla y grava
SP - SM	< 15% de grava	Arena mal graduada con limo
	>=15% de grava	Arena mal graduada con limo y grava
SP - SC	< 15% de grava	Arena mal graduada con arcilla
	>=15% de grava	Arena mal graduada con arcilla y grava
SM	< 15% de grava	Arena limosa
	>=15% de grava	Arena limosa con grava
SC	< 15% de grava	Arena arcillosa
	>=15% de grava	Arena arcillosa con grava
SC - SM	< 15% de grava	Arena limo arcillosa
	>=15% de grava	Arena limo arcillosa con grava

2.5.5.4.- Correlación entre los dos sistemas de clasificación.

1) Correlación desde el SUCS hacia AASHTO

Grupos de suelos en SUCS.	COMPARACION DE GRUPOS DE SUELOS EN EL SISTEMA AASHTO		
	Más Probable	Posible	Posible pero improbable
GW	A -1 - a	-	A - 2 - 4, A -2- 5, A -2 - 6, A -2 - 7
GP	A -1 - a	A - 1 - b	A - 3, A - 2 - 4, A - 2 - 5, A - 2 - 6, A - 2 - 7
GM	A -1 - b, A - 2 - 4 A -2- 5, A -2 - 7	A - 2 - 6	A - 4, A - 5, A - 6, A - 7 - 5, A - 7 - 6, A -1 - a
GC	A - 2 - 6, A - 2 - 7	A - 2 - 4, A - 6	A - 4, A -7 - 6, A -7 - 5
SW	A -1 - b	A -1 - a	A - 3, A - 2 - 4, A - 2 - 5 A -2 - 6, A - 2 - 7
SP	A - 3, A -1 - b	A -1 - a	A - 2 - 4, A - 2 - 5, A - 2 - 6, A - 2 - 7
SM	A -1 - b, A - 2 - 4, A - 2 - 5, A - 2 - 7	A - 2 - 6, A - 4, A - 5	A - 6, A -7 - 5, A -7 - 6, A -1 - a
SC	A - 2 - 6, A - 2 - 7	A - 2 - 4, A - 6, A - 4, A -7 - 6	A -7 - 5
ML	A - 4, A -5	A - 6, A -7 - 5	-
CL	A - 6, A -7 - 6	A - 4	-
OL	A -4, A - 5	A - 6, A -7 - 5, A -7 - 6	-
MH	A -7 - 5, A - 5	-	A -7 - 6
CH	A -7 - 6	A -7 - 5	-
OH	A -7 - 5, A - 5	-	A -7 - 6
Pt	-	-	-

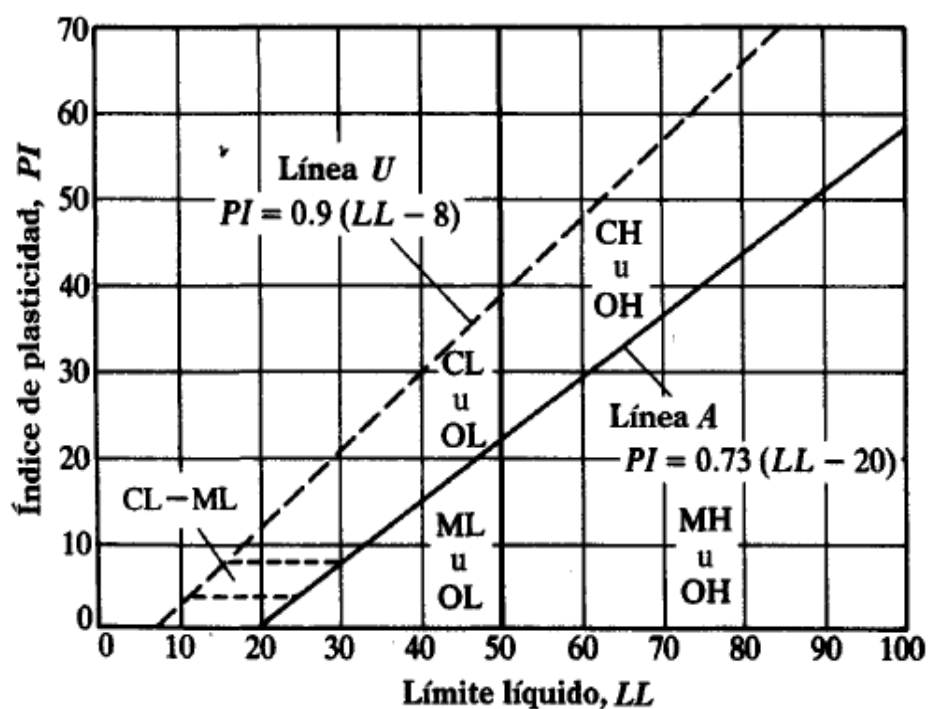
2) Correlación desde AASHTO a SUCS

Grupo de suelos en AASHTO	COMPARACIÓN DE GRUPOS DE SUELOS EN EL SISTEMA UNIFICADO		
	Más Probable	Posible	Posible pero improbable
A -1 - a	GW, GP	SW, SP	GM, SM
A -1 - b	SW, SP, GM, SM	GP	-
A - 3	SP	-	SW, GP
A -2 - 4	GM, SM	GC, SC	GW, GP, SW, SP
A -2 - 5	GM, SM	-	GW, GP, SW, SP
A -2 - 6	GC, SC	GM, SM	GW, GP, SW, SP
A -2 - 7	GM, GC, SM, SC	-	GW, GP, SW, SP
A - 4	ML, OL	CL, SM, SC	GM, GC
A - 5	OH, MH, ML, OL	-	SM, GM
A - 6	CL	ML, OL, SC	GC, GM, SM
A - 7 - 5	OH, MH	ML, OL, CH	GM, SM, GC, SC
A - 7 - 6	CH, CL	ML, OL, SC	OH, MH, GC, GM, SM

2.5.5.5.- Carta de plasticidad

Casagrande estudio la relación entre el índice de plasticidad respecto al límite líquido en una amplia variedad de suelos naturales. Como base de los resultados de pruebas, propuso la carta de plasticidad

Figura Nro. 14 Carta de plasticidad



2.5.6.- COMPACTACIÓN.-

Compactar es la operación previa, para aumentar la resistencia superficial de un terreno sobre el cual deba construirse una carretera y otra obra. Aplicando una cantidad de energía la cual es necesaria para producir una disminución apreciable del volumen de hueco del material utilizado.

El suelo, como cualquier elemento natural, posee un equilibrio entre los diversos factores que lo influyen. Un cambio de este equilibrio puede provocar una alteración física, química o biológica. La compactación es la principal causa de alteración del suelo.

La compactación es uno de los varios procedimientos de mejora las propiedades de un suelo que interviene en construcción. Por sus características, dentro de los procedimientos de mejora del terreno, se define como un método mecánico basado en la expulsión del aire que ocupa los poros del suelo y en la reducción rápida del índice de vacíos a humedad constante. Se aplica en la construcción de rellenos artificiales como presas, terraplenes, caminos, etc. y en algunas ocasiones a terrenos naturales, como es el caso de las cimentaciones sobre arenas sueltas. El conocimiento de las propiedades mecánicas de los materiales compactados y de las condiciones de trabajo de los mismos en la estructura que se construye son indispensables para dimensionarla y asegurar su estabilidad. Por esta razón se han desarrollado procedimientos y técnicas experimentales de laboratorio e in situ que han tratado de reproducir los procesos de compactación reales. El objetivo básico de la compactación de un suelo es la obtención de un nuevo material (suelo compactado) que tenga un comportamiento adecuado para su aplicación específica.

La compactación genera en el suelo deformaciones permanentes que modifican sus propiedades originales causando, entre otros, los efectos siguientes:

- Densificación del suelo (aumento de la densidad seca)
- Aumento de la resistencia mecánica
- Aumento de la rigidez

- Reducción de la permeabilidad
- Reducción de la erosionabilidad

Figura Nro. 15 Equipo de Compactación

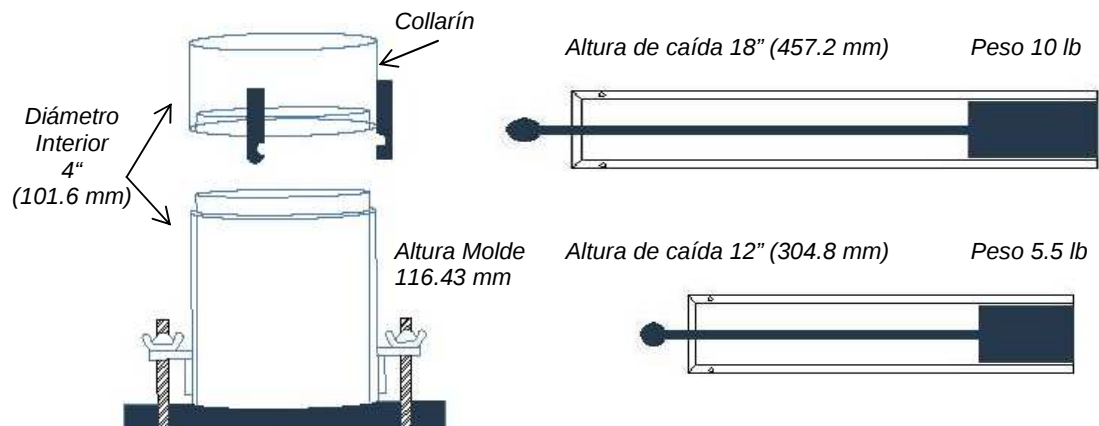
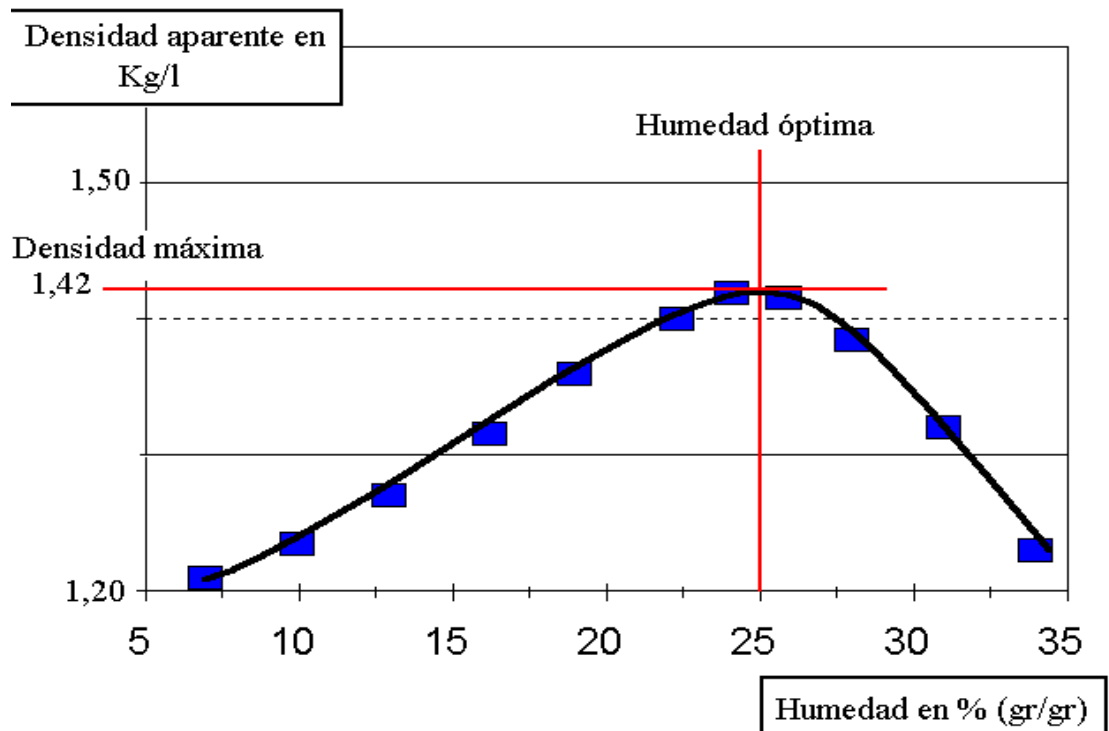


Figura Nro. 16 Curva de compactación



2.5.6.1.- EQUIPO DE COMPACTACIÓN.-

- Molde de metal de 944 cm³. (Estandar T-99)
- Molde de 2124 cm³(modificada T-180)
- Collarín movable.
- Base metálica con mecanismo de ajuste.
- Martillo de 5 lb, y altura de caída de 12”
- Enrasador metálico.
- 5 bandejas con capacidad de 3.5 Kg.(T-99)
- 5 bandejas con capacidad de 6.5 Kg.(T-180)
- Probeta graduada de 1000 cc.
- Horno de temperatura 105 – 110°C.
- Balanza de 0.1 y 0.01 gr. de aproximación
- Poruñas y otras menores.

2.5.6.2.- PROCEDIMIENTO DE COMPACTACIÓN.-

La muestra debe estar suelta y disgregada, preferiblemente seca, es mejor conocer la granulometría del material, por que dependerá de ella la elección del método adecuado para la realización ya sea del proctor estándar o del modificado.

Se puede recomendar también, que para suelos arcillosos siempre se debe compactar con el proctor de T – 99.

Es necesario conocer la humedad inicial, para dar inicio al control de agua que se agregará al suelo.

Para el T-99, se debe preparar aproximadamente 15 a 20 Kg, de suelo, para el T-180 de 30 Kg como mínimo.

Se divide el suelo en cinco fracciones iguales y homogéneas en su humedad.

A cada fracción se le incrementará un pequeño porcentaje de agua, para ir cambiando su densidad de acuerdo a los cambios de humedad.

METODOS DE COMPACTACIÓN.

Tabla 6: Especificación para la prueba Proctor Estándar (basadas en las 698-91 de la ASTM).

Concepto	Método A	Método B	Método C
Diámetro del molde	101.6 mm	101.6 mm	152.4 mm
Volumen del molde	943.3 cm ³	943.3 cm ³	2124 cm ³
Peso del Pisón	24.4 N	24.4 N	24.4 N
Altura de caída del Pisón	304.8 mm	304.8 mm	304.8 mm
Número de golpes del pisón por capa de suelo	25	25	56
Número de capas	3	3	3
Energía de compactación.	591.3 KN-m/m ³	591.3 KN-m/m ³	591.3 KN-m/m ³
Suelo por usarse	Porción que pasa la malla N°4 (4.75 mm). Se usa si 20% o menos por peso de material es retenido en la malla N° 4	Porción que pasa la malla de 9.5 mm. Se usa si el suelo retenido en la malla N° 4 es más del 20%, y 20% o menos por peso es retenido en la malla de 9.5 mm.	Porción que pasa la malla de 19 mm. Se usa si más de 20% por peso de material es retenido en la malla de 9.5 mm, y menos de 30% por peso es retenido en la malla de 19 mm.

Tabla 7: Especificación para la Prueba Proctor Modificado (basadas en las 698-91 de la ASTM).

Concepto	Método A	Método B	Método C
Diámetro del molde	101.6 mm	101.6 mm	152.4 mm
Volumen del molde	943.3 cm ³	943.3 cm ³	2124 cm ³
Peso del Pisón	44.5 N	44.5 N	44.5 N
Altura de caída del Pisón	457.2 mm	457.2 mm	457.2 mm
Número de golpes del pisón por capa de suelo	25	25	56
Número de capas	5	5	5
Energía de compactación.	2696 KN-m/m ³	2696 KN-m/m ³	2696 KN-m/m ³
Suelo por usarse	Porción que pasa la malla N°4 (4.75 mm). Se usa si 20% o menos por peso de material es retenido en la malla N° 4	Porción que pasa la malla de 9.5 mm. Se usa si el suelo retenido en la malla N° 4 es más del 20%, y 20% o menos por peso es retenido en la malla de 9.5 mm.	Porción que pasa la malla de 19 mm. Se usa si más de 20% por peso de material es retenido en la malla de 9.5 mm, y menos de 30% por peso es retenido en la malla de 19 mm.

2.5.7.- ENSAYO DE COMPRESIÓN NO CONFINADA.-

El ensayo de compresión no confinada, también conocido con el nombre de ensayo de compresión simple o ensayo de compresión uniaxial, es muy importante en Mecánica de Suelos, ya que permite obtener un valor de carga última del suelo, el que, como se verá más adelante se relaciona con la resistencia al corte del suelo y entrega un valor de carga que puede utilizarse en proyectos que no requieran de un valor más preciso, ya que entrega un resultado conservador. Este ensayo puede definirse en teoría como un caso particular del ensayo triaxial.

Es importante comprender el comportamiento de los suelos sometidos a cargas, ya que es en ellos o sobre ellos que se van a fundar las estructuras, ya sean puentes, edificios o carreteras, que requieren de una base firme, o más aún que pueden aprovechar las resistencias del suelo en beneficio de su propia capacidad y estabilidad, siendo el estudio y la experimentación las herramientas para conseguirlo, y finalmente poder predecir, con una cierta aproximación, el comportamiento ante las cargas de estas estructuras.

Debido a la compleja y variable naturaleza de los suelos, en especial en lo referido a la resistencia al esfuerzo cortante, existen muchos métodos de ensayo para evaluar sus características. Aún cuando se utilizan otros métodos más representativos, como el triaxial, el ensayo de compresión simple cumple el objetivo buscado, sin tener que hacer un método tan complejo ni usar un equipo que a veces puede ser inaccesible, lo que significa menor costo. Este método de ensayo es aplicable solo a materiales cohesivos que no expulsan agua durante la etapa de carga del ensayo y que mantienen su resistencia intrínseca después de remover las presiones de confinamiento, como las arcillas o los suelos cementados. Los suelos secos friables, los materiales fisurados, laminados o varvados, los limos, las turbas y las arenas no pueden ser analizados por este método para obtener valores significativos de la resistencia a la compresión no confinada.

Este ensayo se realiza con el fin de determinar la resistencia o esfuerzo último de un suelo cohesivo a la compresión no confinada, mediante la aplicación de una carga axial con

control de deformación, utilizando una muestra de suelo inalterada tallada en forma de cilindro, generalmente con una relación alto/diámetro igual a 2.

2.5.7.1.- OBJETIVOS DE LA REALIZACIÓN DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN NO CONFINADA.-

- Reconocer y utilizar correctamente los materiales y el equipo necesario para realizar el ensayo de compresión no confinada, aprendiendo las características de cada uno, y los cuidados que se deben tomar para realizar el experimento.
- Obtener datos a partir de los ensayos y anotarlos en un registro ordenado de acuerdo a un método establecido.
- Procesar los datos obtenidos a través de formulaciones, tablas y gráficos, de manera que permitan sacar conclusiones sobre el ensayo realizado.
- Comprender con exactitud la metodología y procedimientos usados en el ensayo, incluido el tiempo e intervalos con los que será ensayada la muestra.
- Construir el gráfico esfuerzo-deformación a partir de los datos obtenidos de la experiencia y de las fórmulas teóricas necesarias.
- Tiene por finalidad, determinar la resistencia a la compresión no confinada (q_u), de un cilindro de suelo cohesivo o semi-cohesivo, e indirectamente la resistencia al corte (q_c), por la expresión.

$$q_c = \frac{q_u}{2} \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right]$$

Despejando:

$$q_u = 2q_c$$

O también

$$q_u = 2C \tan\left(45^\circ + \frac{\phi}{2}\right)$$

Donde:

q_u : Resistencia a compresión del suelo.

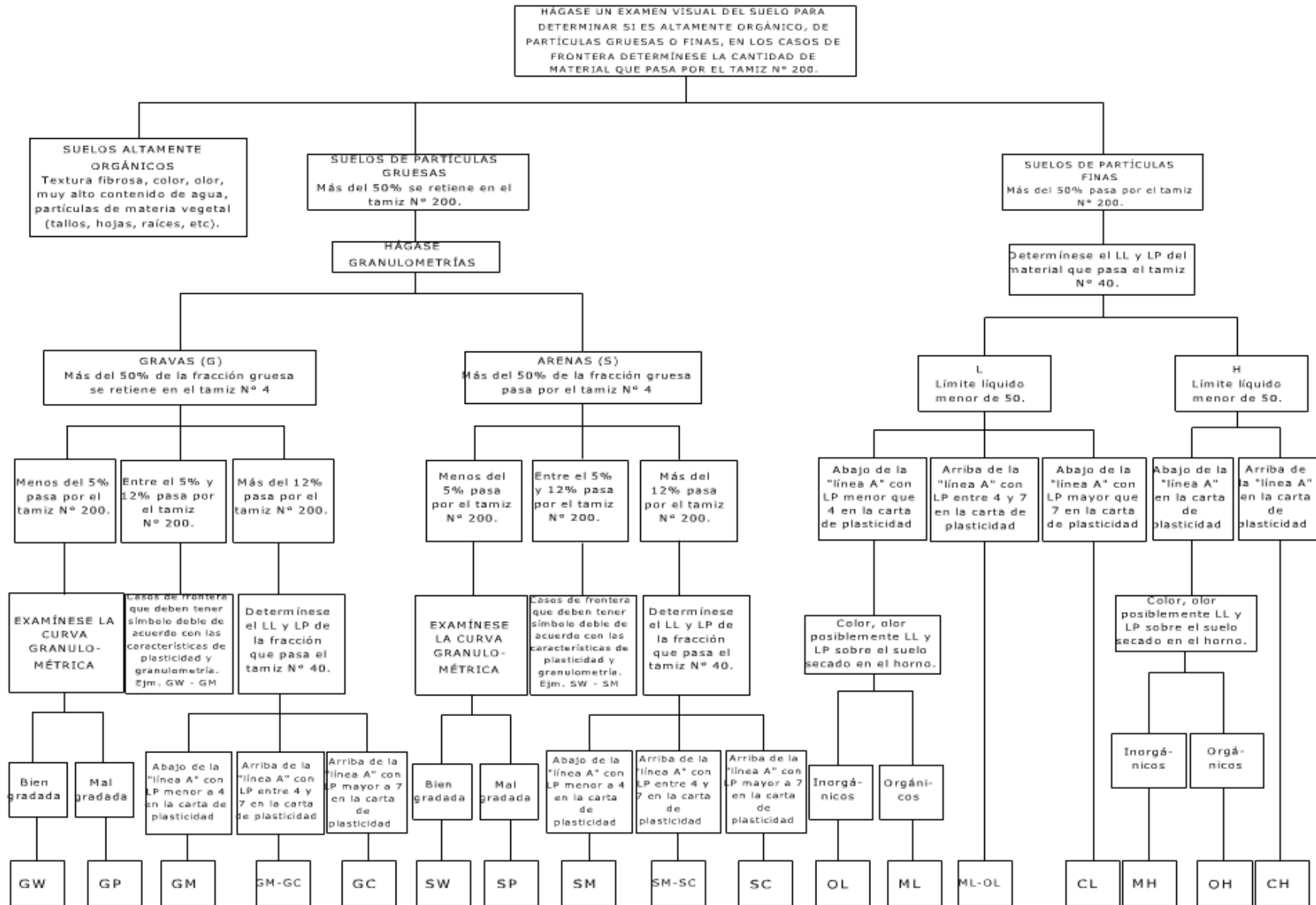
C: Cohesión del suelo.

ϕ : El ángulo de rozamiento interno del suelo.

Aclaremos que esta fórmula fue sacada del libro Mecánica de Suelos en la ingeniería práctica por Kart Terzaghi, la cual es aplicable y utilizada en nuestro medio.

El aparato de compresión puede ser una báscula de plataforma equipada con un marco de carga activado con un gato de tornillo, o con un mecanismo de carga hidráulica, o cualquier otro instrumento de compresión con suficiente capacidad de control para proporcionar la velocidad de carga. En lugar de la báscula de plataforma es común que la carga sea medida con un anillo o una celda de carga fijada al marco. Para suelos cuya resistencia a la compresión no confinada sea menor de 100 kPa (1kg/cm²) el aparato de compresión debe ser capaz de medir los esfuerzos compresivos con una precisión de 1 kPa (0,01 kg/cm²); para suelos con una resistencia a la compresión no confinada de 100 kPa (1 kg/cm²) o mayor el aparato de compresión debe ser capaz de medir los esfuerzos compresivos con una precisión de 5 kPa (0,05 Kg/cm²).

Tabla Nro. 4 Organigrama del Sistema SUCS



CAPITULO III

RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN Y DIAGNÓSTICO

3.1.- INTRODUCCIÓN.-

Al haber un vínculo entre las partículas de los suelos, denominado cohesión y al no tener ciertos parámetros entre los suelos cohesivos y no cohesivos, surge la necesidad de realizar un análisis empírico de estos suelos en particular, para así poder realizar la conformación de una capa sub base donde los áridos cumplan con los requerimientos de gradación, compactación y resistencia, por lo que la capa sub base podrá soportar las cargas que se le asignen y tener más vida útil.

La construcción de la capa sub-bases y bases de carreteras requiere de un conocimiento geotécnico detallado de los materiales involucrados. En general, se utilizan principalmente materiales disponibles en el sector de emplazamiento de la obra, sobre los que se aplican técnicas de mejoramiento de suelos con el objetivo de mejorar su comportamiento y disminuir los espesores de diseño en cada una de las capas que forman el pavimento.

3.1.1.- OBTENCION DE MUESTRAS.-

Como se describe en la Figura Nro. 17, se observa que la muestra de arcilla fue obtenida de la Ex parada del Norte, atrás de la estación de servicio Agrupa; se escogió este lugar para la extracción debido que este material a simple vista presentaba características aptas para la práctica que se requiere hacer en este proyecto.

La extracción de la Grava y la arena fue del Rincón de la Victoria que se encuentra en la comunidad de la Victoria, distante a 10 km. de la ciudad de Tarija.

Figura Nro. 17 Extracción de la muestra de Arcilla



Se selecciono este lugar como banco, debido a que el agregado contiene gran cantidad de piedra manzana, la cual tiene alta capacidad de soporte a la compresión.

3.2.- ANALISIS DE SUELOS NO COHESIVOS (RECOPIACION DE DATOS) -

Al estar este suelo conformado de rocas, piedras, gravas y arenas, o sea suelos de granos gruesos debe tenerse en cuenta, como ya se sabe, que el comportamiento de los suelos gruesos depende mucho de la granulometría.

A continuación se indicara la realización de la recopilación de información en la siguiente práctica:

- **1er Caso:** Para este se utilizo material granular con humedad natural, en el primer espécimen se toma un muestra significativa de 3 kg, para luego proceder al compactado de 3 capas en el molde de T-99 con un martillo de T-180 (el cual pesa 10 lbs.), aclaramos que se utilizo este martillo para darle mayor grado de compactación ejerciendo así mas energía. Cada capa recibió 25 golpes, y no se le aumento ningún porcentaje de arcilla.
- **2er Caso:** Para este se utilizo material granular con humedad óptima, en el primer espécimen se toma un muestra significativa de 3 kg, para luego proceder al compactado de 3 capas en el molde de T-99 con un martillo de T-180 (que pesa 10 lbs.). Aclaramos que se utilizo este martillo para darle mayor grado de compactación ejerciendo así más energía. Cada capa recibió 25 golpes, y no se le aumento ningún porcentaje de arcilla. La humedad óptima la encontramos sacando el 10 % de agua del peso de la muestra (3kg).

Como se describe en los párrafos anteriores solo se menciona el primer espécimen por que este pertenece a un suelo no cohesivo.

3.3.- ANALISIS DE SUELOS COHESIVOS (RECOPIACION DE DATOS) -

Como se sabe normalmente, los suelos cohesivos tiene un porcentaje de finos superior al 15% y este valor se usará en esta Guía como identificador del carácter cohesivo. Como característica física, podemos apreciar que los suelos cohesivos son moldeables y de escasa resistencia friccional.

A continuación se indicara el procedimiento aplicado para recopilación de información que se procedió en la presente práctica:

- **1er Caso:** Para este se utilizo material granular con humedad natural, donde desde el segundo espécimen hasta el sexto, se utilizo el mismo material granular del primer espécimen y se utilizó el mismo método de compactación, pero se fue aumentando el porcentaje de arcilla de (5 %), (8 %), (10 %), (15 %), (30 %) y (60%), respectivamente.
- **2er Caso:** Para este se utilizo material granular con humedad optima, donde desde el segundo espécimen hasta el sexto, se utilizo el mismo material granular del primer espécimen y se aplicó el mismo método de compactación, pero se fue aumentando el porcentaje de arcilla de (5 %), (8 %), (10 %), (15 %), (30 %) y (60%), respectivamente. La humedad óptima fue encontrada sacando el 10 % de agua del peso de la muestra (3kg).

3.4.- INFORMACION DE LA CAPA SUB BASE SEGÚN LA NORMA DE LA ADMINISTRADORA BOLIVIANA DE CAMINOS. –

Según el Manual de Ensayos de Suelos y Materiales (Suelos), de la ABC (Administradora Boliviana de Caminos, en la recomendaciones generalidades para suelos y sus aplicaciones como materiales de construcción (S0102), están las especificaciones que definen la calidades y gradaciones de mezclas de arenas, arcillas, gravas o escorias seleccionadas, arenas o material triturado proveniente de pétreos o escorias o cualquier combinación de estos materiales, para ser utilizados como la capa sub bases, bases y capas de rodadura.

3.4.1.- REQUERIMIENTOS GENERALES SEGÚN LA NORMA DE LA ADMINISTRADORA BOLIVIANA DE CAMINOS. –

Los áridos gruesos, retenidos sobre tamiz 4,75mm (N°4), deben ser partículas resistentes, durables, constituidas de fragmentos de roca, grava o escorias. Materiales que se quiebran con los ciclos alternados de hielo -deshielo y humedad — sequedad, no deben ser usados.

Los áridos finos, que pasan por tamiz 4,75mm (N°4), deben estar constituidos por arenas naturales o trituradas y por partículas minerales que pasan por tamiz 0,075mm (N°200).

Las fracciones que pasan por tamiz 0,075mm (N° 200) no deberán ser mayores que los dos tercios de la fracción que pasa por tamiz 0,475mm (N° 40). Los límites de consistencia de la fracción que pasa por tamiz 0,475mm estarán conformes a lo indicado en la Tabla S0102_1.

Todo el material deberá estar libre de materias orgánicas y terrones de arcillas. La graduación de los materiales deberá estar conforme con los requerimientos de la Tabla S0102_2.

TABLA S0102_1 Límites de Consistencia o de Atterberg

	Límite Líquido	Índice de Plasticidad
Sub base	Máx.35	Máx. 8
Base Estabilizada	Máx. 35	Máx.6
Carpeta de Rodadura	Máx.35	5—10

Los materiales para sub base deberán cumplir con los requerimientos estipulados en “Requerimientos generales” y en “Materiales para la capa sub base” y con la graduación TM-50a de la Tabla S0102_2.

En cuanto a las propiedades mecánicas, el material deberá tener un soporte CBR mayor o igual a 40% y la fracción gruesa deberá tener una resistencia al desgaste, medida por el ensaye de Los Ángeles de no más de 40%.

Nota 1: En zonas heladas se deben reconsiderar los límites de Atterberg y el material bajo 0.08 mm, previo estudio de las condiciones locales.

TABLA S0102_2 Bandas Granulométricas para Sub base, Bases y Capas de Rodadura

Tamiz		TM-50a	TM-50b	TM-50c	TM-40a	TM-40b	TM-40c	TM-25
(mm)	Alternativo							
50	2"	100	100	100				
37,5	1 1/2'		70-100		100	100	100	
25	1'	55-100	55-85	70—	70—	80-100	80-100	100
19	3/4"		45-75	60—90	50—80			70—
9,5	3/8'	30-75	35-65	40—75	25—50	50-80	50-80	50—80
4,75	Nº4	20-65	25-55	30—60	10—30	35—65	35-65	35—65
2,36	Nº8				5—15			
2	Nº10	10—50	15-45	15—45		25—50	25—50	25—50
0,425	Nº40	5—30	5—25	10—30	0—5	10—30	10—30	10—30
0,075	Nº200	0—20	0-10	0—15	0-3	5—15	5—15	5—15

Aclaremos que la información obtenida fue basándose en todas las recomendaciones anteriormente mencionadas y en la obtención de los datos se tuvo en cuenta la tabla S0102_2, donde se adoptó un TM 50 a.

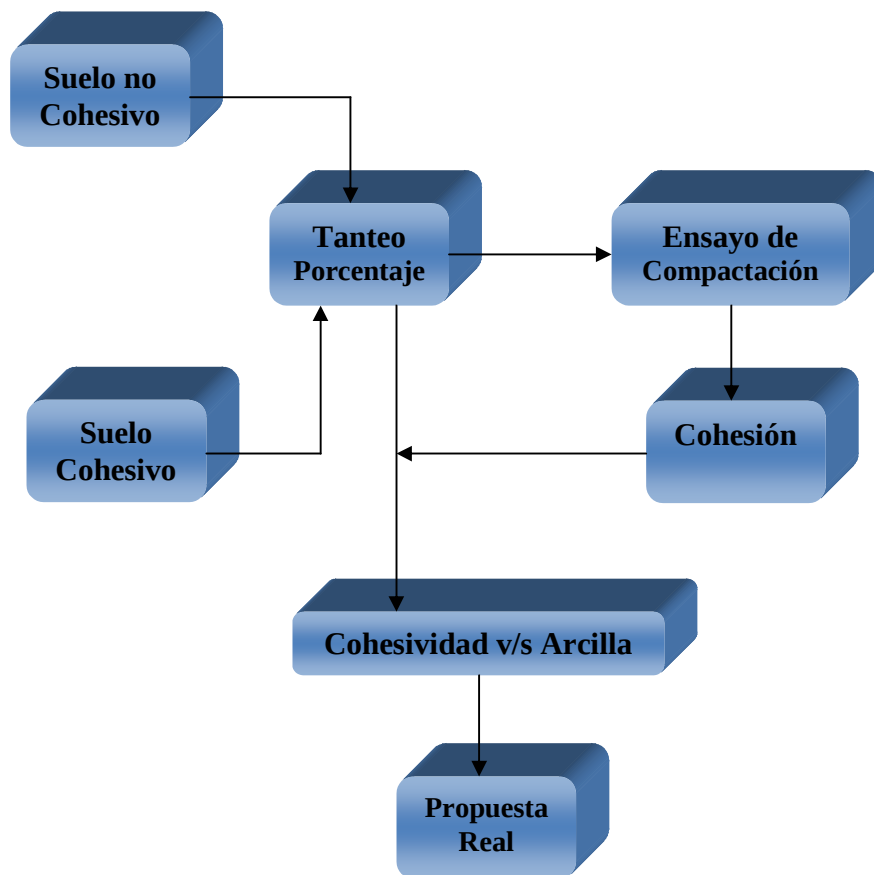
3.5.- ANALISIS DE LA INFORMACION OBTENIDA. –

De acuerdo a la información recopilada, realizando el análisis mencionado en los puntos 3.2, 3.3 y 3.4 y por consiguiente someter todos los especímenes al ensayo de compresión no confinada, con el cual se obtendrá datos después de un trabajo de gabinete, el cual resultara en un resumen y grafica de rotura inconfiada de probetas, donde se dibujara la carga natural vs. cohesión natural del suelo, y la carga óptima vs. Cohesión optima del suelo. Gráfica con la cual es posible analizar los límites de cohesión en la capa sub-base, tomando en cuenta los conceptos básicos, normas, para así hallar parámetros que nos rigen la buena conformación de la capa sub- base.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SOLUCION

4.1.- CRITERIOS GENERALES.-



4.1.1 – PROCEDIMIENTO Y EJECUCIÓN DE LA PRÁCTICA.-

1.- Ensayo de Granulometría y Clasificación por los 2 métodos SUCS y ASTHO.- Se procedió a la respectiva extracción de muestra, para después proseguir con el tamizado de

la muestra traída del Rincón de la Victoria para realizar la granulometría, y así determinar el tipo de grava y arena. El equipo utilizado fue el siguiente:



Equipo

- Juego de tamices
- Balanza de 0.1 y 0.01 gramos de aproximación

Otros accesorios, bandejas, cucharas, etc.

2.- Ensayo de Límites de Atterberg .-

El mismo procedimiento se realizó con la muestra de arcilla, pero se agregó el ensayo de los límites de Atterberg, para determinar los Límites Líquido, plástico y el índice de Plasticidad, para los cuales se utilizó el siguiente equipo:

Equipo común.

- Tamiz N° 40
- Horno Secador 105 a 110°C.
- Balanza de precisión de 0.01 gr.
- Platos u otros recipientes.

Límite Líquido.

- Equipo de Casagrande.
- Ranurador.
- Espátula.
- 5 taras pequeñas.

Límite plástico.

- 3 Taras pequeñas.
- Base de vidrio.

El Procedimiento utilizado para determinar los límites de Atterberg fue el siguiente:

Para el Límite líquido.

- Se ubicó el aparato de Casagrande en una superficie plana, segura y limpia, después se calibró la altura de caída de la copa, con la espátula se colocó la muestra suavemente, tratando siempre que sea de manera horizontal, sobre la copa de Casagrande, eliminando el aire atrapado y limpiando aquella muestra que se encuentre pegada en los alrededores de la copa. Se procedió a realizar la ranura, para después seguir con los golpes, se esperó a que se produzca una unión de

aproximadamente 1.27 cm, y se anoto el numero de golpes. Se extrajo la porción de suelo entre los cortes y proceder a depositarla en una de las cápsulas para el respectivo pesaje y colocación en el horno, con lo que se obtuvo el peso seco.

Para el Límite Plástico

- Para la determinación de este se mezclo homogéneamente el material, para luego en una superficie plana y limpia se agarro con las manos una porción de material y se procedió a amasarlo en forma de rollito, hasta que el mismo pudo ser manipulado plásticamente y tuvo un diámetro aproximado de tres milímetros (3mm), presentó rajaduras por lo que con la espátula se cortaron pequeños trocitos del material y seleccionando aquellos que se encuentren con las rajaduras, para luego introducirlo al horno y obtener su peso en seco.

El Índice de plasticidad fue determinado mediante la siguiente fórmula que es igual a la diferencia del Límite Líquido y Plástico.

$$Ip = LL - LP$$

3.- Ensayo del Hidrómetro.-

Se procedió a preparar 125 ml. de solución (agua con defloculante), el porcentaje del defloculante es aproximado en un 4% en peso de lo que pesa 1000 ml. de agua, se coloco la muestra en un recipiente para mezclarlo con los 125 ml de solución al 4% de defloculante, después de sedimentar durante 24 horas se lo batió durante un periodo de 1 minuto se vació a una probeta graduada (que se llamará probeta de sedimentación), y se aumento agua común hasta llegar a los 1000 ml.

Luego de sacudir la probeta, ponerla sobre la mesa e introducirlo el hidrómetro tomando lecturas en los siguientes intervalos de tiempo 1, 2, 3, 4 minutos, realizando igualmente lecturas del termómetro, se tomo una lectura para corrección de menisco en el hidrómetro dentro del cilindro de control. El proceso se volvió a repetir, comparando los resultados de

las mediciones anteriores, si existe concordancia y se incrementando los tiempos de mediciones de tiempo de 8, 15, 30, 60 minutos.

Los cálculos realizados en gabinete fueron los siguientes:

Aplicar la corrección de meniscos a las lecturas de hidrómetro y entrar en la tabla 6-5. para obtener el valor de L.

Si el grupo realizó el ensayo del peso específico de los suelos, entonces adoptar su valor, caso contrario adoptar el valor de $G_s = 2.70 \text{ (g/cm}^3\text{)}$.

Con G_s y la temperatura de ensayo para cualquier lectura del hidrómetro, entrar en la tabla 6-4 para obtener el valor correspondiente de K.

Con los valores de L, K, y el tiempo transcurrido (t min), calcular el valor de D, con la siguiente ecuación.

$$D = K * \sqrt{\frac{L}{t}} \quad (\text{mm}) \quad (1-1)$$

D = Diámetro de la partícula

L = Profundidad efectiva de caída de las partículas en un tiempo dado.
(tabla 6-5)

K = Constante de las características del suelo (tabla 6-4)

Calcular la lectura corregida del hidrómetro a través de la siguiente formula.

$$R_c = R_{real} - \text{corrección de cero} + Ct \quad (1-2)$$

R_c = Lectura corregida del hidrómetro

R_{real} = Lectura directa del hidrómetro.

Ct = Corrección por temperatura. (tabla 6-3)

La corrección de cero se presenta cuando existan lecturas negativas en el hidrómetro.

Utilizando el resultado de la ecuación (1-2), se calcula el porcentaje mas fino correspondiente al diámetro de la partícula D

$$\text{porcentaje mas fino} = Rc * \frac{a}{Ws} * 100 \quad (1-3)$$

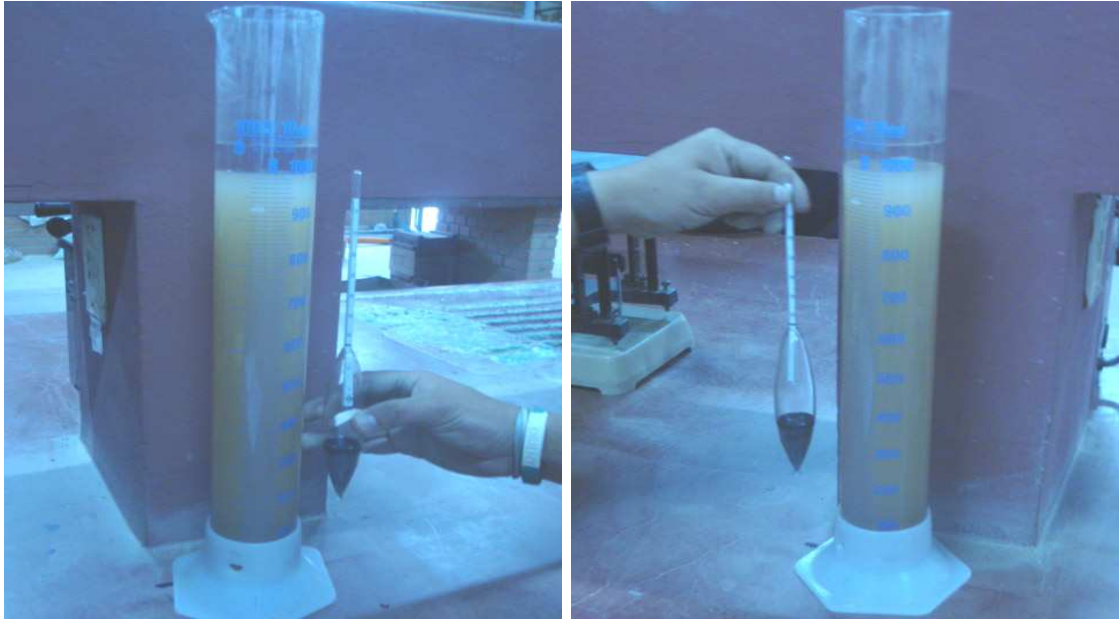
Ws = Peso original de suelo colocado en la suspensión, g.

a = Factor de corrección para el peso unitario de sólidos (tabla 6-2)

Imágenes de la realización del ensayo del Hidrómetro



Imágenes de la realización del ensayo del Hidrómetro



Obteniendo así todos los datos necesarios para continuar con los siguientes pasos:

1. **1er Paso:** Para este se utilizó material granular con humedad natural, en el primer espécimen se toma una muestra significativa de 3 kg, para luego proceder al compactado de 3 capas en el molde de T-99 con un martillo de T-180 (el cual pesa 10 lbs.), aclaramos que se utilizó este martillo para darle mayor grado de compactación ejerciendo así más energía. Cada capa recibió 25 golpes, y no se le aumentó ningún porcentaje de arcilla.
2. **2do Paso:** Desde el segundo espécimen hasta el sexto, se utilizó el mismo material granular del primer espécimen y se utilizó el mismo método de compactación, pero se fue aumentando el porcentaje de arcilla de (5 %), (8 %), (10 %), (15 %), (30 %) y (60%), respectivamente, también aclaramos que todas las especímenes realizadas fueron con su humedad natural.

3. **3er Paso:** Se volvió a repetir el procedimiento descrito en el Paso 1 pero esta vez se utilizó material granular con humedad óptima. En el primer espécimen se toma una muestra significativa de 3 kg, para luego proceder al compactado de 3 capas en el molde de T-99 con un martillo de T-180 (el cual pesa 10 lbs.), aclaramos que se utilizó este martillo para darle mayor grado de compactación ejerciendo así más energía. Cada capa recibió 25 golpes, y no se le aumentó ningún porcentaje de arcilla, La humedad óptima la encontramos sacando el 10 % de agua del peso de la muestra (3kg).

4. **4er Paso:** Para este se utilizó material granular con humedad óptima, donde desde el segundo espécimen hasta el sexto, se utilizó el mismo material granular del primer espécimen y se procedió al mismo método de compactación, pero se fue aumentando el porcentaje de arcilla de (5 %), (8 %), (10 %), (15 %), (30 %) y (60%), respectivamente. La humedad óptima la encontramos sacando el 10 % de agua del peso de la muestra (3kg).

5. **5to paso :** Al terminar cada paso mencionado anteriormente, se procedía a la rotura de las muestras esto debido a la prevención de la pérdida de humedad. Para eso se procedió con el 5to Paso que fue someter todos los especímenes al ensayo de compresión no confinada, con el cual se obtuvieron datos que después de seguir el siguiente trabajo de gabinete :

Formula de Kart Terzaghi

$$q_u = 2C \tan\left(45^\circ + \frac{\phi}{2}\right)$$

Donde:

q_u : Resistencia a compresión del suelo.

C: Cohesión del suelo.

ϕ : El ángulo de rozamiento interno del suelo.

permite obtener un valor de carga última del suelo.

Fotos de la Realización de la Compresión no Confinada



Fotos de la Realización de la Compresión No confinada



Fotos de la Realización de la Compresión No Confinada



6. **6to paso:** después de un trabajo de gabinete, el cual resultara en un resumen y gráfica de rotura inconfiada de probetas, donde se dibujara la carga natural vs. Cohesión natural del suelo, y la carga optima vs. cohesión óptima del suelo. Gráfica con la cual podremos analizar los limites de cohesión en la sub-base, tomando en cuenta los conceptos básicos, normas, para así hallar parámetros que nos rigen la buena conformación de la capa sub- base.

Basándonos en la norma de la ABC los “Materiales para sub base” tiene que tener una graduación TM-50a de la Tabla S01 02_2, por lo que llegamos a una conclusión basándonos y rigiendo nuestros cálculos, en la siguiente tabla.

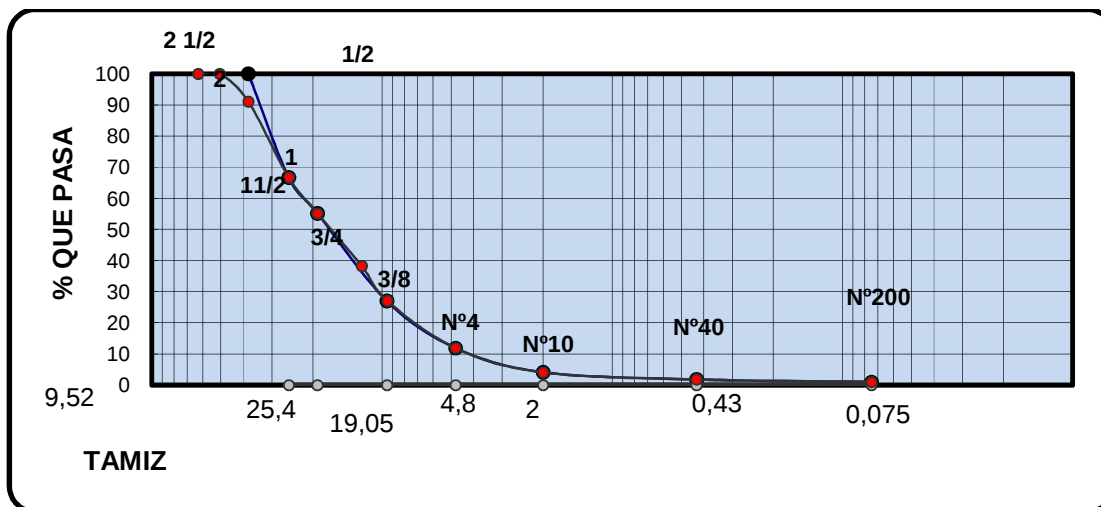
TABLA S0102 2 Bandas granulométricas para sub base, bases y capas de rodadura

Tamiz		TM-50a	TM-50b	TM-50c	TM-40a	TM-40b	TM-40c	TM-25
(mm)	Alternativo							
50	2"	100	100	100				
37,5	1 1/2'		70-100		100	100	100	
25	1'	55-100	55-85	70—	70—	80-100	80-100	100
19	3/4"		45-75	60—90	50—80			70—
9,5	3/8'	30-75	35-65	40—75	25—50	50-80	50-80	50—80
4,75	N°4	20-65	25-55	30—60	10—30	35—65	35-65	35—65
2,36	N°8				5—15			
2	N°10	10—50	15-45	15—45		25—50	25—50	25—50
0,425	N°40	5—30	5—25	10—30	0—5	10—30	10—30	10—30
0,075	N°200	0—20	0-10	0—15	0-3	5—15	5—15	5—15

4.2.- SUELOS NO COHESIVOS.-

Los suelos no cohesivos se consideran a los suelos aluviales, arenas y gravas:

Peso Total (gr.)		5000			
Tamices	tamaño (mm)	Peso Ret.	Ret. Acum	% Ret	% que pasa del total
2 1/2"	63	0	0	0,0	100,0
2	50,8	0	0	0,0	100,0
1 1/2	38,10	446,5	446,5	8,9	91,1
1	25,40	1222,48	1668,98	33,4	66,6
3/4	19,05	574,07	2243,05	44,9	55,1
1/2	12,27	847,15	3090,2	61,8	38,2
3/8	9,50	561,74	3651,94	73,0	27,0
N°4	4,80	751,61	4403,55	88,1	11,9
N°10	2	391,64	4795,19	95,9	4,10
N°40	0,43	116,91	4912,1	98,2	1,76
N°200	0,075	37,9	4950	99,0	1,00
Base		50,0			



Observaciones:

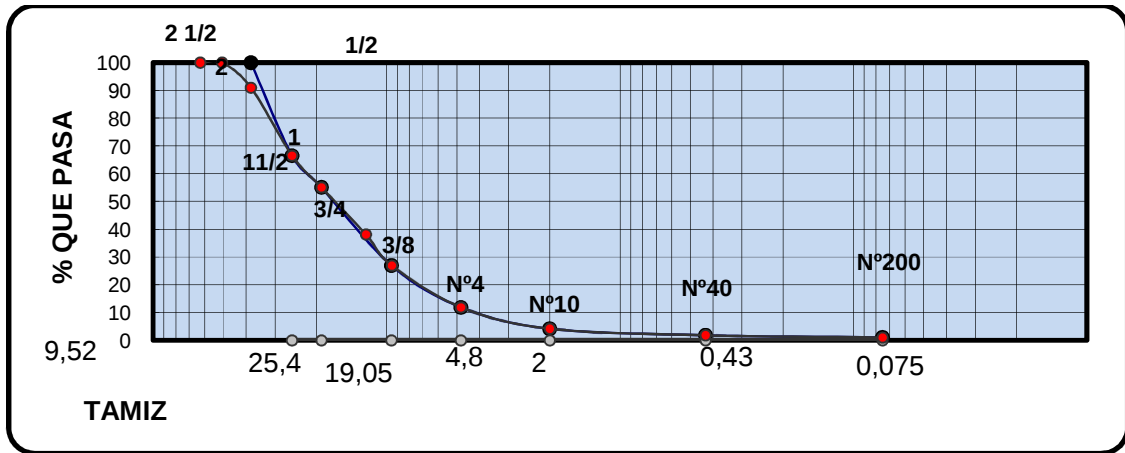
Clasificación según la AASTHO A - 1 - a (0)

Clasificación según la SUCS GW

Descripción: Grava Bien Graduada

Análisis de la Arena.-

Peso Total (gr.)		5000			
Tamices	tamaño (mm)	Peso Ret.	Ret. Acum	% Ret	% que pasa del total
2 1/2"	63	0	0	0,0	100,0
2	50,8	0	0	0,0	100,0
1 1/2	38,10	0	0	0,0	100,0
1	25,40	0	0	0,0	100,0
3/4	19,05	0	0	0,0	100,0
1/2	12,27	31,24	31,24	0,6	99,4
3/8	9,50	54,9	86,14	1,7	98,3
N°4	4,80	185,63	271,77	5,4	94,6
N°10	2	415,94	687,71	13,8	86,25
N°40	0,43	1575,09	2262,8	45,3	54,74
N°200	0,075	632,59	2895,39	57,9	42,09
Base		2104,6			



Observaciones:

Clasificación según la AASTHO A - 2 - 4 (0)

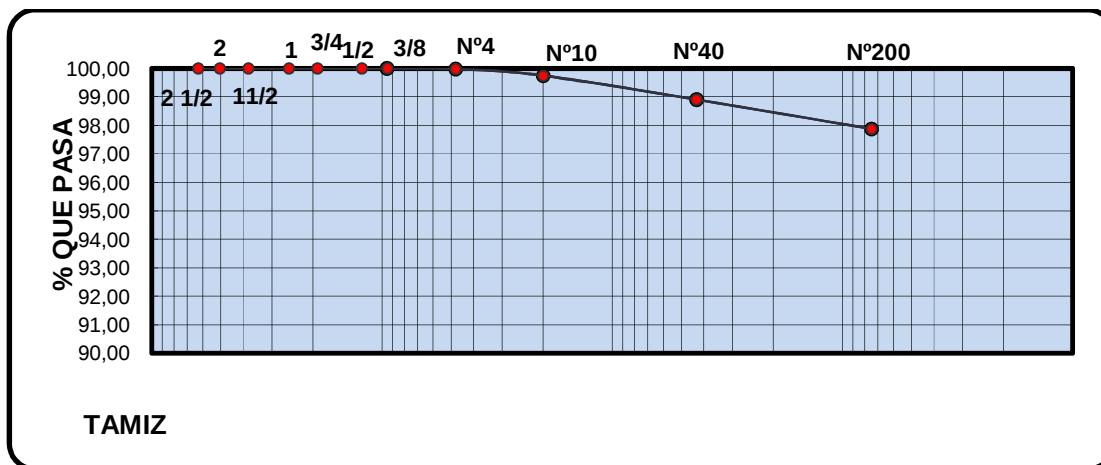
Clasificación según la SUCS SM

Descripción: Arena limosa

4.3.- SUELOS COHESIVOS.-

Los suelos cohesivos se consideran a los suelos coluviales, Limos y Arcillas:

Peso Total (gr.)		500			
Tamices	tamaño (mm)	Peso Ret.	Ret. Acum.	% Ret	% que pasa del total
2 1/2"	63	0	0	0,0	100,0
2"	50,8	0	0	0,0	100,0
1 1/2"	38,10	0	0	0,0	100,0
1"	25,40	0	0	0,0	100,0
3/4"	19,05	0	0	0,0	100,0
1/2"	12,27	0	0	0,0	100,0
3/8"	9,50	0	0	0,0	100,0
Nº4	4,80	0,12	0,12	0,0	100,0
Nº10	2	1,11	1,23	0,2	99,75
Nº40	0,43	4,25	5,48	1,1	98,90
Nº200	0,075	5,1	10,58	2,1	97,88
Base		489,5			



Observaciones:

Clasificación según la AASTHO A - 7 - 6 (15)

Clasificación según la SUCS CL

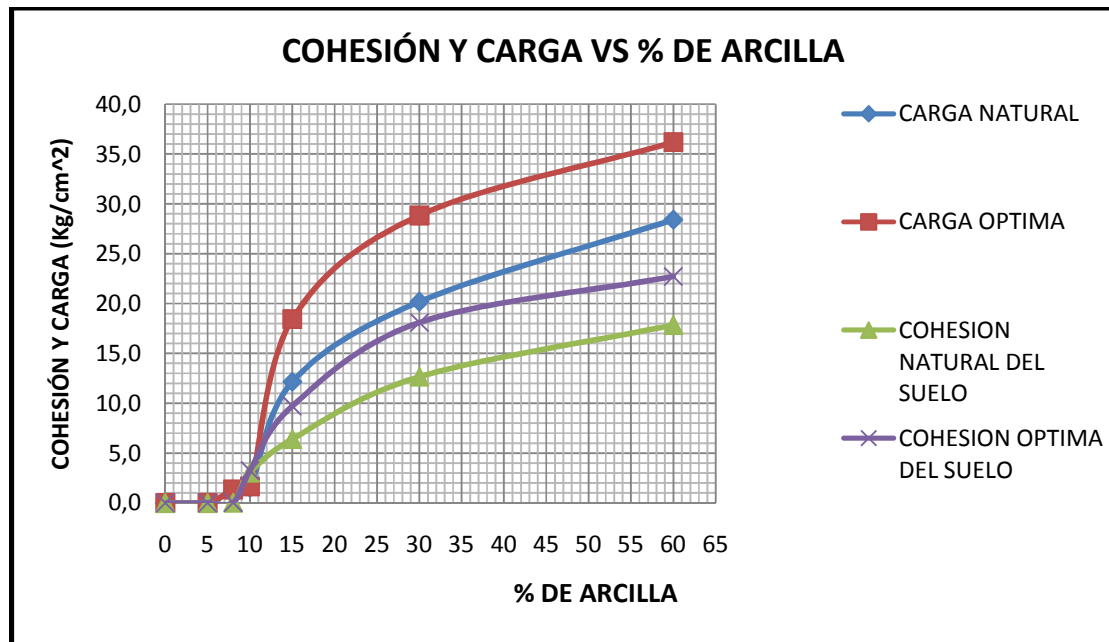
Descripción: Arcilla Inorgánica de baja plasticidad, de compresibilidad baja a media.

4.4.- APROXIMACIÓN PORCENTAJES.-

4.4.1.- CRITERIOS.-

Los criterios que se tomo son de aumentar los porcentajes de arcilla a los materiales aluviales para poder determinar los límites de cohesividad como se muestra en la planilla y grafica siguiente.

% DE ARCILLA	CARGA (kg/cm ²)		COHESIÓN DEL SUELO (kg/cm ²)	
	NATURAL	OPTIMA	NATURAL	OPTIMA
0	0	0	0	0
5	0,000	0,000	0,000	0,000
8	1,337	1,358	0,031	0,032
10	1,553	1,661	3,036	3,247
15	12,163	18,442	6,417	9,730
30	20,174	28,835	12,663	18,099
60	28,401	36,196	17,827	22,720



4.4.2.- PROCESO.-

Se realizo con el ensayo de compresión simple no confinado el cual se describe a continuación:

	Natural			Optima				
	$\phi = 15^\circ =$	859,43669		$\phi = 15^\circ =$	859,437			
	$\phi = 45^\circ =$	2578,3101						
Probeta N°	Muestra	Fecha de Rotura	Diámetro Probeta (cm)	Altura Probeta (cm)	Sección (cm ²)	Peso (g)	Carga de Rotura (Kg)	Resistencia a la Compresión (Kg/cm ²)
1	Muestra Nat.	31/08/2010	10,30	11,90	83,32	1930,24	2,85	0,03
2	Muestra Opt.		10,30	11,90	83,32	1945,12	3,29	0,04
Página 1								
COHESIÓN DEL SUELO								
Donde: $C = \frac{q_u}{2 \times \tan\left(45^\circ + \frac{\phi}{2}\right)}$ C = Cohesión del suelo (Kg./ cm²) qu = Carga Unitaria (Kg./ cm²) φ= Angulo de Rotura del Espesimen (º)								
Trayectoria Carga - Deformación:								
				H. Nat.	H. Opt.			
LECTURA DEL EXTENSÓMETRO				7,00	9,00			
CARGA PUNTUAL (kgr.)				55,34	63,74			
CARGA (kg/cm ²)				2,852	3,285			
COHESIÓN DEL SUELO (kg/cm ²)				0,066	0,077			

4.5.- ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE NO CONFINADO.-

4.5.1.- OBJETIVO DE LA REALIZACION DEL ENSAYO DE COMPRESION NO CONFINADO.-

Reconocer y utilizar correctamente los materiales y el equipo necesario para realizar el ensayo de compresión no confinada, aprendiendo las características de cada uno, y los cuidados que se deben tomar para realizar la experiencia.

Obtener datos a partir de los ensayos y anotarlos en un registro ordenado de acuerdo a un método establecido.

Procesar los datos obtenidos a través de formulaciones, tablas y gráficos, de manera que permitan sacar conclusiones sobre el ensayo realizado.

Comprender con exactitud la metodología y procedimientos usados en el ensayo, incluido el tiempo e intervalos con los que será ensayada la muestra.

Construir el gráfico esfuerzo-deformación a partir de los datos obtenidos de la experiencia y de las fórmulas teóricas necesarias.

Tiene por finalidad, determinar la resistencia a la compresión no confinada (q_u), de un cilindro de suelo cohesivo o semi-cohesivo, e indirectamente la resistencia al corte (q_c), por la expresión.

$$q_c = \frac{q_u}{2} \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right]$$

Despejando:

$$q_u = 2q_c$$

O también

$$q_u = 2C \tan\left(45^\circ + \frac{\phi}{2}\right)$$

Donde:

q_u : Carga Unitaria del suelo.

C: Cohesión del suelo.

ϕ : El ángulo de rozamiento interno del suelo.

El aparato de compresión puede ser una báscula de plataforma equipada con un marco de carga activado con un gato de tornillo, o con un mecanismo de carga hidráulica, o cualquier otro instrumento de compresión con suficiente capacidad de control para proporcionar la velocidad de carga. En lugar de la báscula de plataforma es común que la carga sea medida con un anillo o una celda de carga fijada al marco. Para suelos cuya resistencia a la compresión no confinada sea menor de 100 kPa (1kg/cm²) el aparato de compresión debe ser capaz de medir los esfuerzos compresivos con una precisión de 1 kPa (0,01 kg/cm²); para suelos con una resistencia a la compresión no confinada de 100 kPa (1 kg/cm²) o mayor el aparato de compresión debe ser capaz de medir los esfuerzos compresivos con una precisión de 5 kPa (0,05 Kg/cm²).

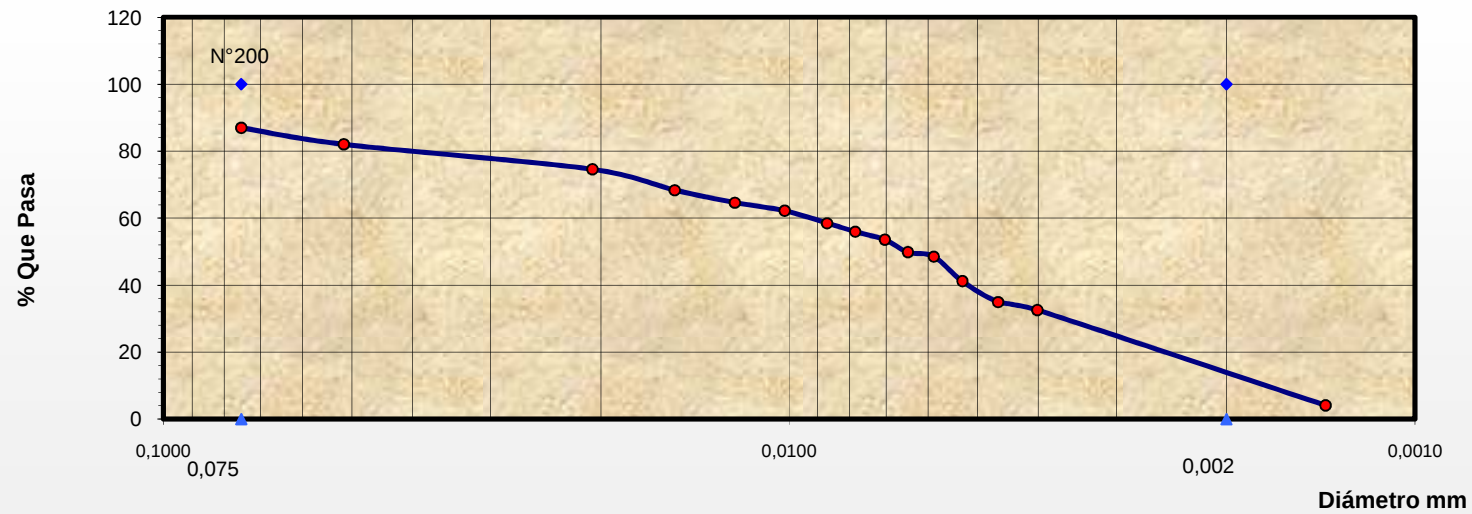
4.6.- ANALISIS DE SOLUCION.-

Basándonos en la Norma de la ABC (Administradora Boliviana de Caminos), y mediante las practicas realizadas en diferentes tipos de suelos ya sean granulares y arcillosos se pudo determinar que el rango entre el límite de cohesividad y no cohesividad oscila entre 5% y 10% de arcillas, en lo que se refiere al porcentaje que se agregó a las muestras para que aumenten la capacidad portante del suelo y así mejorar sus características para la determinación de un mejor comportamiento como material apto para la conformación de la capa sub base.

Hidrometro.-

Hora de Lectura	Tiempo Transc. min.	Temp. °c.	Lectura Real R'.	Lectura Correg R.	Prof. Efec. L	Constante K Tabla	L/t	Ct	Lectura Correg Rc.	Diam. Partícula mm	% Mas Fino
17:20	0	17	70	71	13,5	0,0140	0	-0,700	70,300	0,075	87,00
17:21	1	17	66	67	13,5	0,0140	13,500	-0,700	66,300	0,0514	82,05
17:22	3	17	60	61	6,5	0,0140	2,167	-0,700	60,300	0,0206	74,62
17:23	6	17	55	56	7,1	0,0140	1,183	-0,700	55,300	0,0152	68,43
17:24	10	17	52	53	7,6	0,0140	0,760	-0,700	52,300	0,0122	64,72
17:25	15	17	50	51	7,9	0,0140	0,527	-0,700	50,300	0,0102	62,25
17:26	21	17	47	48	8,1	0,0140	0,386	-0,700	47,300	0,0087	58,53
17:27	28	17	45	46	8,8	0,0140	0,314	-0,700	45,300	0,0078	56,06
17:28	36	17	43	44	9,1	0,0140	0,253	-0,700	43,300	0,0070	53,58
17:29	45	17	40	41	9,6	0,0140	0,213	-0,700	40,300	0,0065	49,87
17:30	55	17	39	40	9,7	0,0140	0,176	-0,700	39,300	0,0059	48,63
17:40	75	17	33	34	10,7	0,0140	0,143	-0,700	33,300	0,0053	41,21
17:50	105	17	28	29	11,5	0,0140	0,110	-0,700	28,300	0,0046	35,02
18:00	145	17	26	27	11,9	0,0140	0,082	-0,700	26,300	0,0040	32,55
17:20	1585	17	3	4	15,6	0,0140	0,010	-0,700	3,300	0,0014	4,08

Distribución Granulométrica



% Pasa 200	=	100,00
% Limo Parcial	=	86,13
% Arcilla Parcial	=	13,87

CAPÍTULO V

5.1.- CONCLUSIONES.-

- Se realizó un estudio mediante ensayos de laboratorio estandarizados, encontrando parámetros que nos ayudaran a reconocer los límites de cohesividad y así mejorar la conformación de la capa sub base.
- Se llegó a la conclusión que la cohesividad es un factor o característica importante a la hora de conformar un suelo que resista cargas.
- El estudio ha permitido disponer de las herramientas necesarias, como para poder realizar un análisis y mejoramiento para la conformación de la capa sub base.
- Se puede observar según las gráficas y resultados que la arcilla es un material altamente cohesivo, por lo que al mezclarse con material granular adhiere sus partículas finas, aportándole plasticidad a dicha mezcla, mejorando el tipo de suelo.
- En el segundo espécimen aumentando un 5 % de porcentaje de arcilla, se puede observar según las graficas obtenidas que no posee cohesividad, por lo que se llega a la conclusión de que este suelo no es apto para la conformación de la capa sub base.
- Caso contrario con los especímenes conformados con un 8 % y 10 %, se observó claramente en la grafica que el suelo ya posee cohesión, que en cierta forma cumple los parámetros deseados para ser un suelo apto para la conformación de la capa sub base.
- A partir del 5to. espécimen conformado con mayores porcentajes de arcilla (15 %, 30 % y 60 %), tanto con humedad natural, como con humedad óptima se puede observar que la cohesión es alta.
- La correlación que se realizó fue empírica y no estadística ya que se realizó el estudio del mismo suelo.
- Los agregados fueron respectivamente clasificados mediante los 2 sistemas según la siguientes tabla :

	OBSERVACIONES	DESCRIPSIÓN:
Grava	Clasificación según la aastho A - 1 - a (0) clasificación según la SUCS GW	Grava Bien Graduada
Arena	Clasificación según la aastho A - 1 - a (0) clasificación según la SUCS GW	Grava Bien Graduada
Arcilla	El suelo ensayado es: A - 7 - 6 (15) (AASHTO) ; CL (SUCS)	Arcilla Inorgánica de baja plasticidad, de compresibilidad baja a media.

5.2.- RECOMENDACIONES.-

- Se necesita mejorar la calidad y durabilidad de nuestras carreteas, para que tengan un funcionamiento permanente, y no se vean afectadas cada vez; además es necesario realizar estudios mecánicos y físicos de los suelos para así realizar trabajos confiables y poder establecer nuevos criterios en tomas de decisiones.
- A base de estos resultados obtenidos, se sugiere tomar en cuenta estos parámetros encontrados, y analizar mediante estos, la mejor conformación de la capa sub base. Además se sugiere tomar en cuenta el tamaño máximo de los agregado y ajustarlo a la banda granulometría TM 50a, que cuenta con una gradación adecuada para la conformación la capa sub base.
- La recomendación más importante en esta práctica, es que al ser este un estudio de investigación y al no existir un análisis acerca la conformación de la capa su base, motivo por el cual se recomienda seguir con este análisis, tomando en cuenta los parámetros encontrados.