

**ZONIFICACIÓN DEL TIPO DE SUELO**  
**EN LA CIUDAD DE TARIJA PARA ZONAS PERIFERICAS EN LOS**  
**DISTRITOS 7, 10, 11, 13.**

**1. INTRODUCCIÓN.**

**1.1. ANTECEDENTES.**

La mayoría de las ejecuciones de infraestructuras de edificaciones no cuentan con abundantes recursos técnicos y dejan que los parámetros de los suelos sean estimados, sin ninguna base o referencia que sustente una clasificación y una capacidad portante aproximada del suelo.

Un requisito esencial y primordial para realizar un diseño ingenieril es contar con una base de datos y aplicarlos dentro de la ejecución de obras civiles, en etapa de pre diseño como ser: viviendas económicas, salones, bibliotecas barriales, etc., donde se pueda conocer de forma para métrica el tipo y la capacidad portante del suelo, con el fin de definir un pre diseño estimado con la certeza de que el mismo luego sea verificado durante la construcción.

Con este trabajo se pretende brindar datos de zonificación en la zonas periféricas de la ciudad de Tarija, abarcando esencialmente en los barrios: VI Centenario, Defensores del chaco, Las Pascuas pertenecientes al distrito N°7, Morros Blancos, Simón Bolívar, Torrecillas y Vela pertenecientes al Distrito N°10, San Gerónimo, Petrolero y San Luis pertenecientes al distrito N°11, San Antonio, Catedral y Tabladita pertenecientes al distrito N°13 de la zona Urbana de la ciudad de Tarija.

## **1.2. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.**

Existe una marcada ausencia de un documento descriptivo y técnico de los diferentes distritos de la zona periférica de la ciudad de Tarija, que brinde una orientación aproximada en la toma de decisiones de obras civiles en la etapa de un pre diseño.

## **1.3. JUSTIFICACION.**

Este Proyecto tiene como propósito plantear la elaboración de un documento con la caracterización de los distintos tipos de suelo que existen en las zonas de estudio y facilitar a las empresas constructoras como así también a los encargados de hacer seguimientos (supervisión) de las mismas contando con los resultados de los ensayos para que se pueda tomar decisiones en los parámetros adoptados o tomados en cuenta en los distintos diseños de las obras.

Facilitar con los datos, el conocimiento del tipo de suelo de las zonas estudiadas, a fin de definir un pre diseño estimativo, con una certeza que el mismo sea verificado durante la construcción.

Al contar con los datos técnicos tabulados de las características del suelo, se dejará de estar estimando las mismas para el uso en las diferentes ejecuciones de los diseños de obras. Al mismo tiempo se evitará hacer gastos colaterales que vayan a sumar al costo de los distintos diseños.

Redundará en un beneficio directo para los constructores y empresas constructoras en el momento de tomar una decisión para emplazar algún tipo de proyecto realizando una verificación en el momento de la ejecución de dicha construcción.

## **1.4 OBJETIVOS.**

### **1.4.1. OBJETIVO GENERAL.**

- Elaborar un documento descriptivo y técnico basado en un estudio que determine la zonificación en algunos barrios periféricos de la ciudad de Tarija, de acuerdo a la distribución de los distritos urbanos periféricos que comprenda un análisis general de sus características como la clasificación y su capacidad admisible, para su utilización en el pre diseño de las obras civiles.

### **1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Realizar un reconocimiento del área objeto de estudio para poder determinar el muestreo por distrito analizado.
- Determinar las propiedades de los distintos tipos de suelos en las áreas de estudio (a través de pozos o calicatas).
- Aplicación del SPT para conocer la capacidad de soporte en cimentaciones superficiales para construcciones en etapa de pre diseño.
- Realizar ensayos de granulometría para lograr un análisis más profundo y completo en relación de las características del suelo analizado.
- Realizar ensayos de límites de consistencia para determinar la plasticidad y clasificar el suelo.
- En función a los resultados obtenidos determinar la capacidad portante del suelo.
- Elaborar un plano de zonificación de acuerdo a la capacidad portante del suelo, como un parámetro de partida para su potencial uso en construcciones civiles en la etapa de pre diseño.

## 1.5. ALCANCE.

En el proyecto planteado propone elaborar un documento que haga referencia a un estudio de suelos mostrando la importancia de las características del suelo y la importancia del mismo en el diseño de obras civiles en la etapa de pre diseño: se propone conocer los recursos técnicos a utilizar para este fin, comenzando por realizar un reconocimiento del área de estudio, (para los distritos en algunos barrios periféricos).

Luego se procede a definir el tamaño de la muestra a través de una selección ocular del lugar más desfavorable, a objeto de tener un tamaño de muestra representativa.

Al tratarse de obras civiles en la etapa de pre diseño donde la sollicitación de cimentaciones son superficiales del orden de 1 a 5 m de profundidad, se tomó la decisión técnica y económica de excavar calicatas a una profundidad de 1.5 metros.

Una vez extraída la muestra, se procede a realizar el análisis de laboratorio para obtener los ensayos de: Contenido de Humedad, Análisis Granulométrico, Límites de Atterberg y por último Ensayo de Penetración Estándar (SPT),trabajando de una forma ordenada con cada uno de los puntos y pertenecientes a cada distrito.

Recopilar información de ensayos realizados en diferentes laboratorios de suelos de empresas privadas acreditadas que realizan trabajos de todo tipo de ensayos, para así poder complementar información a los datos obtenidos por distrito con el fin de que el muestreo sea más representativo, ya que los distritos son de gran magnitud.

Hacer un análisis de los resultados obtenidos en campo y recopilados con el fin de tener datos coherentes y que sirvan como un dato referencial en las zonas de estudio.

Obtener una tabla de resumen que refleje todos los datos realizados y recopilados, también elaborar un plano por distrito que refleje los puntos en las áreas que se realizó la aplicación de cada barrio.

Redactar un documento de las zonas en estudio indicando los barrios tomados en cuenta en su clasificación.

Al obtener los datos se procederá a confeccionar una tabla comparativa donde se pueda apreciar los diferentes, resultados, parámetros y así a la vez se pueda dar una clasificación rápida.

## **1.6. METODOLOGÍA Y TÉCNICAS.**

Para la elaboración de este proyecto se aplicará la siguiente metodología y técnicas:

1. Identificación de las zonas en estudio y de los criterios, para zonificar el área de aplicación.
2. Se recabará información teórica que vaya relacionada con la elaboración de las características del suelo.
3. Realizar excavaciones hasta el nivel de fundación en los sectores con carencia de información, para luego sacar muestras de la zona y realizar diferentes ensayos de laboratorio, entre ellos: Límites de consistencia, granulometría, clasificación y Estudio de la Capacidad Soporte del suelo (S.P.T.).
4. Verificar las propiedades de los estratos del suelo y de roca que puedan afectar el proceso a encarar, desde el punto de vista de la ingeniería.
5. Analizar los resultados de capacidad portante (S.P.T) y una comparación geotécnica entre las zonas identificadas.

## **1.7. MEDIOS**

Para la elaboración de este proyecto se tendrá que contar con diferentes recursos y equipos:

- Para el estudio geotécnico se necesitarán diferentes equipos de laboratorio de suelos, entre los más importantes: equipos (S.P.T.), tamices, equipo de plasticidad y alguna herramienta menor.
- Recurso humano para la relación de los ensayos técnicos.
- Medios de transporte a las zonas identificadas.
- Material logístico y de escritorio para el análisis de resultados.

## **CAP.II. ASPECTOS GENERALES DE LA CLASIFICACION Y LA ZONIFICACION.**

### **2.1. INTRODUCCIÓN.**

En este capítulo se cita algunas de las propiedades físicas de los suelos, principalmente la que se va obtener en los ensayos a realizar en laboratorio y campo, por lo que es necesario conocer cada una de las propiedades y su forma de obtenerlas analíticamente.

La importancia de los estudios de la mecánica de suelos radica en el hecho de que si se sobrepasan los límites de la capacidad resistente del suelo o si, aún sin llegar a ellos, las deformaciones son considerables, se pueden producir esfuerzos secundarios en los miembros estructurales, quizás no tomado en consideración en el diseño produciendo a su vez deformaciones importante, fisuras, grietas, alabeo o desplomos que puedan producir en casos extremos, el colapso de la obra o su inutilización y abandono.

### **2.2. FASES DEL SUELO.**

En un suelo se constituyen tres fases constituyentes: la sólida, la líquida y la gaseosa. Donde se tiene que la fase sólida está formada por las partículas minerales del suelo (incluyendo la capa sólida adsorbida); la líquida por el agua (libre, específicamente), aunque en los suelos puedan existir otros líquidos de menor significación; la fase gaseosa comprende sobre todo el aire, si bien pueden estar presentes otros gases (vapores sulfurosos, anhídrido carbónico, etc.). La capa viscosa del agua absorbida que presenta propiedades intermedias entre la fase sólida y la líquida, suele incluirse en esta última, pues es susceptible de desaparecer cuando el suelo es sometido a una fuerte evaporación (secado).

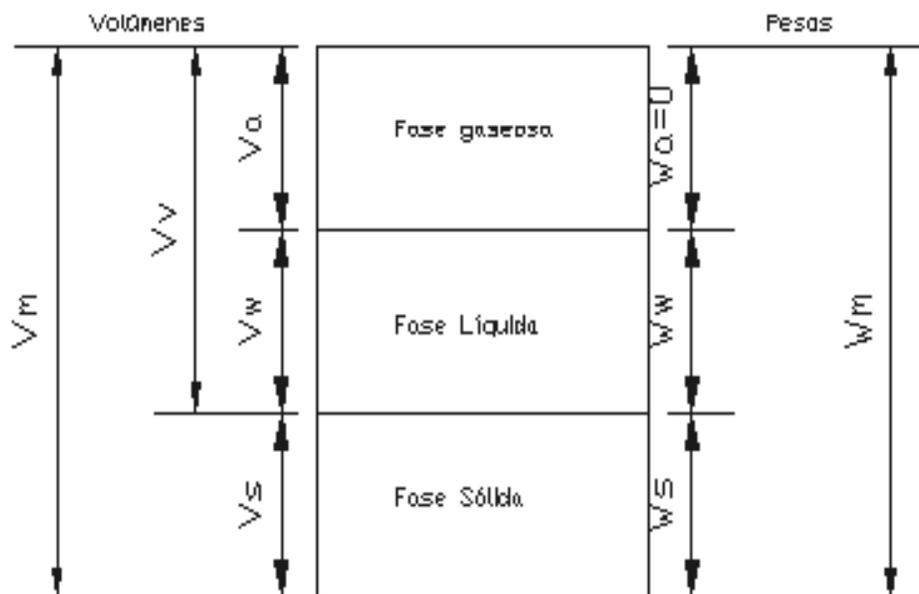
Las fases líquida y gaseosa del suelo suelen comprenderse en el Volumen de Vacíos, mientras que la fase sólida constituye el Volumen de los Sólidos.

Se dice que un suelo es totalmente saturado cuando todos sus vacíos están ocupados por agua. Un suelo en tal circunstancia consta, como caso particular, de sólo dos fases, la sólida y la líquida. Muchos suelos yacientes bajo el nivel freático son totalmente saturados.

Algunos suelos contienen, además, materia orgánica en diversas formas y cantidades; en las turbas, estas materias predominan y consisten en residuos vegetales parcialmente descompuestos.

En los laboratorios de Mecánica de Suelos puede determinarse fácilmente el peso de las muestras húmedas, el peso de las muestras secadas al horno y el peso específico relativo de los suelos. Estas relaciones, de tipo volumétrico y gravimétrico, son de la mayor importancia para la aplicación sencilla y rápida de la teoría y su dominio debe considerarse indispensable.

Fig.1 representa el esquema de la muestra de suelo, en el que aparecen las fases principales, así como los conceptos de uso más común, con los símbolos con que se indicaran en lo que sigue:



**Fig. 2.2.**

Esquema de una muestra de suelo, para indicaciones de los símbolos usados.

El significado de los símbolos es el siguiente:

$V_m$  = Volumen total de la muestra de suelo (volumen de la masa).

$V_s$  = Volumen de la fase sólida de la muestra (volumen de sólidos).

$V_v$  = Volumen de los vacíos de la muestra de suelo (volumen de vacíos).

$V_w$  = Volumen de la fase líquida contenida en la muestra (volumen de agua).

$V_a$  = Volumen de la fase gaseosa de la muestra (volumen de aire).

$W_m$  = Peso total de la muestra del suelo (peso de la masa).

$W_s$  = Peso de la fase sólida de la muestra de suelo (peso de los sólidos).

$W_w$  = Peso de la fase líquida de la muestra (peso del agua).

$W_a$  = Peso de la fase gaseosa de la muestra, convencional mente considerando como nulo en Mecánica de suelos.

### 2.3. RELACIONES VOLUMÉTRICAS.

Las relaciones que se dan a continuación son muy importantes, para el manejo comprensible de las propiedades mecánicas de los suelos y un completo dominio de su significado y sentido físico.

#### 2.3.1. Relación de Vacíos.

Se denomina relación de vacíos, Oquedad o Índice de poros a la relación entre volumen de los vacíos y el de los sólidos de un suelo:

La relación puede variar teóricamente de ( $V_v= 0$ ) a  $\infty$  (valor correspondiente a un espacio vacío). En la práctica no suelen hallarse valores menores de 0.25 (arenas muy compactas con finos) ni mayores de 15, en el caso de algunas arcillas altamente comprensibles.

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (2.1)$$

**Donde:**  $e$  = Relación de vacíos.

$V_v$  = Volumen de vacíos.

$V_s$  = Volumen de sólidos.

#### 2.3.2. Porosidad.

Se llama porosidad de un suelo a la relación entre su volumen de vacíos y el volumen de su masa. Se expresa como porcentaje.

Esta relación puede variar de 0 (en un suelo ideal con solo fase sólida) a 100 (espacio vacío).

Los valores reales suelen oscilar entre 20% y 95%.

$$n(\%) = \frac{V_v}{V_m} \times 100 \quad (2.2)$$

Donde:  $n$  = Porosidad.  
 $V$  = Volumen total de la masa de suelo.  
 $V_v$  = Volumen de vacíos.

### 2.3.3. Grado de Saturación.

Se denomina grado de saturación de un suelo a la relación entre su volumen de agua y el volumen de sus vacíos. Suele expresarse también como un porcentaje.

Varía de 0 (suelo seco) a 100% (suelo totalmente saturado).

$$G_w(\%) = \frac{V_w}{V_v} \times 100 \quad (2.3)$$

**Donde:**  $G_w$  = Grado de saturación.  
 $V_w$  = Volumen de agua.  
 $V_v$  = Volumen de vacíos.

### 2.3.4. RELACIONES GRAVIMÉTRICA (DE PESO).

#### 2.3.4.1. Contenido de Agua o Humedad.

Se conoce como contenido de agua o humedad de un suelo, la relación entre el peso de agua contenida en el mismo y el peso de su fase sólida. Suele expresarse como un porcentaje.

Varía teóricamente de 0 a  $\infty$ . En la naturaleza la humedad de los suelos varía entre límites muy amplios.

$$w(\%) = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \quad (2.4)$$

**Donde:**  $w$  = Humedad del suelo.  
 $W_w$  = Peso del agua.  
 $W_s$  = Peso de los sólidos.

#### 2.3.4.2. Peso Específico.

El peso Específico aparente o total es, por ejemplo, el peso de un elemento de suelo dividido por el volumen de dicho elemento.

$$\gamma = \frac{W}{V} \quad (2.5)$$

Donde:  $\gamma$  = Peso específico de la masa de suelo.

$W$  = Peso de la masa de suelo.

$V$  = Volumen de la masa de suelo.

#### 2.3.4.3. Peso Específico Relativo de una Masa de Suelo.

Se define como la relación entre el peso específico de una sustancia y el peso específico del agua, a 4°C, destilada y sujeta a una atmosfera de presión, este valor difiere poco del peso específico del agua en las condiciones reales de trabajo en muchas cuestiones prácticas, ambos son tomados como iguales, por lo que adoptamos este ultimo para la formula respectiva.

$$G_m = \frac{\gamma}{\gamma_w} \quad (2.6)$$

Donde:  $G_m$  = Peso específico relativo de una masa de suelo.

$\gamma$  = Peso específico de la masa del suelo.

$\gamma_w$  = Peso específico del agua.

#### 2.3.4.4. Peso específico relativo de sólidos.

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad (2.7)$$

Donde:  $G_s$  = Peso específico relativo de los sólidos.

$\gamma_s$  = Peso específico de los sólidos.

$\gamma_w$  = Peso específico del agua.

### 2.3.5. Correlación entre la Relación de Vacíos y la Porosidad.

Considérese una muestra de suelo en representación esquemática, adoptando arbitrariamente el valor unidad para el volumen de sólidos; los demás conceptos aparecen calculados con base a ese dato de partida, aplicando las definiciones correspondientes. Lo anterior equivale a calcular todos los conceptos referidos a una escala de unidades tal que en ella se tenga  $V_s=1$ . Aplicando la definición de Porosidad:

$$n = \frac{V_v}{V_m} = \frac{e}{1+e} \quad (2.8)$$

La expresión (2.8) anterior de una correlación importante entre la relación de Vacíos y la porosidad de un suelo.

De (2.8) se deduce de inmediato que:

$$e = \frac{n}{1-n} \quad (2.9)$$

Podría presentarse la cuestión de cuál sea la razón para usar dos relaciones para describir la magnitud del volumen de vacíos dentro de la muestra de suelo. En efecto, tanto la relación de vacíos como la porosidad, cubren tal finalidad. El término porosidad es más antiguo y sea usado en diferentes campos de la ingeniería civil; la Mecánica de suelos lo ha preferido en lo diferente a las arenas. Para suelos comprensibles (arcillas) es de interés conocer la disminución del volumen de vacíos bajo la influencia de las cargas; en tal caso la porosidad tiene la desventaja de representar una relación entre dos variables, mientras la relación de vacíos expresa la relación de una cantidad variable a una constante ( $V_s$ ), aún para un suelo en comprensión. En vista a lo anterior, Terzaghi consideró oportuno introducir el concepto de la relación de vacíos, originalmente para suelos finos, hoy, el concepto se ha hecho de uso general.

## **2.4. GRANULOMETRÍA EN SUELOS.**

En los comienzos de la investigación de las propiedades de los suelos se creyó que las propiedades mecánicas dependían directamente de la distribución de las partículas constituyentes según sus tamaños; por ello era preocupación especial de los ingenieros la búsqueda de métodos adecuados para obtener tal distribución. Aún hoy, tal parece que todo técnico interesado en suelos debe pasar a modo de etapa de iniciación, por una época en que se siente obligado a creer que, con suficiente experiencia, es posible deducir las propiedades mecánicas de los suelos a partir de su distribución granulométrica o descripción por tamaños; es común, sin embargo, que una no muy dilatada experiencia haga que tal sueño se desvanezca.

Solamente en suelos gruesos, cuya granulometría puede determinarse por mallas, la distribución por tamaños puede revelar algo de lo referente a las propiedades físicas del material; en efecto, la experiencia indica que los suelos bien graduados, o sea con amplia gama de tamaños, tienen comportamiento ingenieril más favorable, en lo que atañe a algunas propiedades importantes, que los suelos de granulometría muy uniforme; en capítulos posteriores, habrá ocasión de resaltar este punto.

Más aún en esos suelos gruesos, ha de señalarse, según ya se dijo, que el comportamiento mecánico e hidráulico está principalmente definido por la compacidad de los granos y su orientación, características que destruye, por la misma manera de realizarse, la prueba de granulometría, de modo que en sus resultados finales sea tenido que perderá toda huella de aquellas propiedades tan decisivas. De esto se desprende lo muy deseable que sería poder hacer una investigación granulométrica con un método tal que respetar la estructuración inalterada del material; este método, sin embargo, hasta hoy no se ha encontrado y todo parece indicar que no se podrá desarrollar jamás.

En suelos finos en estado inalterado, las propiedades mecánicas e hidráulicas dependen de tal grado de su estructuración e historia geológica, que el conocimiento de su granulometría, resulta totalmente inútil.

Sin embargo, el ingeniero interesado en suelos debe de estar suficientemente familiarizado con los criterios técnicos basados en la distribución granulométrica y con los métodos más importantes para su determinación, pues estos temas ocupan aún un espacio apreciable dentro de la literatura técnica y se hace necesario al ingeniero moderno estar más informado sobre esta materia que aquellos que, sin la conveniente meditación de sus ideas, aplican normas simplistas, conducentes a conclusiones inaceptables.

Dentro del análisis de los suelos, se encuentra el de la granulometría, que no es más que obtener la distribución porcentual de los tamaños de partículas que conforman un suelo. Esto se realiza con ayuda de un juego de mallas, que tienen un tamaño graduado establecido por las normas ASTM Y AASHTO, en donde se obtiene 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 pueda tener los gramos 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 no ser así, la representación grafica tendría que usar una escala demasiado grande.

Algunas clasificaciones granulométricas de los suelos según su tamaño, son las siguientes:

**Tabla N° 1.**

<b>MATERIAL</b>	<b>CARACTERÍSTICA</b>	<b>TAMAÑO mm.</b>
Piedra	---	Mayor de 70 mm.
Grava	Gruesa	30 a 70 mm.
	Media	5 a 30 mm.
Arena	Fina	2 a 5 mm.
	Gruesa	1 a 2
	Media	0.2 a 1
	Fina	0.1 a 0.2

Polvo	Grueso	0.05 a 0.1
	Fino	0.02 a 0.05
Limo	Grueso	0.006 a 0.02
	Fino	0.002 a 0.006
Arcilla	Gruesa	0.0006 a 0.002
	Fina	0.0002 a 0.0006
Ultra arcilla	---	0.00002 a 0.0002

A continuación exponemos una descripción aproximada del diámetro de las partículas desde los más gruesos hasta los más finos:

**Tabla N° 2.**

<b>MATERIAL</b>	<b>TAMAÑO</b>
Piedra Bolón	12 pulgadas
Cantos rodados	6 a 12 pulgadas
Grava	2 mm. a 6 pulgadas
Arena	0.06 mm a 2 mm.
Limo	0.002 mm. a 0.06 mm.
Arcilla	Menores a 0.002 mm.

Debido a la gran variedad de tamaños de granos se ha tratado de dividir en secciones toda la escala de tamaños, existiendo para estos varios tipos de proporciones y el más aceptable es la adoptada por A.S.T.M. (American Society for Testing and Materials) en esta escala las gravas corresponden a las partículas más gruesas que incluyen a los granos mayores al tamiz No 4 (4.76 mm), la arena está comprendida entre el tamiz No 200 (0.074 mm). Los granos finos menores que el tamiz No 200 se subdividen en limos que son mayores a 0.002 mm. y menores a 0.002 mm. Se encuentran las denominadas arcillas.

Puede notarse que las clasificaciones anteriores y otras existentes se contradicen en ocasiones, y a un intervalo que se nombra de una manera en una clasificación, le corresponde otra palabra en otro sistema. Pero sin duda, la objeción más importante que puede hacerse a estos sistemas es el uso que hacen de las palabras *limo* y *arcilla*

para designar fracciones de suelo definidas exclusivamente por tamaños. Estos términos se han usado en ingeniería como nombres para designar tipos de suelo con propiedades físicas definidas; la razón por la que estos nombres se introdujeron para ciertas fracciones de tamaños fue la idea errónea de que tales tamaños eran las causas de aquellas características típicas. Sin embargo, hoy se sabe que las características de una arcilla típica se deben en forma muy preponderante a las propiedades de su fracción más fina.

#### 2.4.1. Tamaño Patrón de Tamices

Todos los tamices de tipo U.S pueden conseguirse en un diámetro de 20 cm. la mayoría en 30.5 cm. Los tamices son hechos de malla de alambre forjado con aberturas rectangulares que varían en tamaños desde 101.6 mm. (4") en la serie más gruesa hasta el No 400 (0.038 mm.) en la serie correspondiente al suelo fino.

**Tabla N° 3.**

<b>TAMICES</b>	<b>TAMAÑO DE MALLA (mm)</b>
2"	50.80
1 ½"	38.10
1"	25.40
¾"	19.05
½"	12.70
⅜"	9,52
N° 4	4.75
N°8	2.36
N°10	2.00

**Tabla N° 4.**

<b>TAMICES</b>	<b>TAMAÑO</b>
N°16	1,18
N°30	0,6
N°40	0,425
N°50	0,3
N°100	0,15
N°200	0,08

## 2.4.2. Representación de la Distribución Granulométrica.

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

La gráfica 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 (eje de abscisas en escala logarítmica) resulta preferible a la simple representación natural, pues en la primera se dispone de mayor amplitud en los tamaños finos y muy finos, que en escala natural resultan muy comprimidos, usando un módulo práctico de escala.

La forma de la curva da inmediata idea de la distribución granulométrica del suelo; un suelo constituido por partículas de un solo tamaño, estará representado por una línea vertical (pues el 100% de sus partículas, en peso, es de menor tamaño que cualquier mayor que el que el suelo posea); una curva muy tendida indica gran variedad en tamaños (suelo bien graduado).

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

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

En donde:

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

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

En realidad es un coeficiente de *no uniformidad*, pues su valor numérico decrece cuando la uniformidad aumenta. Los suelos con  $C_u < 3$  se considera muy uniforme; aún las arenas naturales muy uniformes rara vez presentan  $C_u < 2$ .

Como dato complementario, necesario para definir la uniformidad, se define el coeficiente de curvatura del suelo con la expresión.

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

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.

## **2.5. PLASTICIDAD.**

### **2.5.1. Generalidades.**

La plasticidad es en este sentido, una propiedad tan evidente que ha servido en antaño para clasificar suelos en forma puramente descriptiva. Es la propiedad que representa los suelos de poder deformarse, hasta cierto límite, sin romperse.

Por medio de ella se mide el comportamiento de los suelos en todas las épocas. Las arcillas presentan esta propiedad en grado variable. Para conocer la plasticidad de un suelo se hace uso de los límites de Atterberg, quien por medio de ellos separó los cuatro estados de consistencia de los suelos coherentes. Los límites se basan en el concepto de que un suelo de grano fino solamente puede existir en cuatro estados de consistencia según su humedad. Así un suelo se encuentra en estado sólido cuando está seco, pasando al añadir agua a los estados semisólido, plástico y finalmente líquido.

En mecánica de suelos puede definirse la plasticidad como la propiedad de un material por la cuál es capaz de soportar deformaciones rápidas, sin rebote elástico, sin variación

volumétrica apreciable y sin desmoronarse ni agrietarse. Con esta definición se logra circunscribir la propiedad a las arcillas en ciertas circunstancias, según se verá más adelante.

Los mencionados límites son: Límites Líquido (LL), Límite Plástico (LP) y Límite de Contracción (LC) y mediante ellos se puede dar una idea del tipo de suelo en estudio. Todos los límites de consistencia se determinan empleando suelo que pase la malla N°40. La diferencia entre los valores del límite líquido (LL) y del límite plástico (LP) da el llamado Índice de Plástico (IP) del suelo. Los límites líquido y plástico depende de la cantidad y tipo de arcilla del suelo, pero el índice plástico depende generalmente de la cantidad de arcilla. Cuando no se puede determinar el límite plástico de un suelo se dice que no es plástico (N.P.) y en este caso el índice plástico se dice que es igual a cero. El índice de plasticidad indica el rango de humedad a través del cual los suelos con cohesión tienen propiedades de un material plástico.

Según Atterberg cuando un suelo tiene un índice plástico (IP) igual a cero el suelo es no plástico; cuando el índice plástico es menor de 7 el suelo presenta baja plasticidad; cuando el índice plástico está comprendido entre 7 y 17 se dice que el suelo es medianamente plástico y cuando el suelo presenta un índice de plástico mayor de 17 se dice que es altamente plástico.

### **2.5.2. Estado de Consistencia. Límites de Plasticidad.**

Para medir la plasticidad de las arcillas se han desarrollado varios criterios, de los cuales uno solo, el debido a Atterberg, se mencionará en lo que sigue. Atterberg hizo ver que, en primer lugar, la plasticidad no era una propiedad permanente de las arcillas, sino circunstancial y dependiente de su contenido de agua. Una arcilla muy seca puede tener la consistencia de un ladrillo, con plasticidad nula, y esa misma, con gran contenido de agua, puede presentar las propiedades de un lodo semilíquido o inclusive las de una suspensión líquida. Entre ambos extremos, existe un intervalo del contenido de agua en que la arcilla se comporta plásticamente. En segundo lugar, Atterberg hizo ver que la plasticidad de un suelo exige, para ser expresada en forma conveniente, la utilización de dos parámetros en lugar de uno solo, como hasta su época se había creído, además señaló esos parámetros y un modo tentativo.

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

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

Los anteriores estados son fases generales por las que pasa el suelo al irse secando y no existen criterios estrictos para distribuir sus fronteras.

Atterberg estableció las primeras convenciones para ello, bajo el nombre general de límites de consistencia.



**Fig. 2.5.2.1 Estado de Consistencia.**

La frontera convencional entre los estados semilíquidos y plástico fue llamada por Atterberg límite líquido, nombre que hoy se conserva. Atterberg lo definió en términos de una técnica de laboratorio que consistía en colocar el suelo re moldeado en un cápsula, formando en él una ranura, según la fig. 2.5.2.1, y en hacer cerrar la ranura golpeando secamente la cápsula contra una superficie dura; el suelo tenía el contenido de agua correspondiente al límite líquido, según Atterberg, cuando los bordes inferiores de la ranura se tocaban, sin mezclarse, al cabo de un cierto número de golpes.

La frontera convencional entre los estados plásticos y semisólidos fue llamada por Atterberg límite plástico y definido también en términos de una manipulación de laboratorio.

Atterberg consideraba que la plasticidad del suelo quedaba determinada por el límite líquido y por la cantidad máxima de una cierta arena, que podría ser agregada al suelo, estando este con el contenido de agua correspondiente al límite líquido sin que perdiera por completo su plasticidad. Además encontró que la diferencia entre los valores de los límites de plasticidad llamada **Índice de Plasticidad**, se relacionaba fácilmente con la cantidad de arena añadida siendo de más fácil determinación, por lo que sugerido su uso, en lugar de la arena, como segundo parámetro para definir la plasticidad.

$$I_p = LL - LP \quad (1)$$

Además de los límites de plasticidad (líquido y plástico) ya señalados, Atterberg definió otros límites de consistencia, que se mencionan a continuación:

- El límite de adhesión definido como el contenido de agua con el que la arcilla pierde sus propiedades de adherencia con una hoja metálica, por ejemplo una espátula.
- El límite de cohesión definido como el contenido de agua con que los grumos de arcilla ya no se adhieren entre sí.
- El límite de contracción frontera entre los estados de consistencia semisólida y sólido, definido con el contenido de agua con el que el suelo ya no disminuye su volumen al seguirse secando.

De estos límites solo el de contracción presenta un interés definido en algunas importantes aplicaciones de la mecánica de suelos. Este límite se manifiesta visualmente por un característico cambio de tono oscuro a más claro que el suelo presenta en su proximidad, al irse secando gradualmente. Atterberg lo determinaba efectuando mediciones durante el proceso de contracción.

## 2.5.3 Determinación del Límite Líquido y Plástico.

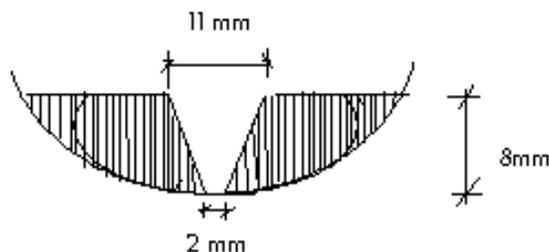
### 2.5.3.1. Determinación del Límite Líquido.

Cuando la plasticidad se convirtió en una propiedad índice fundamental, a partir de la utilización que Terzaghi y Casagrande hicieron de ella, la determinación de los límites de plasticidad se transformó en prueba de rutina en todos los laboratorios. En vista de lo cual, Terzaghi sugirió a Casagrande la tarea de elaborar un método de prueba para la determinación del límite líquido estandarizado todas sus etapas, de modo que operadores diferentes en laboratorios distintos obtuviesen los mismos valores.

Como el resultado de la investigación nació la técnica basada en el uso de la copa Casagrande que es un recipiente de bronce o latón con un tacón solidario del mismo material; el tacón y la copa gira en torno a un eje fijo unido a la base. Una excentricidad hace que la copa caiga periódicamente, golpeándose contra la base del dispositivo, que es de hule duro. La altura de caída de la copa es por especificación de 1 cm. Medido verticalmente desde el punto de la copa que toca la base al caer, hasta la base misma, estando la copa en un punto más alto. Es importante que este ajuste se haga con todo cuidado, usando un prisma metálico de 1 cm de lado para hacer la calibración; este prisma se introduce entre base y copa, cuidando que su arista superior quede en contacto con el punto de la copa que golpe la base. (En las copas usadas este punto se delata por la brillantez causada por el desgaste).

La copa es esférica, con radio interior de 54 mm, espesor 2mm y peso  $200 \pm 20$  incluyendo el tacón.

Sobre la copa se coloca el suelo y se procede a hacerle una ranura trapecial con las dimensiones mostradas en la fig. III.



**Fig. 2.5.3.1.**

Dimensiones de la ranura en la copa Casagrande.

La copa se sostiene con la mano izquierda, con el tacón hacia arriba y el ranurador se pasa a través de la muestra, manteniéndolo normalmente en su superficie, a lo largo del meridiano que pasa por el tacón, con un movimiento de arriba hacia abajo.

En poco tiempo se obtiene la soldura necesaria para hacer una ranura apropiada, con una sola pasada suave del ranurador, en una arcilla bien mezclada, sin partículas gruesa. En mezclas no uniformes o con partículas gruesas, los bordes de la ranura tienden a rasgarse, cuando esto suceda es suelo ha de volver a remodelarse con la espátula colocando de nuevo y formando otra vez a ranura. En los suelos con arena o material orgánico no se puede formar la ranura con el ranurador debiendo usarse entonces la espátula, utilizando el ranurador solo para verificar las dimensiones.

En ocasiones se ha usado otros ranurador, curvo con sección trapecial, que no rebana el suelo al ser introducido en él, sino que forma la ranura desplazándolo, lo cual hace que se rompa la adherencia entre el suelo y la copa, especialmente en suelos arenosos en tal caso los golpes hacen que el suelo se deslice cerrando más pronto la ranura por la falta de aquella adherencia; por tal causa este ranurador no es aconsejable.

El límite líquido se define como el contenido de humedad expresada en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra, con el cual el suelo cambia del estado líquido al plástico. De acuerdo con esta definición los suelos plásticos tienen en el límite líquido una resistencia muy pequeña al esfuerzo de corte, pero definida y según Atterberg es de 25 g/cm<sup>2</sup>. La cohesión de un suelo en el límite líquido es prácticamente nula.

Partiendo de la hipótesis de que la pendiente de la relación número de golpes ha contenido de agua representada a escala semilogarítmica es una recta, en la cual el límite líquido puede ser obtenido a partir de cualquier punto de la curva, Lambe ha sugerido el empleo de la siguiente expresión:

$$LL = w \left( \frac{N}{25} \right)^{0.121} \quad (2)$$

**Donde:**

LL = Límite Líquido calculado del suelo.

W = Porcentaje de humedad arbitraria del suelo con respecto al peso seco.

N = Número de golpes necesario para cerrar la ranura en la copa de Casagrande, correspondiente a w.

La fórmula de Lambe puede ser usada con suficiente grado de presión en el cálculo del límite de un suelo, siempre y cuando se amase la pasta de suelo con un contenido de humedad tal que se cumpla con la condición imprescindible, de que N (número de golpes) este comprendido entre 20 y 30.

### **2.5.3.2. Determinación del Límite Plástico.**

La prueba para la determinación del límite plástico, tal como Atterberg la definió, no especifica el diámetro al que debe llegarse al formar el cilindro de suelo requerido. Terzaghi agregó la condición de que el diámetro sea de 3 mm (1/8"). La formación de los rodillos se hace usualmente sobre una hoja de papel totalmente seca, para acelerar la pérdida de humedad del material; también es frecuente efectuar el rolado sobre una placa de vidrio. Cuando los rollitos llegan a los 3mm, se doblan y presionan, formando una pastilla que vuelve a rolarse, hasta que en los 3 mm justos ocurra el desmoronamiento y agrietamiento; en tal momento se determinara rápidamente su contenido de agua, que es el límite plástico.

Se han hecho varios intentos para sustituir el rolado manual por la acción mecánica de algún aparato, pero sin resultados satisfactorios, debido, en primer lugar, a que la experiencia ha demostrado que en esta prueba la influencia del operador no es importante y en segundo a que hasta la fecha no ha podido desarrollarse ningún aparato en que la presión ejercida se ajuste a la tenacidad de los diferentes suelos; en el rolado manual, el operador guiado por el tacto hace el ajuste automáticamente.

El límite plástico se define como el contenido de humedad, expresado en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra secada al horno, para el cual los suelos cohesivos pasan de un estado semisólido a un estado plástico.

Cuando al rodillar la bola de suelo se rompa el filamento al diámetro de 1/8" se toman todos los pedacitos se pesan, se secan el horno en un vidrio, vuelven a pesarse ya secos y se determina la humedad correspondiente al límite plástico de la siguiente manera:

$$LP = \frac{(P_h - P_s)}{P_s} \times 100 = \frac{P_w}{P_s} \times 100 \quad (3)$$

**Donde:**

LP = Humedad correspondiente al límite plástico en %.

Ph = Peso de los trocitos de filamentos húmedos en gramos.

Ps = Peso de los trocitos de filamentos secos en gramos.

Pw = Peso del agua contenida en los filamentos pesados en gramos.

El límite plástico es muy afectado por el contenido orgánico del suelo, ya que eleva su valor sin aumentar simultáneamente el límite líquido. Por tal razón los suelos con contenido orgánico tienen bajo índice plástico y límites líquidos altos.

El Límite Plástico se puede obtener de distintas maneras o métodos como ser:

**2.5.3.3. Método de Casagrande.**

Este es el método a realizar en esta práctica y consiste en el uso de una copa o recipiente de bronce o latón el cual gira en torno a un eje fijo unido a una base, una excéntrica hace que la copa caiga golpeándose de una altura especificada de un centímetro.

Después de colocar la muestra se acciona el excéntrico para producir golpes y cuando se alcance cierta unión de los bordes ranurador se anota el número de golpes dados y se obtiene de este ensayo su contenido de humedad, se necesitan cuatro ensayos.

**2.5.3.4. Método del Cono.**

Este método preferido por las normas británicas consiste en la medición de la penetración de un cono sobre una muestra preparada (se toma el promedio de varias lecturas de penetración de una misma muestra que no excedan de cierto rango, pudiendo ser posible que promediarse hasta tres) especialmente para este ensayo, se mide la penetración y el contenido de humedad en cuatro muestras diferentes del mismo suelo y se gráfica

penetración y contenido de humedad, se toma el valor del contenido de humedad a cierta penetración (20 mm) en la gráfica como contenido de humedad.

## **2.6 CLASIFICACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE SUELOS.**

Dada la complejidad y prácticamente, infinita variedad con que los suelos se presentan en la naturaleza, cualquier intento de sistematización científica, debe ser procedido por otro clasificación completa.

La Mecánica de Suelos desarrolló estos sistemas de clasificación desde un principio; primeramente, dado el escaso conocimiento que sobre los suelos se tenía, fundándose en criterios puramente descriptivos, nacieron así varios sistemas, de los cuales, los basados en las características granulométricas, ganaron popularidad rápidamente.

Es evidente que un sistema de clasificación que pretenda cubrir hoy las necesidades correspondientes, debe estar basado en las propiedades mecánicas de los suelos, por ser éstas fundamentales para las aplicaciones de la ingeniería, a la vez esta base debe ser preponderantemente cualitativa, puesto, que un sistemas que inclusive relaciones cualitativas y de detalles respecto a los propiedades mecánicas resultaría, sin duda, excesivamente complicado y de engorroso aplicación práctica ; además un sistema útil de clasificación debe servir para normas el criterio del técnico, respecto al suelo del que se trate, previamente a un conocimiento más profundo y extenso de las propiedades del mismo ; de hecho, una de las más importantes funciones de un sistema sería proporcionar la máxima información normativa, a partir de la cual el técnico sepa en qué dirección profundizar su investigación.

Entre los diversos estudios tendiendo a encontrar un sistema de clasificación que sustraje los distintos campos de aplicación a Mecánica de Suelos, destacan los efectuados por el doctor A. Casagrande en la Universidad de Harvard, los cuales en el causado sistema de clasificación de Aeropuertos, así originalmente llamado, debido a que estaba orientado para uso en aquel tipo de obras.

Este sistema reconoce que las propiedades mecánicas e hidráulicas de los suelos constituidos por partículas menores que el tamiz N° 200, pueden deducirse cualitativamente a partir de sus características de plasticidad ; en cuanto a los suelos formados por partículas mayores que la malla mencionada, el criterio básico de clasificación es aún el granulométrico que, aunque no es lo determinante para el comportamiento del material, si puede usarse como base de clasificación en los materiales granulares.

### **2.6.1. Sistemas de Clasificación.-**

La medida de las propiedades fundamentales de un suelo, como la permeabilidad, la compresibilidad y la resistencia, puede ser difícil, caro y requerido mucho tiempo.

En muchos problemas de ingeniería de suelos, como el proyecto de pavimentos, no se dispone de expresiones racionales para analizar la solución numéricamente; por estas razones, puede ser muy útil dividir los suelos en grupos con comportamiento similar, a esto, es a lo que denomina “Clasificación de suelos”.

La clasificación de suelos, consiste pues, en incluir un suelo en un grupo que presenta un comportamiento semejante; la correlación de unas ciertas propiedades con un grupo de un sistema de clasificación suele ser un proceso empírico puesto a punto a través de una experiencia considerable. La clasificación de suelos permite resolver muchos tipos de problemas sencillos, y sirve de guía para programa de experimentación, si la dificultad e importancia del problema requerido una investigación más profunda.

La profundidad de las clasificaciones de suelos utiliza pruebas muy sencillas, de tipo indicativo, para obtener las características del suelo necesarias para asignarlo a un determinado grupo. Evidentemente una clasificación de suelos pierden su valor si las pruebas resultan más complicadas que las necesarias para medir directamente la propiedad fundamental que se desea conocer, las características más usadas corrientemente, son la granulometría y la plasticidad.

Como las clasificaciones de suelos se han preparado para servir de ayuda en las resolución de problemas, han surgido clasificaciones adoptadas a muchos tipos de problema, así pues,

pura su utilización en problemas de flujo y filtración, los suelos se clasifican según su grado de permeabilidad, siendo esta elevada, media, baja y muy baja y prácticamente nula. El cuerpo de ingenieros del Ejército de los EE.UU. han desarrollado una clasificación de susceptibilidad a la helada en lo cual, partiendo de la granulometría, se puede clasificar un suelo en categorías según su comportamiento a la helada. El Bureau of Public Roads ha preparado una clasificación de los suelos utilizados en la construcción de carreteras. Tanto el cuerpo de Ingenieros como la Federal Arictión Agency han desarrollado clasificación para la construcción de pistas de aeropuertos.

En 1952 el Bureau of Rodamación y el Campo de Ingenieros presentaron un “sistema unificado” destinado a servir para todos los problemas de ingeniería en los que intervinieran suelos.

La clasificación de suelos constituye una ayuda valiosa para el ingeniero, le da indicaciones generales, transformando de manera empírica los resultados de la experiencia de cuerpo; sin embargo el ingeniero debe ser precavido al utilizar las clasificaciones de suelos, la resolución de problemas de flujo, asentamiento o estabilidad únicamente a partir de clasificaciones puede llevarle a resultados desastrosos.

Las correlaciones empíricas entre las propiedades características y el comportamiento de un suelo pueden presentar grandes dispersiones.

Existen tablas que dan indicaciones generales sobre la permeabilidad, resistencia y compresibilidad de diversos tipos de suelos de cada grupo para ser empleado en presas de tierra, canales, cimentaciones y pistas de aeropuertos; todas estas están incluidas en el informe.

En todos los sistemas de clasificación es absolutamente esencial acompañar el símbolo de clasificación con la descripción debido del suelo, pues el símbolo particular de grupos es demasiado amplio y general como criterio de clasificación para suelos específicos.

Debido a que existe mucha similitud entre los diferentes métodos de clasificación de suelos unificados y AASHTO, son los más ampliamente usados, de ahí que se tendrá en cuenta solamente estos dos sistemas en la clasificación, en otro sistema será mencionado.

## **2.6.2 Sistema ASSTHO.**

### **2.6.2.1 Clasificación de Suelos AASTHO.-**

Hace varios años, los organismos viales de los EE.UU. de M.A., sugirieron diferentes clasificaciones para los suelos, hoy en día todas esas clasificaciones han sido agrupados en una sola, que se basa en la que originalmente propuso el Bureau of Public Roads en 1929.

La AASTHO., que representa a todos los Departamentos de Carreteras de los EE.UU. de M.A., han adoptado esta verificación; la cual fue designada como “Clasificación AASTHO.”.

En esta clasificación los suelos se dividen en siete grupos, de acuerdo a la composición granulométría, el límite líquido y el índice de plasticidad de un suelo. El índice de grupo es más una evaluación de cada grupo, que se calcula mediante una fórmula empírica.

#### **2.6.2.2 Material Granular con el 35% o menos del total que pasa el tamiz N° 200.**

**Grupo A-1:** Son mezclas bien graduadas, compuestas por piedra, grava, arena y poco o casi nada de material fino, (denominado material ligante).

**Subgrupo A-1-a:** Es bien graduado, predomina la piedra y grava, casi no tiene ligante.

**Subgrupo A-1-b:** Es bien graduado, predomina las arenas gruesas, casi no tiene ligante.

Estos materiales generalmente se encuentran en ríos y quebradas.

**Grupo A-2:** Contiene menos del 35% de material fino.

**Subgrupo A-2- 4 y A-2-5:** El contenido de material fino es menor o igual al 35%, la fracción que pasa el tamiz N° 40, se comporta igual a los grupos A- 4 y A- 5 respectivamente.

Son gravas y arenas (arenas gruesas), que contiene limo y arcilla en cantidades reducidas, cuya plasticidad es baja, pero que excede al grupo A-1, también influye la arena fina con limos no plásticos que se describirán en el grupo A – 3.

**Subgrupo A-2-6 y A-2-7:** La única diferencia de los anteriores, es que la fracción que pasa el tamiz N° 40, se comporta en plasticidad igual a los grupos A-5 y A-7.

**Grupo A-3:** Son arenas finas conteniendo limos no plásticos, algunas veces pueden contener poca grava y arena gruesa.

### **2.6.2.3 Material limo arcilloso, más del 35% del total pasa el tamiz N° 200.**

**Grupo A-4:** Son suelos limosos, poco o nada plásticos, puede contener más de un 75% del material que pasa el tamiz N° 200.

**Grupo A-5:** Son muy similares al anterior, pero contienen un material micáceo, que hace que el límite líquido a veces sean elevados, además de aparecer una propiedad elástica rara en los suelos.

**Grupo A-6:** Predomina la arcilla, más del 75% del material pasa el tamiz N° 200, este suelo suele contener pequeños porcentajes de arenas finas y limo cuyas características son absorbidas por el gran porcentaje de arcilla.

**Grupo A-7:** Se parecen mucho al grupo A-6. Pero estos tienen propiedades elásticas, además su límite líquido casi siempre es elevado.

**Subgrupo A- 7- 5:** Sus índices de plasticidad no son muy altos con respecto a sus límites líquidos.

**Subgrupo A- 7- 6:** Sus índices de plasticidad son muy altos con respecto a sus límites líquidos, además presentan grandes cambios de volumen entre sus estados seco y húmedo.

Para una mejor comprensión se presenta la siguiente tabla para la clasificación AASHTO.

### 2.6.2.2 Tabla 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)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Clasificación de grupo	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	50máx.										
N°200	30máx. 15máx.	50máx. 25máx.	51 min. 10máx.	35máx.	35máx.	35máx.	35máx.	36 min.	36min.	36min.	36 min.
Características de la Fracción que pasa el tamiz N° 40											
LL:				40máx.	41min.	40máx.	40máx.	40máx.	41min.	40máx.	41 min.
IP:	6 máx.		NP	10máx.	10máx.	11 min.	11min.	10máx.	10máx.	11min.	11 min.
Índice de Grupo	0		0	0			4 máx.	8máx.	12máx.	16máx.	20 máx.

Rangos del límite líquido e índice de plasticidad para los grupos de suelos A-4, A-5, A-6 y A-7.

### 2.6.2.4 Índice de Grupo.

Es un factor de evaluación, que determina la calidad del suelo a través de características similares en grupos de suelos, el índice de grupo es muy importante en el diseño de espesores, inclusive un método lleva el mismo nombre.

La siguiente fórmula determina el índice de grupo.

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

Donde:

$a = \% \text{ pasa } N^{\circ} 200 - 35\% (\text{Si } \% N^{\circ} 200 > 75, \text{ se anota } 75, \text{ si es } < 35, \text{ se anota } 0)$

$b = \% \text{ pasa } N^{\circ} 200 - 15\% (\text{Si } \% N^{\circ} 200 > 55, \text{ se anota } 55, \text{ si es } < 15, \text{ se anota } 0)$

$c = \text{Límite líquido} - 40 \% (\text{Si } LL > 60, \text{ si es } < 40, \text{ se anota } 0)$

$d = \text{Índice de plasticidad} - 10 \% (\text{Si } IP > 30, \text{ se anota } 30, \text{ si es } < 10, \text{ se anota } 0)$

Condicionando que cualquier factor que pudiera salir negativo, este se asume con el valor de cero (0). Los máximos valores del índice de grupo se encuentran en la tabla de clasificación.

### **2.6.3. Sistema S.U.C.S.**

#### **2.6.3.1. Clasificación Unificada de Suelos.**

Es empleada con frecuencia por ingenieros de carreteras y ha sido adoptado por el Campo de Ingenieros del Ejército; es una revisión de la clasificación que inicialmente presento el profesor A. Casagrande y se ha designado como “Clasificación Unificado de Suelos”. Divide a los suelos en dos grupos: “granulares” y “finos”.

#### **2.6.3.2. Primer Grupo.**

En el primer grupo se hallan las gravas, arenas y suelos grasosos o arenosos, con pequeña cantidad de material fino (limo o arcilla), son designados de la siguiente forma:

Gravas ó suelos grasosos: GW, GP, GI y GU.

Arenas ó suelos arenosos: SW, SP, SC y SM.

Las siglas representan:

G: Gravas ó suelo grasoso.

S: Arena ó suelo arenoso.

W: Bien graduado.

C: Arcilla inorgánico.

P: Mal graduado.

M: Limo inorgánico o arena fina.

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

**a) Grupos GW y SW.**

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

**b) 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.

**c) Grupos GM y SM.**

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

**d) Grupos GC y SC.**

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

**2.6.3.3 Segundo Grupo**

Se encuentran los suelos finos, limos 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 limo arcillosas con alto contenido de material orgánica.

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

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

**a) Grupos CL y CH.**

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

**b) Grupos ML y MH.**

Son limos inorgánicos de baja y alta compresibilidad, esta clasificación incluye a las arcillas inorgánicas.

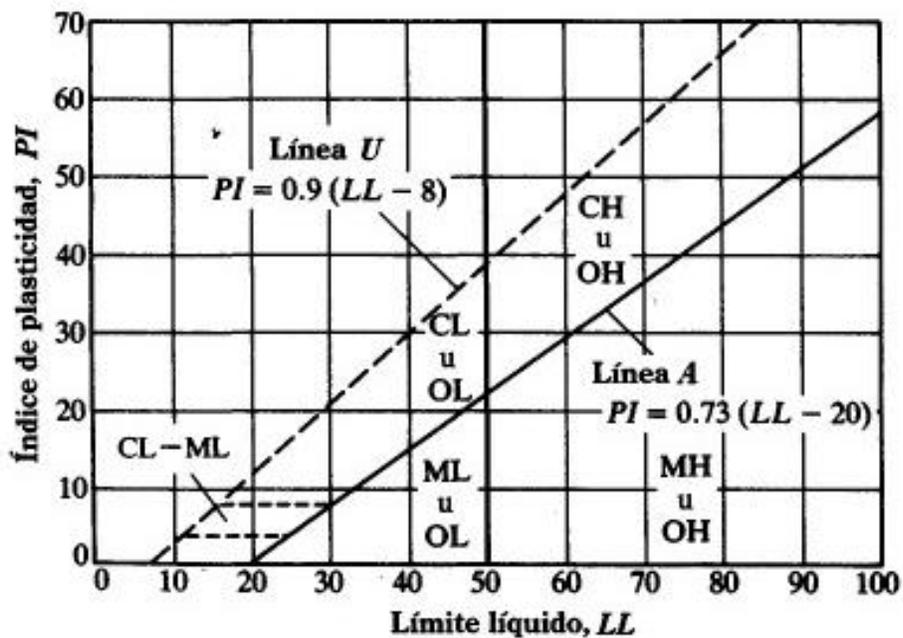
**c) Grupos OL y OH.**

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

**d) 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 %.

**Cuadro 2.6. Carta de Plasticidad.**



De la misma manera, existe una infinidad de tablas que ayudan al empleo de éste sistema de clasificación más general.

En función de la granulometría se clasifican los suelos en cuatro grandes grupos:

- **Gravas**, con tamaño de grano entre unos 80 mm y 4,75 mm. Los granos son observables directamente, existen grandes huecos entre las partículas y no retienen el agua.
- **Arenas**, con partículas de tamaño entre 4,75 mm. y 0,075 mm. Éstas son observables a simple vista y se mantienen inalterables en presencia de agua.
- **Limos**, con partículas comprendidas entre 0,075 mm. y 0,002 mm. Retienen el agua y si se forma una pasta limo-agua y se coloca sobre la mano, al golpear con la mano se aprecia cómo el agua se exuda con facilidad.
- **Arcillas**, cuyas partículas tienen tamaños inferiores a 0,002 mm. Son partículas de tamaño gel y están formadas por minerales silicatados, constituidos por cadenas de elementos tetraédricos y octaédricos, unidas por enlaces covalentes débiles y pudiendo entrar las moléculas de agua entre las cadenas, produciendo aumentos de volumen, a veces muy importantes. Por tanto, presentan una gran capacidad de retención de agua, con un porcentaje de huecos muy elevado (huecos pequeños pero con una gran superficie de absorción en las partículas). Debido a que el tamaño de los huecos es muy pequeño (aunque el índice de huecos es elevado), exhiben unos tiempos de expulsión de agua muy elevados y una permeabilidad muy baja.

# TABLA DE SUOS

#### **2.6.4. Prueba del 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 semilogarítmica 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, ó sea 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.

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

Siguiendo estos últimos G.G. Stokes en 1850, obtuvo una relación aplicable a una esfera que caiga en un fluido homogéneo de extensión infinita.

Aplicando esa ley se obtiene el diámetro equivalente de la partícula que es el diámetro de una esfera, del mismo peso específico del suelo, que se sedimente con la misma velocidad que la partícula real; en partículas equidimensionales este diámetro es aproximadamente igual al medio diámetro real puede ser hasta cuádruple del equivalente, cabe notar que en partículas muy finas esta forma es la más frecuente.

Esta es una razón más para que dos curvas granulométricas iguales correspondientes a dos suelos diferentes no indiquen necesariamente la similitud de ambos.

Uno podría ser una arcilla muy franca con estructura flocculante y el otro una harina de roca, de comportamiento similar al de una arena.

La ley de Stokes está dada por la expresión:

$$V = \frac{2 (s - p)^2 D^2}{9 \mu}$$

**En donde:**

V = Velocidad de caída de la esfera cm. /s.

s = Peso específico de la esfera.

p = Peso específico del fluido.

$\mu$  = Viscosidad absoluta o dinámica de fluido.

D = Diámetro de la esfera.

Para obtener la velocidad de caída de las partículas se utiliza el hidrómetro, este aparato se desarrolló 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 de 1000cm<sup>3</sup>, se obtiene una solución con una gravedad específica ligeramente mayor que 1,000 (ya que G del agua destilada es de 1,000 a 4°C).

El agente dispersante llamado también de floculante se añade a la solución para neutralizar las cargas sobre las partículas más pequeñas de suelo, que a menudo tiene carga negativa.

Con orientación adecuada, estos granos cargados eléctricamente se atraen entre sí con fuerza suficiente para permanecer unidos, creando así unidades mayores que funcionan como partículas. De acuerdo con la ley de Stokes, estas partículas mayores sedimentaran más rápidamente a través del fluido que las partículas aisladas. El hexametáfosfato de sodio, también llamado meta fosfato, y el silicato de sodio o vidrio líquido son dos materiales usados muy a menudo como agentes dispersores para neutralizar la carga eléctrica de las partículas de suelo.

La mayor parte de los hidrómetros están calibrados para medir la relación del peso específico de un líquido respecto al del agua a una cierta temperatura de calibración que suele ser de 20°C.

El hidrómetro usado más comúnmente es el tipo 152H y está calibrado para leer G de suelo de un valor de  $G = 2,65$  en  $1000 \text{ cm}^3$  de suspensión siempre que no haya más de 60 gr. De suelo en la solución. La lectura por consiguiente está directamente relacionada con la gravedad específica de la solución. Esta calibración particular del hidrómetro es una ayuda considerable.

Existen otros tipos de hidrómetros que pueden ser leídos en términos de la gravedad específica de la suspensión suelo- agua.

El hidrómetro determina la gravedad específica de la suspensión agua - suelo en el centro del bulbo, todas las partículas de mayor tamaño que aquellas que se encuentren aún en suspensión en la distancia entre el centro de volumen del bulbo y la superficie del agua habrán caído por debajo de la profundidad del centro de volumen y esto hace decrecer permanentemente la gravedad específica de la suspensión en el centro del volumen del hidrómetro. Además es obvio que como el hidrómetro tiene un peso constante a medida que disminuye la gravedad específica de la suspensión, el hidrómetro se hundirá más adentro de la suspensión, aumentando así la distancia entre el centro del volumen del bulbo y la superficie del agua. Es preciso recordar también que la gravedad específica del agua decrece a medida que la temperatura aumenta o disminuye de 4°C, esto ocasiona adicionalmente un hundimiento mayor del hidrómetro dentro de la suspensión.

Un hidrómetro mide el peso específico relativo promedio en la longitud del bulbo, esto implica un error que es de importancia en suelos muy uniformes, en suelos no muy uniformes el error tiende a ser despreciable.

Para tener una aproximación satisfactoria en la prueba se hace necesario medir la temperatura de la suspensión con aproximación de 0,5°C. Y el peso específico debe conocerse dentro de un margen de  $\pm 1 \%$ .

Las lecturas deben hacerse a intervalos tales que los puntos correspondientes en la gráfica granulométrica acumulativa semilogarítmica estén aproximadamente a igual espaciamento y número suficiente para definirla adecuadamente.

Pueden usarse muchos agentes de floculantes, entre los que el silicato de calcio presenta ventajas particulares ya que los límites en las cantidades adecuadas son más amplias que otros agentes, y además es de fácil manipulación. El de floculante debe añadirse mientras la muestra está dispersándose dentro del agua mecánicamente.

El peso seco de la muestra debe ser 50 gr. En suelos plásticos y 100 gr. En suelos arenosos, con esas cantidades se logran suspensiones uniformes suficientemente diluidas para que durante la sedimentación, cada partícula no interfiera con las demás y a la vez apropiadas para realizar lecturas correctas.

- Calibración del hidrómetro.- 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 debe corregirse, la calibración de un hidrómetro consiste precisamente en la calibración de la determinación, la calibración comprende los siguientes pasos.
  - Determine el volumen del bulbo del hidrómetro  $V_h$ .
  - Determine el área de la probeta de  $1000 \text{ cm}^3$  que vaya a utilizar en la prueba, para ello mézase la distancia entre dos graduaciones, el área será igual al volumen indicado entre las graduaciones escogidas dividido entre las distancias medias.
  - Se miden las distancias de la marca de calibración inferior del vástago a cada una de las otras marcas.
  - Se mide la distancia desde el extremo superior del bulbo a la marca de la calibración inferior del vástago, la distancia  $H_1$ , correspondiente a la lectura  $R_h$ , es la suma de las mediciones hechas anteriormente.
  - Luego se mide la distancia desde el extremo superior al inferior del bulbo, esta medida se anota como  $H$ , la altura del bulbo.

- Se calcula las verdaderas alturas  $H$  correspondientes a cada marca de la calibración en el vástago,  $R_h$  con la formula:

$$H = H_1 + 1/2 (h - V_h / A)$$

- Corrección por menisco.- Se realiza siguiendo los pasos a continuación:
  - Se sumerge el hidrómetro en agua limpia destilada.
  - Se hacen dos lecturas cuidadosas, una en la base y otra en el borde del menisco formado, su diferencia es la corrección por menisco, para tener la seguridad de que el menisco está bien desarrollado, se lava previamente el vástago con agua jabonosa o con solución de alcohol.

### **2.6.5. Peso Específico.**

Es necesario fijar dos conceptos sobre los suelos, su forma y sus clases.

Forma.-Las partículas minerales tienen diversas formas que influyen en su comportamiento mecánico.

En los suelos gruesos la forma característica es la equidimensional en la que las tres dimensiones de la partícula son de magnitud comparable, se originan por la acción de los agentes mecánicos desintegrados y solo esencialmente corresponde a partículas que hayan sufrido algún ataque químico.

Según la intensidad y tiempo de acción de estos agentes se producen diversas variedades, como el redondeado, la sub redondeado, la sub angular, la angular, en escala decreciente de efecto.

La forma redonda es prácticamente la esférica, mientras la angular presenta aristas y vértices aguzados, son típicas de arenas residuales, así como las arenas marinas. Las formas redondeadas son frecuentes en las arenas de río y en las formaciones de playa, las arenas calizas suelen ser de grado fino y redondeado.

Los suelos finos, a causa de su génesis especial, la forma de las partículas tienden a ser aplastadas, adoptando la forma laminar, con excepción de algunas que poseen la forma a circular, con esto su actividad superficial en lo que se refiere a absorción.

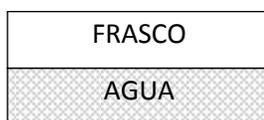
Las partículas de forma laminar tienen dos dimensiones mucho mayores que la tercera, mientras que la acicular posee una dimensión mayor a las otras dos.

Durante muchos años se creyó que el tamaño de las partículas era el factor determinante de algunas propiedades mecánicas de la compresividad, hoy se estima que las formas juegan mucho más preponderante en esa propiedad, realizándose experimentos que comprueban lo mencionados mediante la reducción de volúmenes de un suelo mediante la aplicación de presión estática, por medio de vibración o por combinación de ambos métodos. Terzhagi fue el primero en emitir la opinión de que la proporción de partículas laminares contenidas en el suelo es la causa fundamental de la variación tan grande observada en el comportamiento de las mismas en lo referente a compresividad. G. Gilboy realizó a sugerencia del propio Terzhagi, los primeros experimentos para comprobar esa idea.

**Peso específico.-** El peso específico de la mayoría de las partículas generales constituyen de un suelo varía entre los límites (dos puntos 60 a dos) 2.60 a 2.90, en el feldespato es 2.6, en la turba se han llegado a medir valores de 1.5, a la presencia de materia orgánica.

Así pues es normal que en un suelo real los minerales de las fracciones muy finas y calidad tengan su peso específico aleatorio mayor que los minerales de la fracción más gruesa.

El peso específico relativo de los sólidos de un suelo se determina en el laboratorio haciendo uso de un matraz con marca de enrase, el cual se llena hasta ésta, primero con agua y después con agua y la muestra de suelo, el aire atrapado entre las partículas se desaloja por evolución o exponiendo la suspensión al vacío, si la temperatura del agua es la misma que la de la suspensión pueda obtenerse una fórmula para el peso específico; utilizando los esquemas de la siguiente figura:



$WE_w$  = Peso del matraz lleno de agua.

$WE_{sw}$  = Peso del matraz con suelo y agua.

Entonces se tiene:

$WE_{sw} - WE_w = W_s$  - Peso del agua desplazada por los sólidos.

El peso del agua desplazada por los sólidos del suelo vale:

$$W_w = W_s / G_s$$

Según la expresión (I) por lo tanto:

$$WE_{sw} - W_{fw} = W_s - (W_s / E_s)$$

Despejando  $G_s$  ó  $\gamma_o$  :

$$G_s = W_s / (W_{fw} + W_s - W_{fsw})$$

Que es una fórmula en la que todas las magnitudes son mensurables en laboratorio. El peso del frasco lleno de agua hasta el enrase en función de la temperatura de prueba; ello es debido al cambio de volumen de matraz por la dilatación del vidrio y la variación del peso específico del agua. No resulta práctico ejecutar la prueba a una misma temperatura, por lo que es conveniente medir el peso del matraz lleno de agua ( $W_{fw}$ ) para varias temperaturas y trazar una gráfica de la variación de esos pesos.

De esta curva la calibración puede obtenerse  $W_{fw}$  en cada caso específico. El peso seco de los sólidos ( $W_s$ ) debe determinarse antes de la prueba en materiales gruesos y después de ello, en sólidos plásticos. La razón es que en estos últimos suelos, el secado previo forma grumos de los que es difícil desalojar al aire atrapado.

### **2.6.5.1. Estructuración de los Suelos.**

Se estudiaron ahora las disposiciones a adoptar las partículas minerales para dar lugar al conjunto llamado suelo. Ante todo conviene insistir en una afirmación ya asentada; un suelo nunca es un mero agregado desprovisto de organización; antes al contrario, sus

partículas se disponen siempre en forma organizada, siguiendo algunas leyes fijas y según la acción de fuerzas naturales susceptibles de análisis.

En los suelos formados por partículas relativamente grande (gravas y arenas) las fuerzas que intervienen para formar la estructura son bastante bien conocidas y sus efectos son relativamente de calificar; por ello, prácticamente hay discusión respecto al mecanismo de estructuración que, por otra parte, es verificable a simple vista. Por el contrario, en los suelos formados por partículas muy pequeñas (limos y arcillas), las fuerzas que intervienen en los procesos de estructuración son de un carácter mucho más complejo y las estructuras resultantes son sólo parcialmente verificables por métodos indirectas, relativamente complicadas y aún en pleno etapa de desarrollo. Todo ello hace que los mecanismos de estructuración y aún las mismas estructuras resultantes sean, de estos suelos, materia de hipótesis.

Tradicionalmente se han considerado las estructuras simples, paraloide y llocalenta como las básicas en el suelo real.

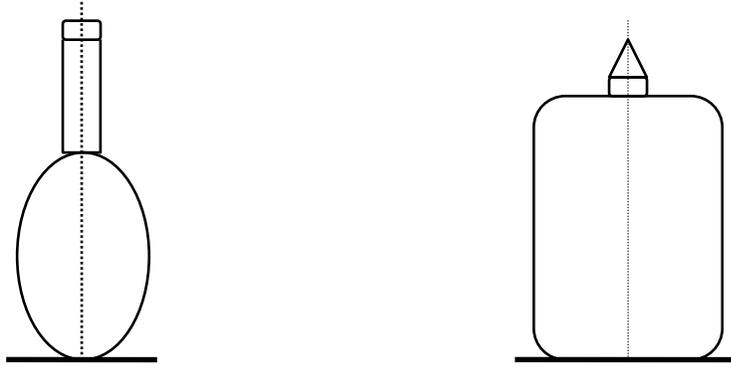
En épocas más modernas se ha tratado de superar aquel cuadro tradicional introduciendo modificaciones en las ideas anteriores, a la luz de algunos resultados obtenidos en experimentos realizados con técnicas más modernas.

Así, no sólo están variando las ideas de muchos investigadores acerca de los mecanismos de estructuración que, como la dispersa, no estaban incluidas en el cuadro en el cuadro tradicional y en segundos lugar, algunas de las ideas de mayor aceptación actual.

El peso específico, o gravedad específico, de un suelo, relación entre el peso, al aire, de sus partículas minerales y el peso, al aire, del agua destilada, considerando en volumen y unas mismas temperaturas.

Así, si su peso específico es 2.7 significa que 1.0 cm<sup>3</sup> de sus partículas minerales pesa 2.7 veces más que 1.0 cm<sup>3</sup> de agua destilada, a igual temperatura.

La determinación del peso específico de un suelo se hace generalmente, por medio de un frasco calibrado o picnómetro.



La calibración del frasco calibrado, la preparación de las muestras y el procedimiento a seguir para la determinación del peso específico de un suelo, se realizará en el procedimiento o memoria.

En forma general podemos decir que el peso específico para granos gruesos es diferentes al peso específico de los granos finos, al ser los pesos específicos diferentes también lo serán las correspondientes procedimientos a seguir.

#### **2.6.6. Densidad In Situ.**

El concepto básico se refiere a la medida de la densidad en el terreno. Ésta puede hacerse extrayendo una muestra de la capa compactada y midiendo el volumen del hueco dejado por el material extraído. La mayor dificultad reside en la determinación del volumen de la muestra, pueden utilizarse varios procedimientos.

\* MÉTODO DEL ANILLO.

\* MÉTODO LLAMADO DEL ACEITE.

\* MÉTODO DEL BALÓN.

\* MÉTODO DE ARENA.

\* MÉTODO NUCLEAR.

### **MÉTODO DEL ANILLO.**

Se introduce gradualmente en el suelo un cilindro de medio litro de capacidad hasta lograr que la muestra que estudiamos haya penetrado totalmente en el cilindro. Se corre el riesgo de comprimir la muestra durante la operación y rogando un error en la determinación de la compactación. Si el suelo está constituido por gravas o cantos la hincada del cilindro en el terreno resulta difícil y a veces imposible.

### **MÉTODO DEL ACEITE.**

Como en el caso anterior, se hace un pequeño hueco y se extrae la tierra depositándola en un frasco. Se registra el peso de la muestra y se calcula su contenido de humedad. El volumen del hoyo se mide llenándolo con aceite de 30 ó 40, como se conoce el peso de la muestra seca, bastará dividir este peso por el volumen del aceite que ha sido necesario emplear para llenar el hueco y se tendrá la densidad del material compactado.

Una vez terminada la operación, se saca el aceite por medio de una bomba pequeña de succión. Si el aceite recuperado está limpio puede ser usado nuevamente.

### **MÉTODO DEL BALÓN.**

Un balón de caucho muy fino, se llena de agua adoptando la forma del agujero al introducirlo al mismo, el volumen de agua y el del balón nos da el volumen de la muestra. Tiene el inconveniente de que el balón no se adapta perfectamente a las paredes, las esquinas y en la base de agujero.

Para conocer la densidad del material bastará dividir el peso de la muestra (secada al horno), por el volumen del agua utilizada en llenar el hoyo.

### **MÉTODO DE LA ARENA.**

Se rellena el hueco con arena seca bien calibrada. Se determina su volumen, bien por lectura directa o pesándola. Si opera con cuidado, el error relativo debido al posible asiento de la arena no sobrepasa un 1%.

## **MÉTODO NUCLEAR.**

Este aparato permite determinar directamente la densidad gracias a la absorción de neutrones emitido por una fuente radioactiva. De ahí la posibilidad de numerosos ensayos no destructivos, in situ y laboratorios con macizos utilizados para diferentes investigaciones (empujes, sostenimiento capacidad portante de las cimentaciones, etc.).

Para comprobar si el terreno que va a servir de capas del pavimento a construirse ha sido debidamente compactado, deben determinarse la densidad y la humedad del material, a fin de comparar estos resultados por la densidad máxima y la humedad óptima obtenidas previamente en laboratorio.

Emplearemos el método de la arena que es el más generalizado por ser válido para cualquier tipo de suelo.

## **2.7. Método de Penetración Estándar. (S.P.T.).**

### **2.7.1. Pruebas de Penetración.**

Los cambios en las condiciones del subsuelo pueden advertir por las diferentes resistencias que oponen los estratos a ser atravesado por un “Penetrometro”.

Cuando los antiguos hincaban una estaca en el fango blando de un pantano para localizar una veta firme de arena, practicaban esta técnica, aún que los equipos son más elaborados, él fundamento sigue siendo el mismo.

La mayoría de los penetrometros modernos consisten en una punta cónica a una barra de pequeño diámetro que sirve para hincar el cono con fuerza al suelo hacía los lados produciendo una compleja falla por un esfuerzo cortante, que se parece a la penetración de la punta de un pilota de cimentación.

El ensayo es una medida directa de la resistencia al esfuerzo cortante del suelo en el lugar.

Existen dos técnicas para realizar la prueba de penetración: la estática y la dinámica.

En la estática la punta es forzada necesaria para producir el movimiento.

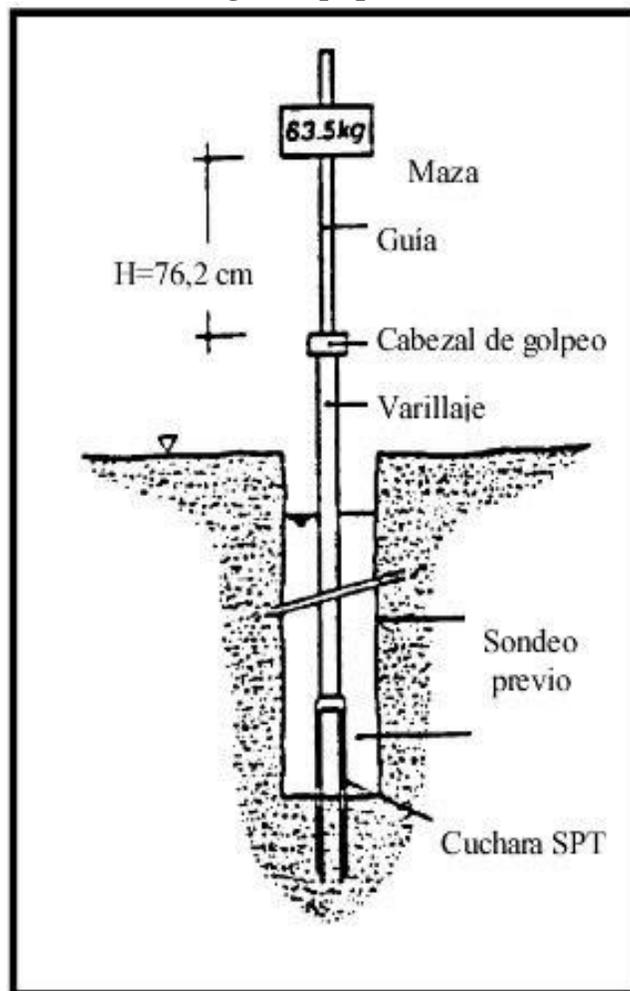
En la dinámica se hinca el penetrómetro a una distancia específica a golpes de masa de igual energía.

Él número de golpes total que se requiere para el penetrómetro recorra la distancia especificada que llega hacer la medida de la resistencia.

La práctica estática es muy sensible a pequeñas diferencias a la consistencia del suelo y no es probable que la operación del ensayo cambie seriamente la estructura de las arenas sueltas o de las arcillas susceptibles.

La prueba dinámica es aplicable a una amplia variedad de consistencias y se pueden penetrar a las gravas y la roca blanda las cuales tendrían el avance del aparato en una prueba estática.

**Fig. 7. Equipo SPT**



La prueba de penetración estándar (ASTM D - 1586) es el método más ampliamente usado para las exploraciones de suelos. Consiste en dos etapas: perforar para abrir un agujero en el suelo y tomar muestras en seco para obtener una muestra intacta que sea apropiada para la inspección visual y los ensayos de humedad, clasificación y hasta de compresión sin confinar.

La perforación se hace con barrena, inyección de agua o sondeo rotatorio usando un taladro giratorio de alta velocidad y circulando agua para extraer los detritos, de la misma manera que en el sondeo por inyección de agua. En los suelos firmes el agujero se mantiene abierto por la acción de arco del suelo; en las arcillas blandas y las arenas debajo del nivel freático, el agujero se mantiene abierto hincando un tubo de acero (tubo de entibación o camisa) o preferiblemente rellenando el hueco con un fluido viscoso que se llama lodo de perforación. Este, que usualmente es una mezcla de arcilla bentonítica y agua, tiene la ventaja de que soporta las paredes y el fondo del agujero. El lodo también sirve como líquido circulante en los sondeos por inyección y rotatorios y mantiene limpio el agujero sacando al exterior la arena gruesa y la grava que tienden a acumularse en el fondo.

El muestreador llamado también toma muestras partido, es un tubo de acero de paredes gruesas partido longitudinalmente. El extremo inferior está unido a un anillo cortante y el superior a una válvula y pieza de conexión a la barra de sondeo. Los tamaños normales son de 3,5 y de 3,7 cm. de diámetro interior, pero también se usan ocasionalmente, muestreadores de 5,00 cm. de diámetro interior externo y de 6,30 por 7,60 cm.

Se hace el agujero como se ha descrito, hasta que se observa un cambio en el suelo. Se sacan las herramientas de explorar y se introduce en la toma muestra hasta el fondo del agujero uniéndolo en las barras para su sondeo. Primero se hinca el muestreador 15 cm. en el suelo para asegurarse en la zapata de corte se asienta en material virgen.

Después se hinca 30 cm. en un diámetro de 15 cm. a golpes de un martillo que pesa 64 kg. Y cae de una altura de 76 cm. Se anota el número de golpes que se necesita para hincar el toma muestra cada uno de los 15 cm. La resistencia de penetración estándar, N, del suelo a la suma de los golpes para los incrementos segundos y terceros. La operación de tomar la muestra de penetración estándar.

La muestra se examina y clasifica por el técnico del campo encargado del sondeo y después se introduce en un depósito de vidrio o plástico, que se sella y se envía al laboratorio. La muestra conserva la humedad, la composición y la estratificación del suelo aunque puede hacer una apreciable distorsión en la estructura. Las muestras buenas se pueden usar para pruebas o compresión sin confirmar, pero no tienen suficiente calidad para pruebas triaxiales.

La resistencia a la penetración es una indicación de la compacidad de los suelos cohesivos, pues es, en efecto, un ensayo dinámico a esfuerzo cortante. Las tabas se han preparado para descubrir la compacidad y la resistencia, de acuerdo con los resultados de la prueba de penetración estándar.

### 2.7.2. Características de la Capacidad Portante.

La resistencia a la penetración medida con el muestreador de 5 cm. de diámetro interior y 6.3 cm. de diámetro exterior hincado con un martillo que pesa 136 kg. Y cayendo 45 cm de altura, se especifica en algunos códigos de construcción, es prácticamente equivalente a la medida de la prueba estándar.

La prueba de penetración estándar es el método más ampliamente usado para obtener datos con respecto a la profundidad, espesor, y composición de los estratos del suelo y una información aprox. a la resistencia de los suelos. El método es económico, rápido y aplicable a la mayoría de los suelos (excepto grava gruesa) y hasta las rocas blandas.

Trezaghi y Peck dan la correlación para las pruebas en la arcilla que se presenta en la tabla siguiente.

**Tabla N°2.7.2**

Consistencia	Nº de golpes	Resistencia a la compresión simple	
		Que (kg./cm <sup>2</sup> )	
Muy blanda	< 2	< 0.25	
Blanda	2 - 4	0.25 - 0.50	
Media	4 - 8	0.50 - 1.0	
Firme	8 - 15	1.0 - 2.0	
Muy firme	15 - 30	2.0 - 4.0	

Dura	> 30	> 4.0
------	------	-------

El valor de  $Q_u$  se obtiene dividiendo el número de golpes ( $n^\circ$ ) entre 8

$$Q_u = n^\circ/8 \text{ (kg. / cm}^2\text{)}$$

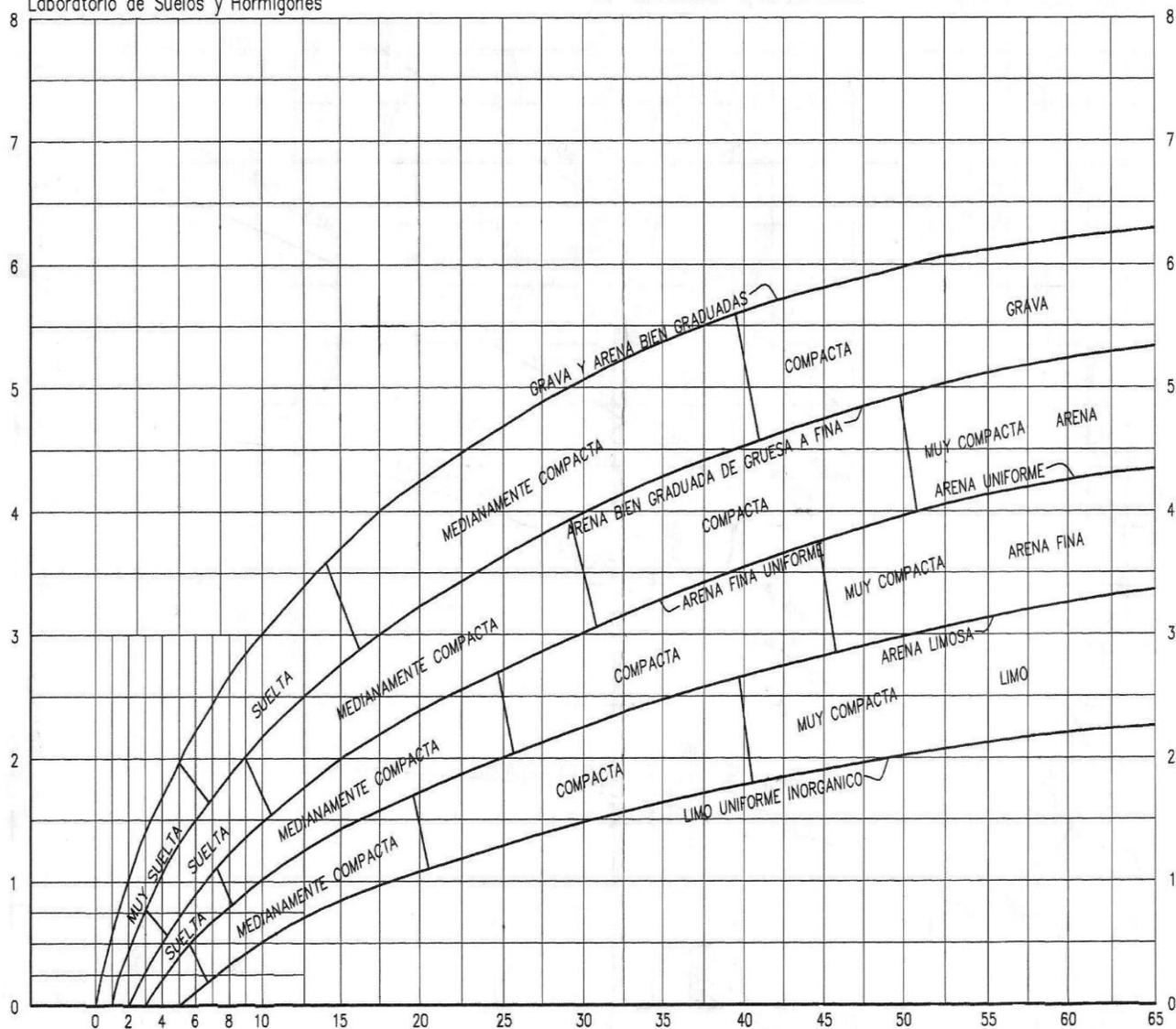
Mediante el numero de golpes y la clasificación del suelo obtiene la capacidad de soporte del suelo, con la utilización de tablas se pudo obtener la capacidad portante de suelo.

**TABLA 2.7.2 .1 PARA LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO**

Universidad Autónoma Juan Misael Saracho  
 Facultad de Ciencias y Tecnología  
 Programa de Ingeniería Civil  
 Laboratorio de Suelos y Hormigones

S.P.T. METODO DE LA CUCHARA NORMAL  
 CAPACIDAD DE CARGAS ADMISIBLES

A.- DIFERENTES TIPOS DE SUELO

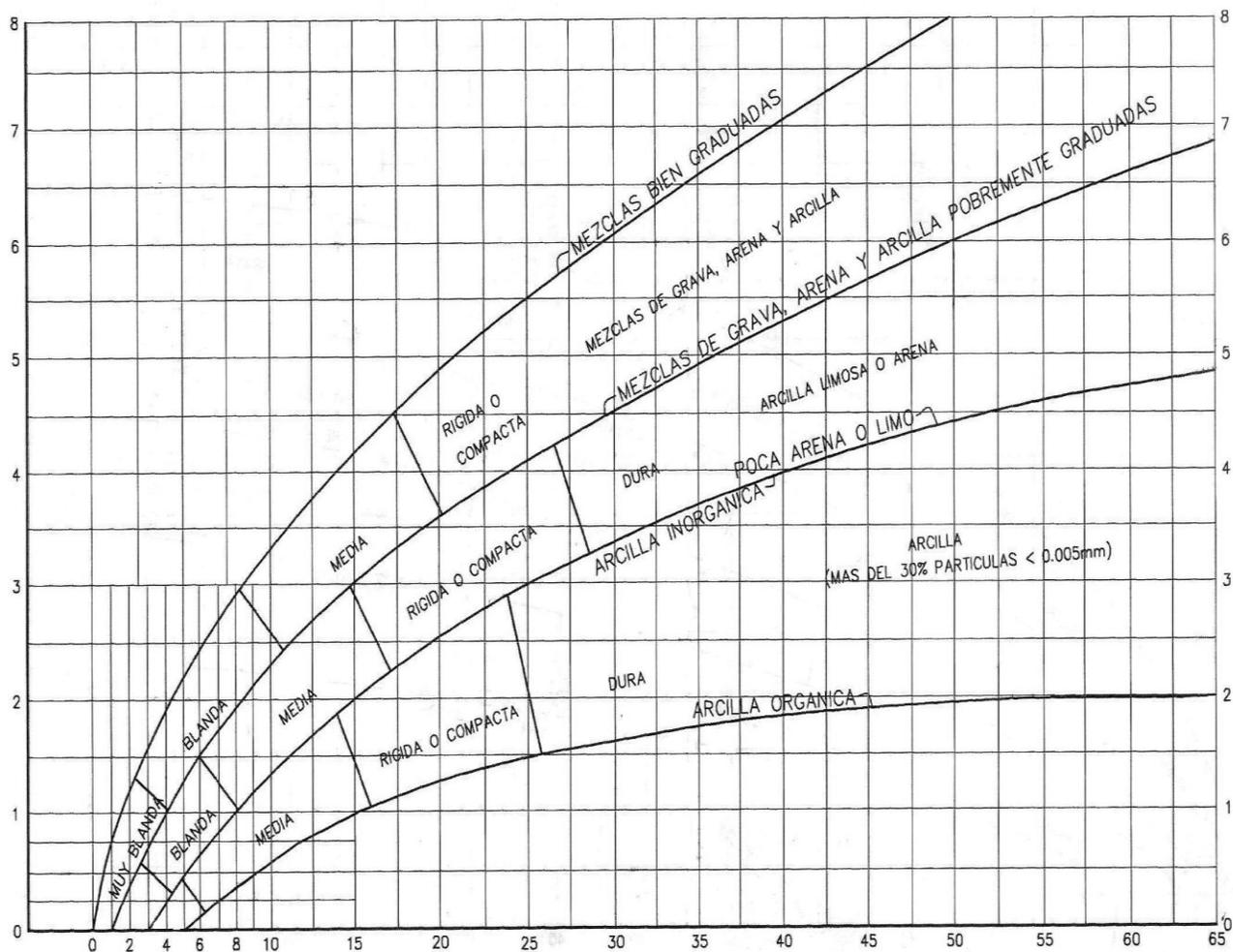


NÚMERO DE GOLPES PARA QUE LA CUCHARA PENETRE 30cm CON UN PESO DE 55Kg y ALTURA DE 75cm

## TABLA 2.7.2 PARA LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO

Universidad Autónoma Juan Misael Saracho  
 Facultad de Ciencias y Tecnología  
 Programa de Ingeniería Civil  
 Laboratorio de Suelos y Hormigones

S.P.T. METODO DE LA CUCHARA NORMAL  
 CAPACIDAD DE CARGAS ADMISIBLES  
 B.- ARCILLAS Y MEZCLAS DE SUELO



NÚMERO DE GOLPES PARA QUE LA CUCHARA PENETRE 30cm CON UN PESO DE 55Kg Y ALTURA DE 75cm

## **CAP.III. ZONIFICACIÓN POR TIPO DE SUELO.**

### **3.1. CRITERIOS PARA LA ZONIFICACIÓN.**

La zonificación se concibe, en la práctica del planeamiento, generalmente como un esquema de subdivisión de un área urbana con propósito de regular sus usos, la densidad de población, tamaño de lotes, tipo de estructuras etc.

Al realizar una zonificación o división de zonas se toma como indicadores el tamaño de la muestra a estudiar, el lugar como ser los barrios, distritos o zonas para poder partir de un dato verdadero, también se debe tomar en cuenta el terreno para poderlo clasificar según el suelo que se presente en el área a analizar una vez extraída la muestra.

En nuestro departamento no hay un método o un procedimiento para poder realizar una zonificación. La clasificación de los distritos se realiza mediante un análisis del comercio y movimiento económico; para poder adoptar un método para realizar una zonificación se vio conveniente realizarlo por áreas, distancias o espacios para construir ya que es un factor muy representativo para la zonificación de las características del suelo.

Se definió el siguiente criterio considerando 4 distritos para poderlos estudiar en una determinada área por barrio analizado, donde se partió de un dato existente de un estudio que se realizó tomando en cuenta la zona central de la Ciudad de Tarija, abarcando la zona central con 8 distritos de los 13 existentes, de este modo se decidió optar por tomar 4, haciendo referencia de que los distritos que se tomó no se repitieran y basándose en el espacio que todavía no están construidos en los distritos 7, 10, 11 y 13 en estos distritos se consideró realizar el estudio por porcentaje de áreas ya que la magnitud de los mismos es de gran magnitud.

Para poder realizar la zonificación en este caso mediante los diferentes tipos de suelo encontrados en los barrios analizados se realizó un muestreo por áreas de los barrios utilizando porcentajes de espacio para poder construir ya que ésa es la finalidad del proyecto

(conocer la capacidad portante de los suelos en lugares que puedan crecer), considerando como parámetros el área, espacio, distancia ya que es esencial para comenzar con un análisis.

### 3.2. PROCESOS DE LA ZONIFICACIÓN.

Para poder realizar una zonificación se debe considerar el lugar de estudio ya sea la zona, distrito o barrio, se realiza una visualización del lugar donde se van a realizar los ensayos.

El fin de realizar una zonificación es conocer el tipo de suelo en las diferentes zonas ya que hay una gran variabilidad de estratificación en nuestro medio, se vio conveniente realizar el siguiente proceso:

Realización de calicatas, a una profundidad de 1.50 metros en los diferentes distritos analizados, luego llevarlo a hacer un análisis del tipo de suelo que se encuentre en la zona de estudio, proceder a realizar los cálculos representativos en los lugares planteados, sacando valores representativos del estudio.

La zonificación que se realizó en los 4 distritos se partió de la siguiente manera: tomando en cuenta un área determinada en cada barrio y de esas áreas se utilizó un porcentaje ya que el área de las mismas es muy grande:

**Tabla N°3.2 (De los distritos y Barrios que se realizó)**

Distrito	Superficie (ha)	BARRIO	AREA (M <sup>2</sup> )	% DE AREAS
7	349	Las Pascuas	332878,0898	38
		IV Centenario	217313,4189	
		Defensores del Chaco	231492,6448	
10	833	Morros Blancos	2513524,845	35
		Simón Bolívar	576586,6138	
		Torrecillas	263861,0195	
		Vela	788239,3097	
11	570	San Gerónimo	1368542,57	30
		Petrolero	374072,389	
		San Luis	3115442,61	
13	579	San Antonio	110681,596	25
		Tabladita	2188264,45	
		Catedral	1102374,05	

### **3.3. VALIDACIÓN DE LA ZONIFICACIÓN.**

En base a la identificación de los distritos que no fueron tomados en cuenta en el estudio anterior se ha propuesto a la comisión de calificación para su validación de realizar el estudio en los distritos 7, 10, 11 y 13, el mismo que fue aprobado.

### **3.4. USOS DE LA ZONIFICACIÓN.**

La zonificación es uno de los diversos dispositivos legales empleados para implementar las propuestas de urbanización establecidas en un plan urbano. El plan de usos del suelo trata del uso del suelo y de la intensidad de esos usos pero en forma generalizada, constituyendo un pre requisito para la zonificación. De esta manera no existe zonificación que sea integral y de contenido sólido y firme que no esté basada en un plan de usos del suelo.

Zonificar una zona para poder conseguir las características, componentes, partes similares, del tipo del suelo donde obteniendo esos valores se los identifique y reconozca en el momento que se necesita utilizar esa información.

### **3.5. CRITERIO DEL NIVEL DE PROFUNDIDAD.**

#### **3.5.1. Espaciamiento y Profundidad.**

El tipo y profundidad de los sondeos que deban ejecutarse en un programa de exploración de suelos depende fundamentalmente del tipo del subsuelo y de la importancia de la obra. En ocasiones se cuenta con estudios anteriores cercanos al lugar, que permiten tener una idea siquiera aproximada de las condiciones del subsuelo y este conocimiento permite fijar el programa de exploración con mayor seguridad y eficiencia.

Espaciamiento de los sondeos; es imposible determinar el espaciamiento de los sondeos antes de comenzar la investigación, porque el espaciamiento depende no solamente del tipo de estructura sino también de la informalidad y regularidad del depósito de suelo. Corrientemente se hace un estimado preliminar del espaciamiento de los sondeos; este espaciamiento se produce si se necesitan datos adicionales o se aumentan si el espesor y la profundidad de los diferentes estratos son aproximadamente los mismos en los sondeos el

espaciamiento debe ser menor en las áreas que serán sometidas a cargas pesadas y mayor en las áreas menos críticas.

Profundidad de los sondeos, para obtener la información necesaria para poder predecir el asentamiento de una estructura, los sondeos deben penetrar todos los estratos que puedan consolidarse notablemente por efecto de las cargas. Para estructuras pesadas muy importantes, como grandes puentes y edificios muy altos, esto significa que los sondeos deben llegar hasta la roca; sin embargo, para estructuras pequeñas, la profundidad se puede estimar por características geológicas, por los resultados de investigación previas en la misma área, teniendo en cuenta la extensión y peso de la estructura.

La experiencia indica que los asentamientos perjudiciales son raros cuando el esfuerzo adicional en el suelo debido al peso de la estructura, donde el delta ( $\Delta$ ), es menor que el 10 % del esfuerzo inicial en el suelo debido a su propio peso  $\sigma$ .

Exploración o muestreo de los suelos.- Al no existir en nuestro medio Normas Técnicas referenciales a la exploración o muestreo de suelos, para encarar una planificación del mismo, se trata de recopilar opiniones de diferentes autores para la elaboración de las mismas. Por lo cual los puntos siguientes quieren llevar hacia una correlación de actividades con relación a los resultados obtenidos.

Es bueno aclarar que los puntos a citarse se refieren específicamente a una exploración puntual o para un proyecto especial (construcción de menor envergadura).

Consultando la Norma Técnica Española (suelos y cimentaciones) las cimentaciones superficiales son aquellas en las cuales la relación Profundidad / ancho ( $D_f/B$ ) es menor o igual a cinco (5), siendo  $D_f$  la profundidad de la cimentación y  $B$  el ancho o diámetro de la misma.

Son cimentaciones superficiales las zapatas aisladas, conectadas y combinadas; las cimentaciones continuas (cimientos corridos) y las plateas de cimentación.

Para la realización de las fundaciones de estas calicatas se consideró una profundidad de 1.5 m, tomando en cuenta que es una cimentación superficial, donde la profundidad que se

realizó el ensayo es el extremo de las cimentaciones superficiales se los puede utilizar como una referencia en la zona que se emplazó el estudio.

### **3.6. ESTUDIO ESTRATIGRÁFICO GEOLÓGICO DE LA ZONA EN ESTUDIO.**

#### **3.6.1. Exploración Geotécnica.**

Para determinar las características geotécnicas del terreno de fundación de las diferentes zonas de la ciudad se realizó una exploración del campo consistente en la excavación de calicatas para la ejecución de ensayos de SPT, la ubicación de los cuales se muestra en el plano. Durante estos trabajos se obtuvieron un gran número de muestras de suelos, con los cuales se realizaron ensayos estándar de mecánica de suelos para determinar sus características físicas y mecánicas.

a) Suelo de roca De acuerdo a su génesis se clasifica en:

- Ígnea: Proveniente del magma, terreno muy adecuado para fundar, duro e impermeable, con excelente resistencia al aplastamiento.
- Sedimentaria: Proveniente de sedimentos aluviales y coluviales. Terrenos que tienen características variables en función de su resistencia, en general para el caso de las viviendas de madera resultan un buen suelo para fundar.
- Metamórfica: Proveniente de la transformación de las rocas ígneas y sedimentarias, es más densa, de resistencia muy diferente según la dirección de los esfuerzos a que esté sometida.

Estrato se define como: “cuerpo –generalmente tabular- de roca o sedimento, con litología homogénea o gradacional que se ha depositado durante un intervalo de tiempo determinado”.

La separación de estratos está ligada al reconocimiento de las superficies de estratificación y por tanto al espesor de cada unidad, por ello muchos autores (McKee&Weir, 1953; Ingram, 1954) admiten la división de estratos según el espesor, lo que ocasiona una cierta “confusión” en la nomenclatura. El término “capa” no tiene connotación genética, sólo geométrica y es aplicable a cualquier tipo de rocas, mientras que “estrato”, engloba los

aspectos geométrico y genético y su uso quedando restringido su uso a las rocas sedimentarias. Por tanto no siempre serán sinónimos “capa” y “estrato”.

Un término muy relacionado con el de estrato es el de “lámina”, que responde, no sólo al concepto de “menor espesor” sino al de una “subdivisión” del estrato. Una lámina se puede definir como: “capa de espesor inferior al centímetro, que se puede distinguir dentro de un estrato”.

La estratificación es: “la disposición en estratos de los sedimentos, rocas sedimentarias y algunas rocas metamórficas”. Al basarse esta definición en la de estrato se refiere tanto a la geometría (dispositivo en capas sucesivas) como a la génesis (intervalos sucesivos de sedimentación). De la misma forma podemos definir la laminación como: “la disposición sucesiva de láminas dentro de un estrato”.

La laminación ha sido considerada como una “estructura de ordenamiento interno de los estratos”, diferenciándose dos tipos: paralela y cruzada.

#### **a) Superficies de estratificación**

Las superficies de estratificación pueden ser “netas” o “difusas”. Las netas separan materiales de la misma o distinta litología, en los contactos difusos hay una franja paralela a la de estratificación en que tiene lugar el cambio gradual entre dos términos litológicos o texturales.

En la figura adjunta (Vera, 1994) se recogen distintos tipos de superficies, en función de sus características geométricas mayores (planas e irregulares). los rasgos geométricos de detalle permiten distinguir : superficies con estructuras de corriente, con pistas de organismos, con estructuras de carga, superficies onduladas (techo de estratos con ripples), superficies nodulosas, etc.

#### **b) Causas de la estratificación:**

Las posibles causas de la estratificación se pueden resumir en dos: interrupciones en la sedimentación y cambios en las condiciones de sedimentación.

Las interrupciones en la sedimentación son frecuentes en medios sedimentarios en los que la sedimentación es “episódica” (p.e. llanuras de inundación, turbaditas, etc.). No obstante en la mayor parte de los medios la sedimentación es “intermitente”, alternando episodios de depósito con otros sin depósito. Ager (1981) llegó a decir que si la sedimentación hubiera

sido “continua” no habría superficies de estratificación y que la mayoría de los planos de estratificación son “mini discontinuidades” (diastemas).

Las variaciones en las condiciones sedimentarias también producen superficies de estratificación. Se pueden diferenciar dos tipos de cambios: los que afectan al “área fuente” de los sedimentos por cambios en la cantidad y naturaleza de los aportes a la cuenca (clima, erosión, cambios de nivel de base en la cuenca, etc.) y las “variaciones internas dentro del medio sedimentario” (variaciones de la energía de la corriente, del quimismo del agua, de la productividad biológica, oxigenación del fondo, etc).

#### **c) Origen de la laminación.**

La laminación tiene un origen distinto a la estratificación. No todos los tipos de laminación tienen el mismo origen sino que aparecen distintos tipos genéticos. Así en lutitas se produce por cambios periódicos (a veces estacionales) de las condiciones físico-químicas del medio, unas veces por ligeras fluctuaciones en la cantidad y naturaleza de los aportes detríticos, en otros casos por cambios en el contenido de materia orgánica y en ocasiones por cambios menores de la actividad orgánica (p.e. laminaciones por mallas de algas).

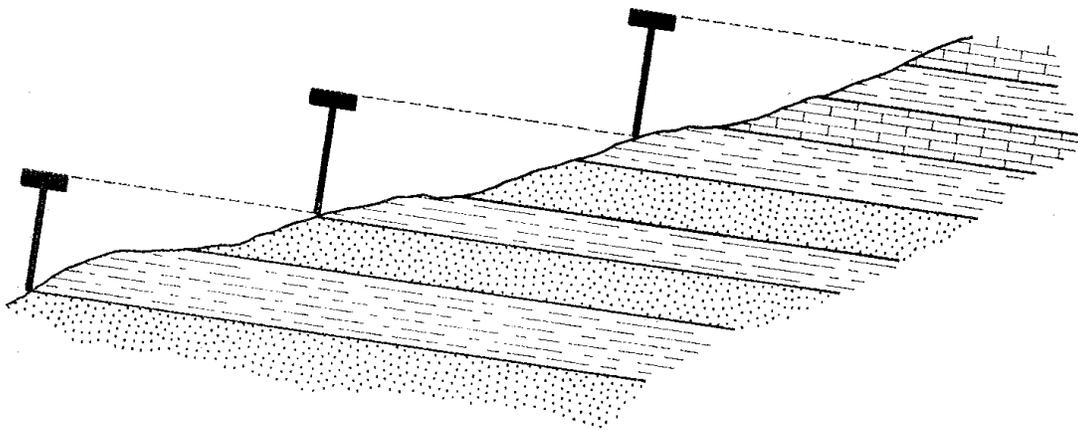
La laminación en areniscas, tiene orígenes muy distintos a los de las lutitas. Muchas son las causas que producen laminación: se puede deber a intervalos repetidos sin depósito en los que tiene lugar la concentración del material más grueso en el fondo, seguidos de intervalos de depósito; otras veces corrientes tractivas de alto régimen de flujo originan laminación paralela; el efecto del flujo-reflujo de agua en una playa origina laminaciones por concentración selectiva de minerales pesados, etc.

#### **d) Medida de la estratificación.**

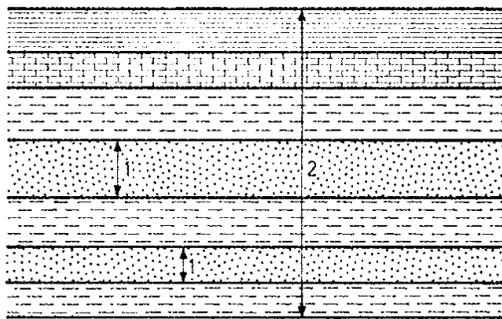
El estudio de la estratificación, bajo su aspecto geométrico, permite realizar la medida de tres valores: **dirección** (ángulo que forma con el norte geográfico la línea de intersección de la superficie de estratificación con un plano horizontal); **buzamiento** (ángulo que forma la superficie de un estrato con la horizontal, medido en un plano perpendicular a la dirección); y **espesor de un estrato** (distancia entre los planos de estratificación que lo limitan, medida perpendicularmente a ellos).

En condiciones normales el espesor de un conjunto de estratos, será la distancia entre sus límites medida perpendicularmente a ellos y representa el espesor actual de los materiales sedimentados durante un determinado intervalo de tiempo. En el caso de la figura siguiente

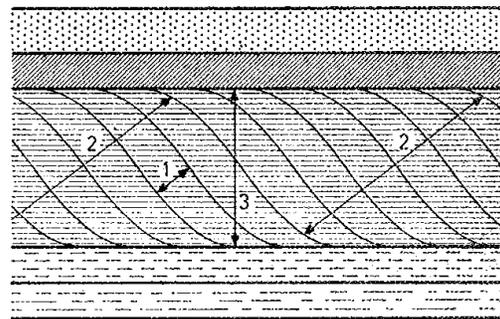
(A) el espesor del conjunto de estratos corresponde a la potencia de la unidad elegida. El problema se plantea cuando la sedimentación se realiza sobre una pendiente deposicional, sobre la que los estratos se apilan lateralmente (p.e. “foreset” de un delta); en este caso (ver figura, situación B) las dos medidas (2 y 3) no serán iguales y hay que diferenciarlas, pues si bien el espesor del conjunto de estratos valora el espesor real de los materiales sedimentados durante un lapso de tiempo, la potencia de la unidad distinguida corresponde a la altura actual que comprende dicha unidad, medida sobre la vertical del depósito en el momento de la sedimentación.



Medida de espesores (“vara de Jacob”)



A



B

Medida de espesor de estratos: 1. Espesor de estrato; 2. Espesor de conjunto de estratos; 3. Espesor total de la unidad.

#### e) Tipos de Estratificación.

Aunque existen diversos criterios para sistematizar los distintos tipos de estratificación, los más útiles se basan, esencialmente, en dos aspectos fundamentales: la **geometría de los**

**estratos individuales** y las características de las **asociaciones de estratos** o conjuntos de estratos.

- **GEOMETRÍA DE LOS ESTRATOS:**

**-Tabular:** Superficies de estratificación planas y paralelas entre sí.

**-Irregular:** Estratos de relativa extensión lateral con muro irregular y erosivo y techo plano, con lo que el espesor varía.

**-Acanalada:** Poca extensión lateral y espesor variable, geometría interna similar a la de la sección de un canal.

**-En cuña:** Los límites son superficies planas no paralelas entre sí, que terminan lateralmente por pérdida de espesor.

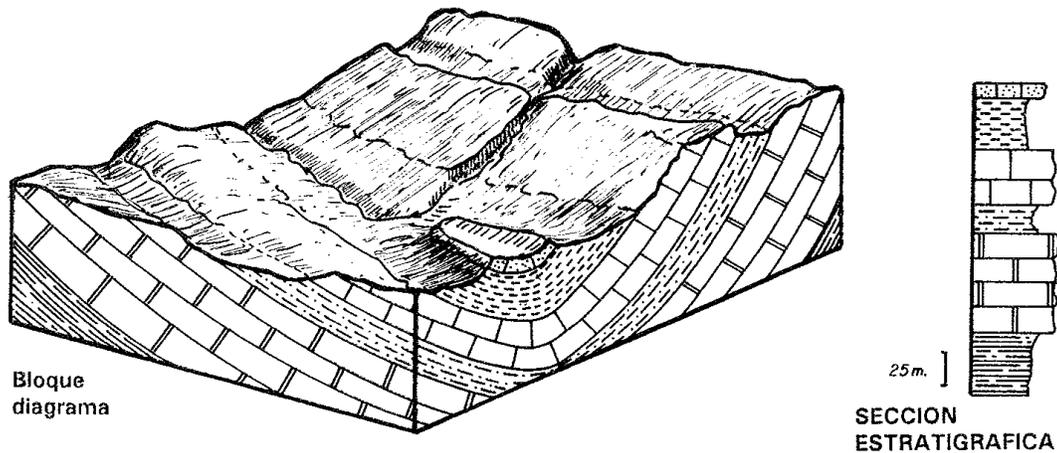
**-Lenticular:** Cuerpos discontinuos.

**-Ondulada:** Con muro plano, estructuras de ripples de corriente o de ola.

**f) Series Estratigráficas y Registro Estratigráfico.**

La aplicación del principio de la **superposición de estratos**, teniendo en cuenta sus limitaciones, y la recogida de datos referentes a **litología**, **espesor** y características de los **planos de estratificación**, se pueden ordenar temporalmente los estratos y conjuntos de estratos en unidades (**unidades estratigráficas**).

Una **serie estratigráfica** (o sección estratigráfica) es: “**la ordenación temporal de las unidades estratigráficas, extendiéndose el nombre a su representación gráfica**”. En la representación gráfica lo que se dibuja a escala, es la ordenación de los materiales estratificados. Aunque la estudiaremos en detalle más adelante (tema 16) creemos necesario adelantar algunas ideas básicas para facilitar el conocimiento y la utilización de una nomenclatura correcta.



### 3.6.2. Formación Geológica.

Las rocas más antiguas en el área de la ciudad de Tarija (zona Urbana), corresponden a unidades de edad Ordovícica, las cuales las cuales tienen una antigüedad de aproximadamente 500 millones de años, no así las rocas de edad silúrica, restringidas al sector este y noreste de la ciudad de Tarija, particularmente a los núcleos sinclinales, conformando inversiones de relieve con algunos remanentes de forma cónica, como culminación del relieve local por erosión diferencial.

Los sedimentos pertenecientes al cuaternario, adquieren una representatividad y difusión, rellenando la depresión de la cuenca Lacustre de Tarija, definida por los bordes elevados de los cortes orográficos conformados por rocas antiguas.

\*Se realizó una estratificación de los pozos realizados en el distrito 7, 10,11, 13: (donde la estratificación cuenta con la información del lugar y de los diferentes niveles encontrados).

**Distrito 10 donde se aplicó en los barrios Las Pascuas, IV Centenario, Defensores del Chaco.**

**Barrió Las Pascuas.**

**Pozo 1**

Se realizó la excavación a cielo abierto, hasta alcanzar una profundidad de – 1.50 m, el ensayo penetración registró 18 golpes. Los estratos visibles son:

De 0.00 m a 0.15 m suelo orgánico con presencia de raíces y pastura superficial.

De 0.15 a 1.00 m se trata de material arcilloso, de color oscuro plástico con escasa gravilla y de consistencia media.

De 1.00 a 1.50 m. se encuentra un suelo arcilloso firme con presencia de gravillas y arena de color marrón amarillento y que corresponde a un tipo A-2-4(0).

### **Pozo 2**

En el pozo N° 1 se realizó la excavación a cielo abierto, hasta una profundidad de – 1.5 m, el ensayo penetración registro 20 golpes. Los estratos visibles son: de 0.00 m a – 0.60 conformado por un relleno de ripio arenoso con escasa piedra. Y de - 0.60 a – 1.50 m, presenta un suelo formado con grava y arena limosa de compacidad suelta. Se clasifica como un suelo A-2-4(0).

### **Barrió IV Centenario.**

#### **Pozo 1**

En el pozo N° 2 en la parte sud del predio se realizó la excavación a cielo abierto, hasta alcanzar la profundidad de –1.80 m, el ensayo penetración registró 7 golpes. Lo estratos visibles son: de 0.00 m a 0.20 m tiene un material de relleno, de 0.20 a 0.80 presenta un suelo ripio arenoso de color marrón claro y de compacidad media. Y de 0.80 m a 1.80 m se trata de material arcillo arenoso de color gris, se clasifica como un suelo A-4(7).

#### **Pozo 2**

En el pozo N° 1 es el efectuado donde se emplazara el estribo lado de la unidad educativa del se realizó la excavación a cielo abierto, hasta alcanzar una profundidad de 1.80 m, el ensayo penetración registro 9 golpes. Los estratos visibles son: de 0.00 m a 1.0 m conformado de un relleno de ripio arenoso con escasa piedra, de 1.0 m a 1.80 m presenta un suelo limoso de compacidad suelta. Se clasifica como un suelo A-4(8).

## **Barrió Defensores del Chaco.**

### **Pozo 2.**

Se realizó la excavación a cielo abierto, hasta alcanzar una profundidad de 1.50 m, el ensayo de penetración registro 18 golpes. Los estratos observados son:

De 0.00 m – 0.40 m tenemos un estrato conformado por relleno de tierra con piedras y cascote de ladrillo.

De 0.40 m – 0.60 m se encuentra un estrato de greda color marrón oscuro de consistencia suelta. De 0.60 m – 1.50 m tenemos un estrato conformado por suelo arcilloso de color marrón, presentando una plasticidad media y de compacidad media. La clasificación del suelo del estrato de fondo resulta ser un A-6(11)

### **Pozo 3.**

Se realizó la excavación a cielo abierto, hasta alcanzar una profundidad de 1.80m, el ensayo de penetración registró 17 golpes. Los estratos observados son:

De 0.00 m - 0.40 m tenemos un material arenoso de color marrón, de compacidad media. De 0.40 m – 0.80 m presenta un material formado con material ripioso mezclada con gravilla, de compacidad media.

De 0.80 m – 1.80 m presenta un estrato conformado por grava y arena limosa de color marrón claro muy compactada y no presenta plasticidad. Su clasificación de suelos según AASHO del estrato de fondo resulta ser un A-4(0).

## **Distrito 10 donde se aplicó en los barrios Morros Blancos, Simón Bolívar, Torrecillas y Vela.**

### **Barrió “Morros Blancos”**

#### **Pozo 1**

Este pozo se realizó en la cercanía del tanque elevado del barrio del mismo nombre se realizó la excavación a cielo abierto, hasta alcanzar una profundidad de – 1.60 m, el ensayo

penetración registro 24 golpes. Los estratos visibles son: de 0.00 m a – 0.45 m conformado de un relleno de ripio arenoso con escasa piedra, de .30 m a – 1.60 m presenta un suelo limoso de compacidad suelta. Se clasifica como un suelo A-4(8).

## **Pozo 2**

En el pozo N° 2 se realizó la excavación a cielo abierto, hasta una profundidad de – 1.58 m, el ensayo penetración registro 30 golpes. Los estratos visibles son:

De 0.00 m a – 0.30 conformado por un relleno de ripio arenoso con escasa piedra, de 0.30 m a – .60 m presenta un suelo limoso de capacidad suelta. Y de 0.60 a – 1.58 m, presenta un suelo formado con grava y arena limosa de compacidad suelta. Se clasifica como un suelo A-2-4(0).

## **Barrio “Torrecillas”**

### **Pozo 1**

En el pozo N° 1 se realizó la excavación a cielo abierto, hasta alcanzar una profundidad de – 1.70 m, el ensayo penetración registró 11 golpes. Los estratos visibles son: de 0.00 m a – 1.70 m tenemos un material conformado por fragmentos de piedra, grava y arena, de color gris y de compacidad media.

Se clasifica como un suelo A-1-b (0) o GM.

### **Pozo Nro. 2**

Se realizó la excavación a cielo abierto, hasta alcanzar una profundidad de -1,50 m, el ensayo penetración registró más de 100 golpes en cada nivel ensayado los estratos observados son:

De 0.00 m a - 0.30 m, presenta un suelo orgánico con presencia de pastura superficial es un suelo de compacidad suelta.

De – 0.30 m a – 0.60 m, presenta un suelo arenoso firme color marrón oscuro con presencia de raíces.

De – 0.60 m a – 1.20 m, tenemos un arenoso amarillento, seco con escasa presencia de gravas y de consistencia firme.

De – 1.20 m a – 1.50 m, tenemos un suelo de compacidad dura constituido por fragmentos de piedra, gravas y arena muy compactada.

Por la clasificación de suelo a la profundidad de ensayo es un A-1-a (0) GW.

### **Pozo Nro. 3**

Se realizó la excavación a cielo abierto, hasta alcanzar una profundidad de -1,50 m, el ensayo penetración registró más de 100 golpes en cada nivel ensayado los estratos observados son:

De 0.00 m a - 0.35 m, presenta un suelo orgánico con presencia de pastura superficial es un suelo de compacidad suelta.

De – 0.35 m a – 0.90 m, presenta un suelo gredoso firme color marrón oscuro con presencia de raíces.

De – 0.90 m a – 1.20 m, tenemos un suelo amarillento, seco con escasa presencia de gravas y de consistencia firme.

De – 1.20 m a – 1.50 m, tenemos un suelo de compacidad dura constituido por fragmentos de piedra, gravas y arena muy compactada.

Por la clasificación de suelo a la profundidad de ensayo es un A-1-a (0)- GW

### **Barrio “Vela”**

#### **Pozo 2.**

En el pozo N° 2 se realizó la excavación a cielo abierto, hasta alcanzar una profundidad de 1.85 m, el ensayo penetración registro 24 golpes. Los estratos visibles son: de 0.00 m a – 0.50 m conformado de un relleno de ripio arenoso con escasa piedra, de 0.50 m a 1.85 m presenta un suelo limoso de compacidad suelta. Se clasifica como un suelo

A-4(8), CL.

### **Pozo 3.**

En el pozo N° 3 se realizó la excavación a cielo abierto, hasta alcanzar una profundidad de 1.50 m, el ensayo penetración registro 21 golpes. Los estratos visibles son: de 0.00 m a – 0.50 m conformado de un relleno de ripio arenoso con escasa piedra, de 0.50 m a 1.50 m presenta un suelo limoso de compacidad suelta. Se clasifica como un suelo

A-4(8).

### **Distrito 11 donde se aplicó en los barrios San Gerónimo, Petrolero San Luis.**

#### **Barrió “Petrolero”**

##### **Pozo 1.**

Se realizó la excavación a cielo abierto, hasta alcanzar una profundidad de – 1.85 m, el ensayo penetración registró 7 golpes.

De 0.00 m – 0.20 m presenta un suelo orgánico con presencia de raíces es un suelo compacidad suelta.

De 0.20 m – 1.00 m se encuentra un estrato de greda color café oscuro de compacidad suelta.

De 1.0 m – 1.85 m tenemos un suelo limo arenoso, de color amarillento de compacidad media y presenta humedad natural. Por clasificación el suelo a la profundidad de ensayos es un A- 4(8)

##### **Pozo 2**

Se realizó la excavación a cielo abierto, hasta alcanzar una profundidad de 1.50 m, el ensayo de penetración registro 13 golpes. Los estratos observados son:

De 0.00 m – 0.40 m tenemos un estrato conformado por relleno de tierra con piedras y cascote de ladrillo.

De 0.40 m – 0.60 m se encuentra un estrato de greda color marrón oscuro de consistencia suelta. De 0.60 m – 1.50 m tenemos un estrato conformado por suelo arcilloso de color marrón, presentando una plasticidad media y de compacidad media. La clasificación del suelo según la AASTHO del estrato de fondo resulta ser un A-6(9)

### **Barrió “San Luis”**

#### **Pozo 1**

En el pozo N° 1 en la parte norte del predio se realizó la excavación a cielo abierto, hasta alcanzar una profundidad de – 1.50 m, el ensayo penetración registró 23 golpes. Los estratos visibles son: de 0.00 m a 0.20 m tiene un suelo orgánico con una cobertura vegetal alta, de 0.20 a 1.00 presenta un suelo arcilloso gravoso de compacidad media. Y de 1.00 m a 1.50 m de material arenoso con escasa piedra y grava, se clasifica con un suelo A-1-a (0).

### **Distrito 13 donde se aplicó en los barrios San Antonio, Tabladita, Catedral.**

### **Barrio “San Antonio”**

#### **Pozo 1.**

Se realizó la excavación a cielo abierto, hasta alcanzar una profundidad de 1.70 m, donde con el ensayo de penetración registro 7 golpes y los estratos queobservaron son:

De 0.00m -0.40 m un material arenoso de color marrón, de compacidad media.

De 0.40m -0.80 m presenta un estrato conformado por material ripioso mezclada con gravilla, de compacidad media.

De 0.80m -1.70m presenta un estrato conformado por grava y arena limosa de color marrón claro muy compacta y no presenta plasticidad.

La clasificación según AASTHO del estrato de fondo resulta ser un A-2-4(0) o SM.

## **CAP.IV. APLICACIÓN PRÁCTICA.**

### **4.1. INTRODUCCIÓN.**

Como ya se mencionó en los capítulos anteriores, es necesario conocer las características morfológicas del terreno sobre el que se va realizar diferentes obras civiles, con la ayuda de la información obtenida dentro de este proyecto y de esa manera obtener resultados coherentes y poder llevarlo a la practica en la ejecución de proyectos de una forma más exacta .

Los distritos N°7, N° 10, N° 11 y N° 13 fueron los considerados para la elaboración de este proyecto porque son los que no presentan datos en relación al Tipo y Capacidad del suelo o simplemente tiene una base de datos bien ambigua y También el índice de crecimiento es grande en los distritos mencionados anteriormente.

#### **4.1.1 Distrito 7.**

En el distrito 7 se tiene 13 Barrios donde son Barrios que se encuentran prácticamente aledaños a la zona central de Tarija, solo cinco de los trece Barrios que lo componen cuentan con el registro como OTB, y es el Barrio IV Centenario que tiene mayor población en el distrito.

#### **4.1.2 Distrito 10.**

El distrito 10 está conformado por 13 Barrios del cual se encuentran mezclados con Barrios que se encuentran en la zona central como los que se encuentran en las zonas aledañas, realizada la revisión de la documentación respectiva, se ha podido identificar a los Barrios Bartolomé Attard, San Jorge II, Juan Nicolai, Rosedal, Morros Blancos y Artesanal, sin actas de reconocimiento como OTB, situación que deberían regularizar, también mencionar que el Barrio más poblado es Juan XXIII.

#### 4.1.3 Distrito 11.

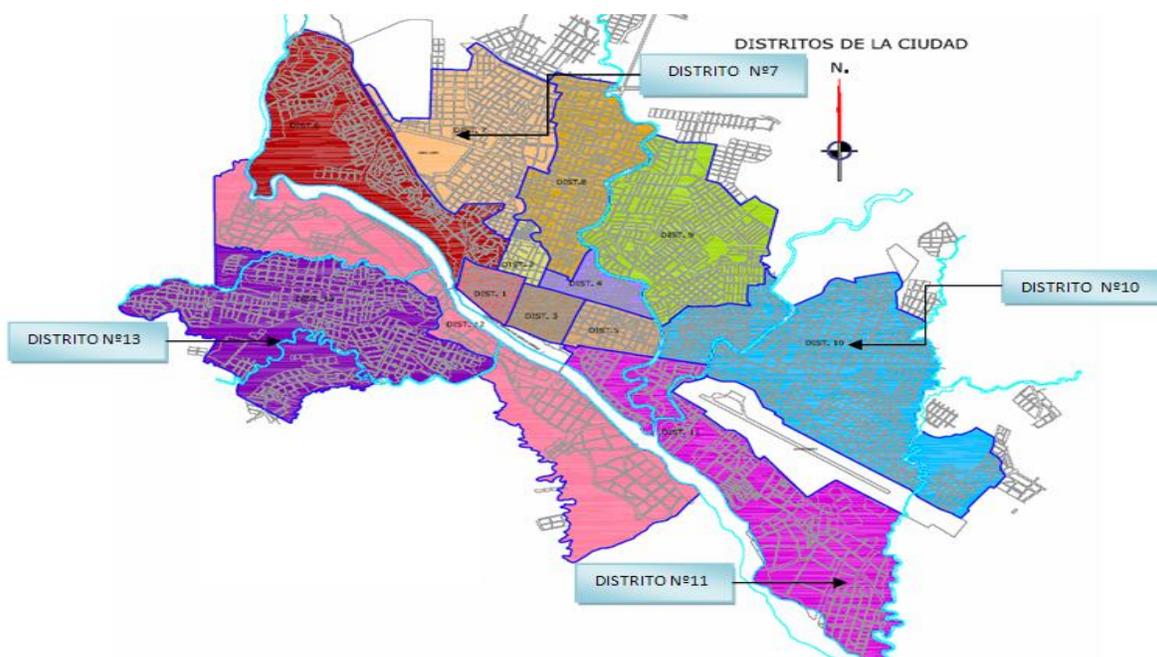
El distrito 11 está conformado por 5 Barrios de los cuales más de 75% son Barrios marginales, encontramos que solo los Barrios San Jerónimo y San Luís tienen la respectiva Resolución del Concejo Municipal, que reconoce legalmente como OTB, en lo que respecta a población es el Barrio de San Jerónimo que tiene la mayor concentración.

#### 4.1.4 Distrito 13.

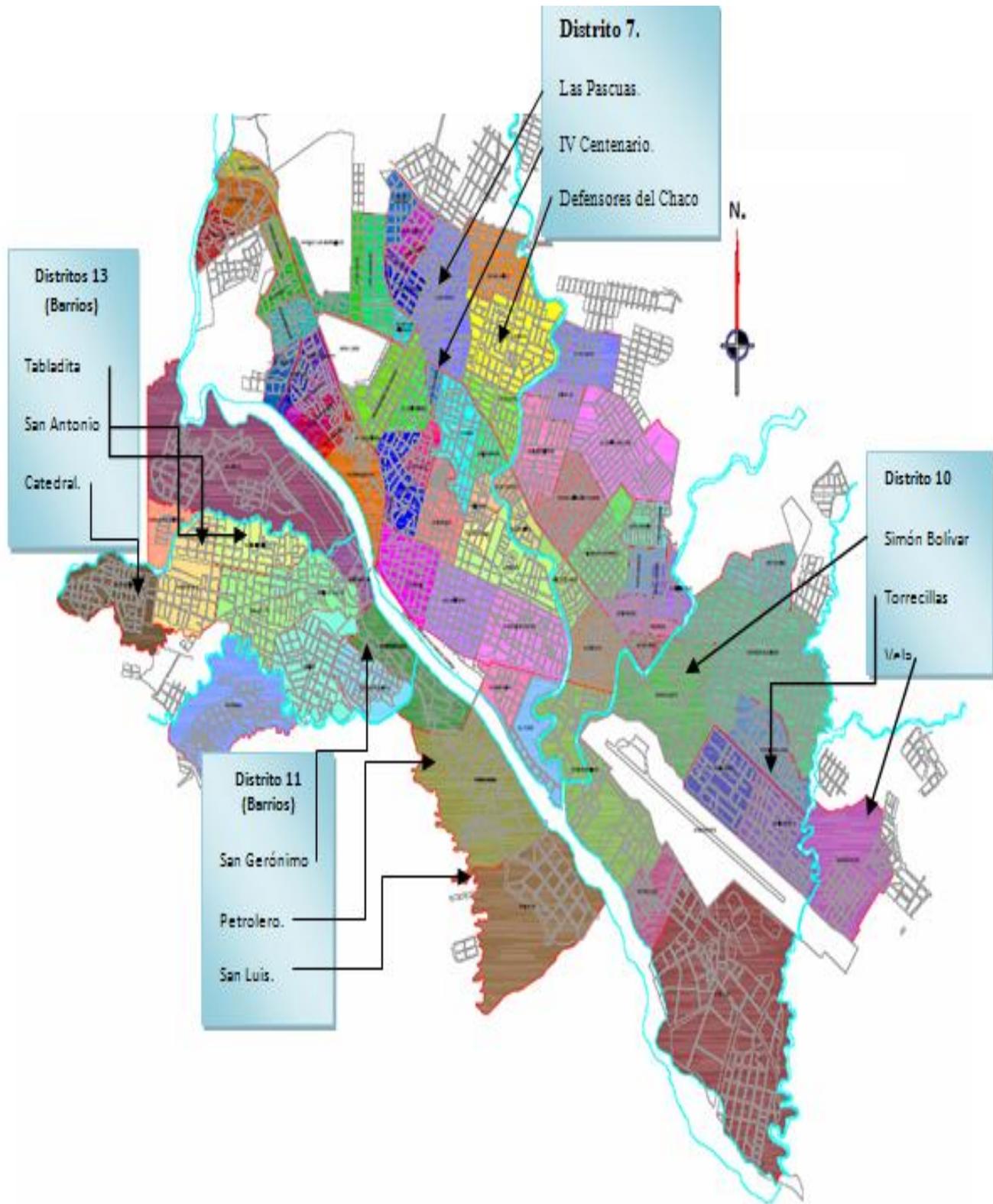
El distrito 13 está conformado por 9 Barrios, que se encuentra en la parte alta de la ciudad de Tarija donde se lo puede considerar como Barrios periféricos y muy poblados. Dentro del Distrito 13 existe la urbanización Amalia Medinaceli que se encuentra fuera del perímetro dispuesto como la mancha urbana, sin embargo, es precisa tomarlo en cuenta por la proximidad al mismo, esta urbanización aún no realizó el trámite para la obtención de su Acta de Reconocimiento como OTB, al igual que el Barrio Tabladita II. Es el Barrio Tabladita I que tiene en el distrito la mayor concentración poblacional.

A continuación se mostraran los planos donde se pueden apreciar los distritos a realizar los ensayos y el cuadro 3.1 de los sectores que se quieren abarcar.

**PLANO N°1 DISTRITOS QUE ABARCAN EL ESTUDIO.**



**PLANO N°2 - BARRIOS QUE ABARCAN EL ESTUDIO.**



**CUADRO 4.1 CIUDAD DE TARIJA: DISTRITOS SEGÚN SUPERFICIE Y CANTIDAD DE BARRIOS.**

DISTRITO	SUPERFICIE (HA)	CANTIDAD DE BARRIOS
1	36	1
2	40	1
3	51	1
4	66	1
5	66	1
6	391	17
7	349	13
8	215	7
9	464	13
10	833	13
11	570	5
12	490	5
13	579	9
TOTAL	4150	87

**4.2. UBICACIÓN.**

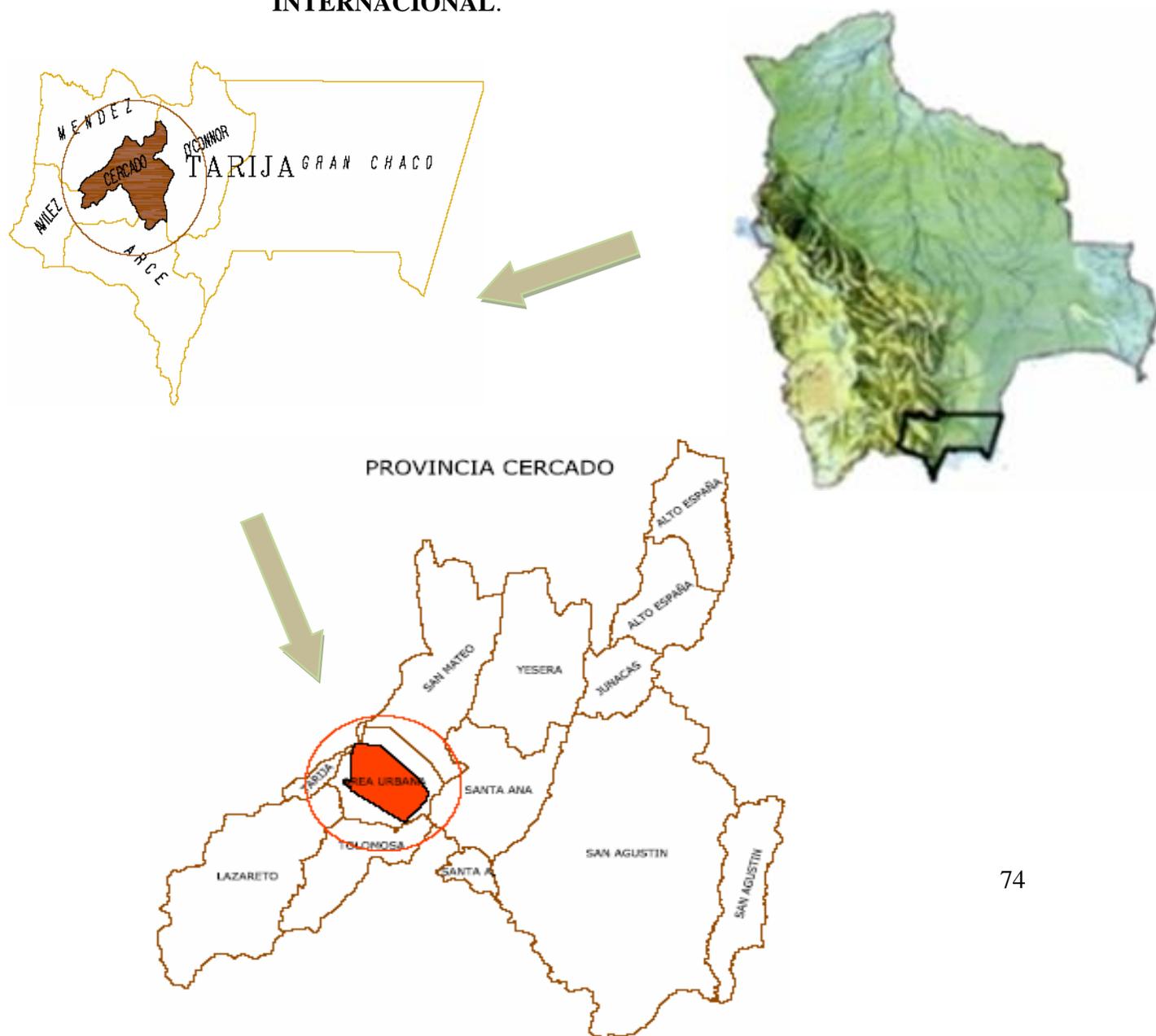
Para la ubicación del área de estudio de este proyecto se refirió esencialmente en las zona periféricas o Barrios de los diferentes distritos que existe en la ciudad de Tarija de los

cuales se consideró para el proyecto 4 tomando en cuenta la aérea, su población y su extensión de los Barrios que conforman un distrito.

#### 4.2.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA.

El Proyecto, se encuentra ubicado en la Provincia Cercado del departamento de Tarija, con altitud promedio de 1850 m.s.n.m. Más propiamente en las zonas periféricas de la ciudad de Tarija en la provincia de Cercado, dicho ensayos se emplazaron en los siguientes distritos 7, 10, 11y 13. Cabe mencionar que se realizó en la parte urbana de la provincia Cercado de la ciudad de Tarija.

**MAPA 4.2.1: LOCALIZACIÓN EN EL CONTEXTO INTERNACIONAL.**



#### **4.3. CONDICIONES CLIMÁTICAS.**

El área donde se localiza el proyecto se caracteriza por un clima semi cálido en los valles, con precipitaciones medias anuales del orden de 399,4 mm. La estimación de las crecidas, se basa en el estudio de las precipitaciones máximas de corta duración y gran intensidad, definidas en función de los datos de precipitaciones máximas diarias de la estación Pluviométrica del Aeropuerto.

TIPO DE ESTACIÓN.            PLUVIOMÉTRICA  
UBICACIÓN POLÍTICA:    Departamento TARIJA  
  Provincia:    CERCADO  
  Primera Sección.    TARIJA  
UBICACIÓN GEOGRÁFICA:    Latitud Sur:    21° 32'  
  Longitud Oeste:    64° 42'39"  
  Altura: 1849 m.s.n.m.

La temperatura media anual en esta sección está entre 17.8 y los 18°C; mientras que la mínima media alrededor de 9.5 y los 9.7°C. La máxima media oscila entre 26 y los 26.4°C En la zona se tiene una frecuencia media de 26 días con heladas por año (datos recopilados de ASSANA).

#### **4.4. ASPECTOS DEMOGRÁFICOS**

En la zona de influencia del proyecto, la población beneficiaria es homogénea, es decir, no existe diversidad de etnias; el idioma predominante es el castellano en un 100%; un 2.6% saben otro idioma o lengua, que es el quechua Se trata de poblaciones poco comunicativas; La tasa crecimiento intercensal es de 3.77% del municipio de Cercado.

#### **4.5. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO.**

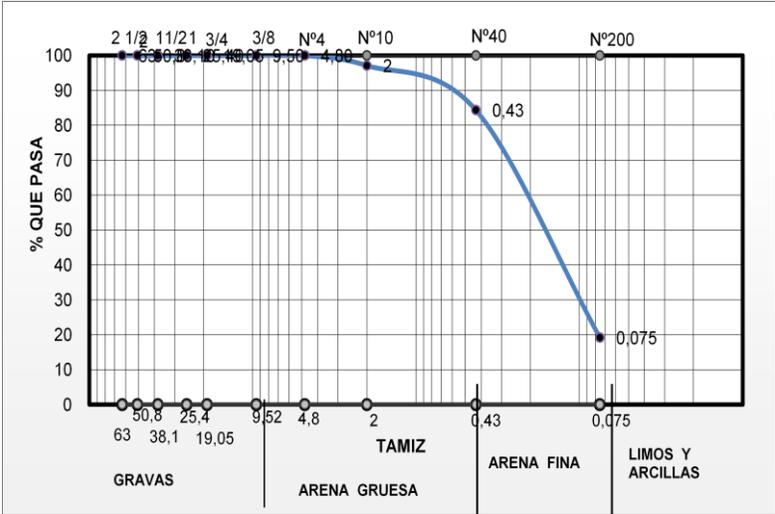
Las características generales del área de estudio son planteaas en los distritos 7, 10, 11 y el distrito 13 ya mencionados anteriormente donde se quiere mostrar la variabilidad de los estratos en los diferentes Barrios y por ende en los distritos planteados ya que son muy diferentes en cuanto su clasificación y en su capacidad portante del suelo.

En el distrito 7 se realizó el ensayo del SPT en 3 Barrios, Las Pascual, IV Centenario y el Barrio Defensores del Chaco donde por la variabilidad de los estratos presentados en el distrito se eligió lugares estratégicos en cada Barrio mencionado anteriormente.

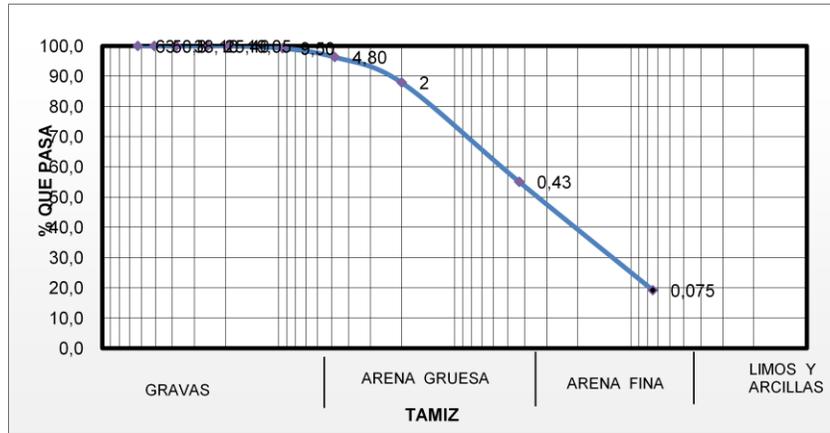
**4.5.1. Barrio Las Pascuas.**

El Barrio Las Pascuas se encuentra en colindancia con el Barrio Campesino, donde es una zona de comercio (comedores) y a vez cuentan con obras de gran magnitud, los punto donde se realizaron los ensayos de laboratorio se encuentran ubicados alrededor de la unidad educativa de las aldeas SOS, y otro sobre la Froilán Tejerina, en el plano presentado se puede observar los puntos que se realizó y los que se recopiló donde se obtuvieron los siguientes datos: gráfica que representan la curva granulométrica y un cuadro de resumen donde se encuentra la clasificación y su capacidad portante del estrato que se obtuvo dentro del Barrio.

**GRÁFICAS 4.5.1 CURVAS GRANULOMÉTRICAS.  
PUNTO N°1 Barrio “Las Pascuas”**



### PUNTO N°2 Barrio “Las Pascuas”



### (\* )PUNTO N°3 Barrio “Las Pascuas”

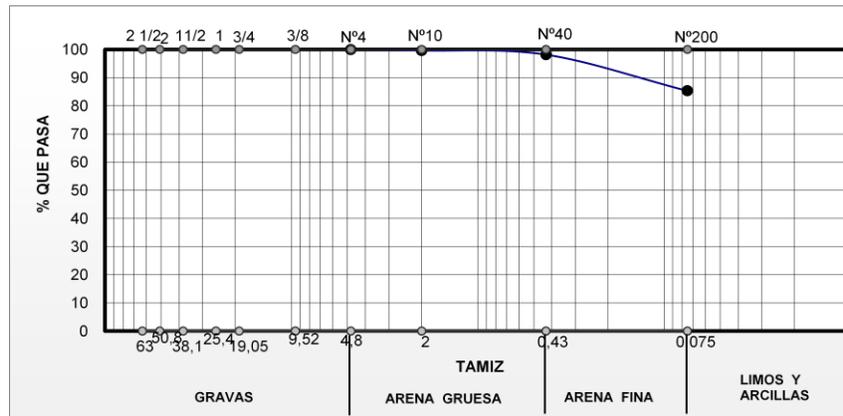


TABLA 4.5.1. RESUMEN DE CLASIFICACIÓN Y SU CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO.

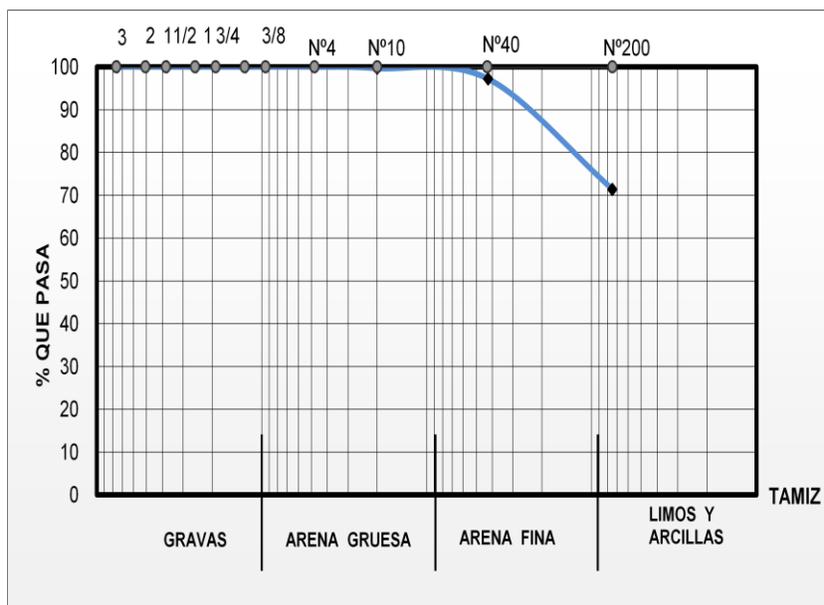
BARRIO	N° DE CALICATA	SISTEMA ASSTHO	SISTEMA SUCS	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE DE PLASTICIDAD	CONTENIDO DE HUMEDAD	PROF.	N° DE GOLPES	RESISTENCIA ADMISIBLE
LAS PASCUAS	1	A-2-4(0)	SC	20,14	12,77	7,37	0,81	1,5	18	2,35
	2	A-2-4(0)	GM	NP	NP	-	0,89	1,5	20	2,5
	*3	A-6(15)	CL	28,55	11,758	16,792		1,3	18	2,5

Observaciones: el punto que presenta asterisco (\*) es un valor recopilado.

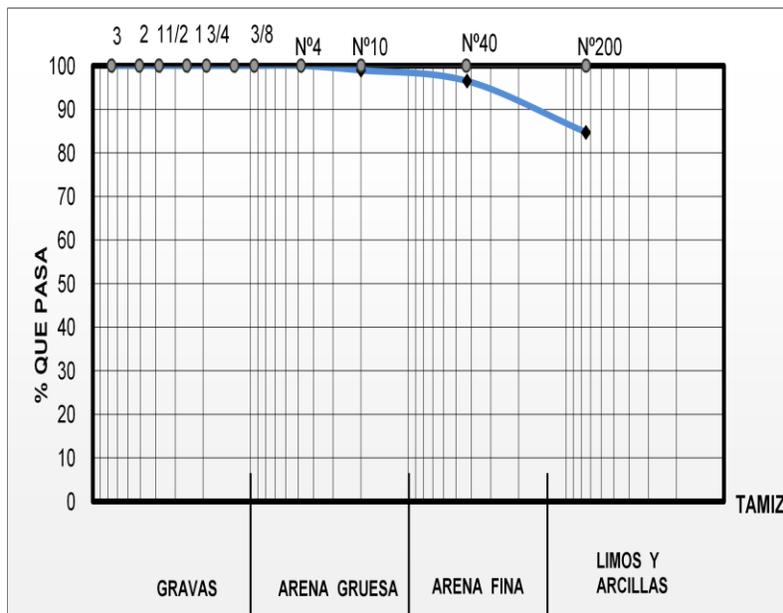
#### 4.5.2. Barrió IV Centenario.

El Barrió IV Centenario es un Barrió de una extensión muy pequeña donde se encuentra muy poblado en el medio de 3 Barrió, los puntos realizados se encuentran en las calles Daniel Zamora y Luis Campero y el otro punto sobre la avenida entre la calle Ernesto Trigo, dentro de un lote que limita con el Barrió defensores del Chaco en la parte de anexos en los planos se puede observar los demás puntos realizados y recopilados donde se obtuvo los siguientes datos: gráfica que representan la curva granulométrica y un cuadro de resumen donde se encuentra la clasificación y su capacidad portante del estrato que se obtuvo dentro del Barrió.

**GRÁFICAS 4.5.2 CURVAS GRANULOMÉTRICAS.  
PUNTO N°1 BARRIO “VI Centenario”**



**PUNTO N°2 BARRIO “VI Centenario”**



**TABLA 4.5.2 RESUMEN DE CLASIFICACIÓN Y SU CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO.**

BARRIO	N° DE CALICATA	SISTEMA ASSTHO	SISTEMA SUCS	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE DE PLASTICIDAD	CONTENIDO DE HUMEDAD	PROFUNDIDAD	N° DE GOLPES	RESISTENCIA ADMISIBLE
IV CENTENARIO	1	A-4(7)	CL	26	17	10	11,32	1,50	7	0,32
	2	A-4(8)	ML-OL	23	18	5	10,25	1,50	9	0,82
	*3	A-4(1)	GM	NP	NP	-	12,18	2,05	2	0,15

Observaciones: el punto que presenta asterisco (\*) es un valor recopilado.

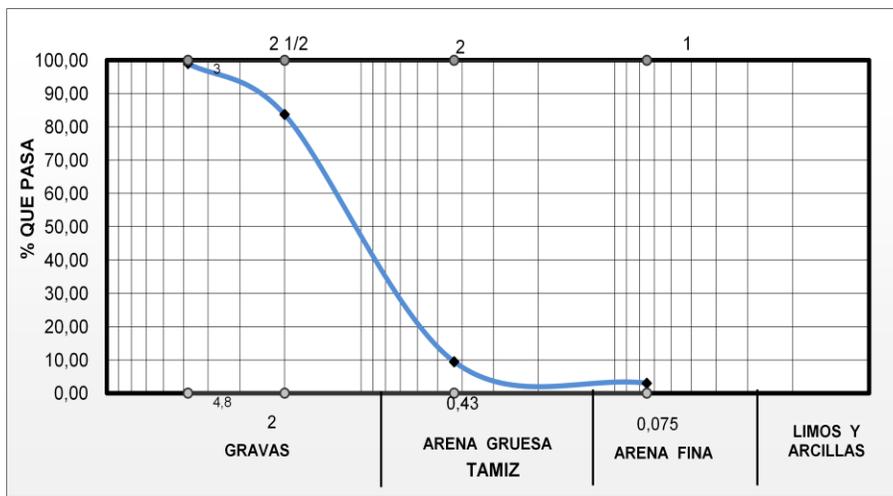
**4.5.3. Barrio Defensores del Chaco.**

El Barrio Defensores de Chaco dentro del distrito 7 es el Barrio que se fue poblando conforme crecía la población donde se pudo observar que presenta construcciones no muy complejas, también es un Barrio donde recién se están cambiando las estructuras de adobe

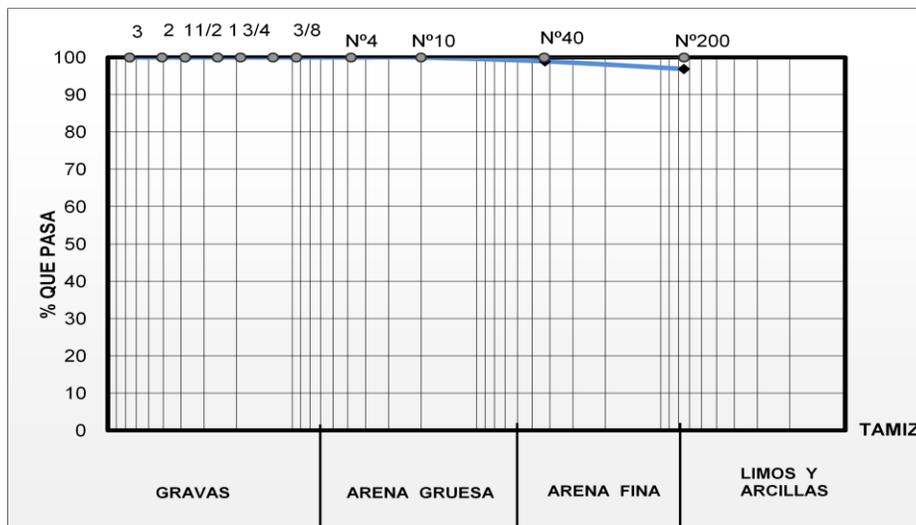
por estructuras de hormigón , los puntos que se realizaron los ensayos de laboratorio en este Barrio están ubicados en la calle Comercio las referencias de los demás datos se puede ver la ubicación en los planos anexados; donde se obtuvo los siguientes datos de algunos puntos: gráficas que representan la curva granulométrica y un cuadro de resumen donde se encuentra la clasificación y su capacidad portante del estrato que se obtuvo dentro del Barrio.

### GRÁFICAS 4.5.3 CURVAS GRANULOMÉTRICAS.

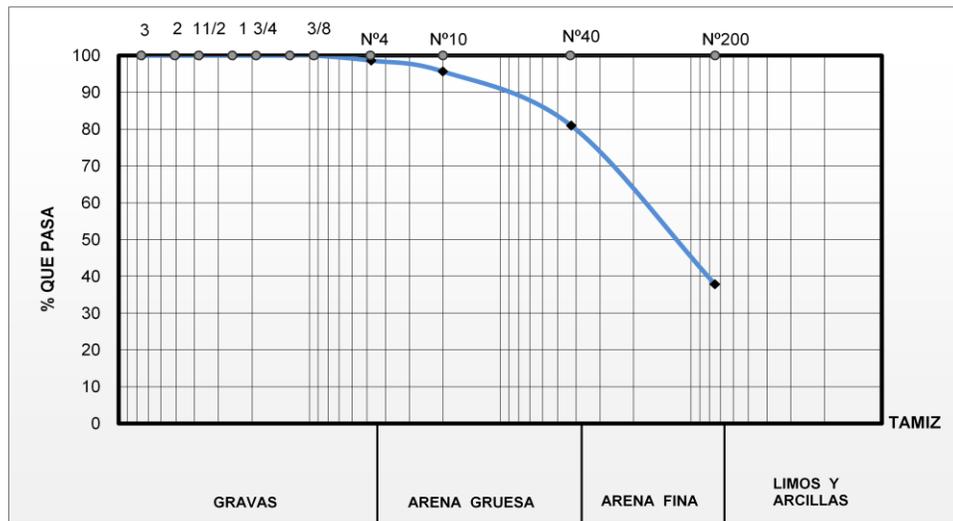
#### PUNTO N°1 Barrio “Defensores del Chaco”



#### PUNTO N°2 Barrio “Defensores del Chaco”



### PUNTONº3 Barrio “Defensores del Chaco”



**TABLA 4.5.3 RESUMEN DE CLASIFICACIÓN Y SU CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO.**

BARRIO	Nº DE CALICATA	SISTEMA ASSTHO	SISTEM A SUCS	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE DE PLASTICIDAD	CONTENIDO DE HUMEDAD	PROF.	Nº DE GOLPES	RESISTENCIA ADMISIBLE
DEFENSORES DEL CHACO	*1	A-1-b(0)	SW	NP	NP	-		3	12	1,5
	2	A-6(11)	CL	38	21	17	3.2	1,5	18	2,16
	3	A-4(0)	SM	NP	NP	-	8.9	1,5	17	1,35

Observaciones: El punto que presenta asterisco (\*) es un valor recopilado.

#### 4.5.4. El Distrito 10.

Se encuentra ubicado en la parte Este de la ciudad de Tarija, específicamente antes de llegar a la zona de la ex parada del Gran Chaco, donde se realizó ensayos de clasificación de suelos y ensayo de capacidad portante (SPT) para poder conocer las características de los estratos que se encuentra en dicho distrito. Por consiguiente se determinó seleccionar 3 Barrios que se encuentran adyacentes de los otros Barrios se decidió hacer los ensayos en

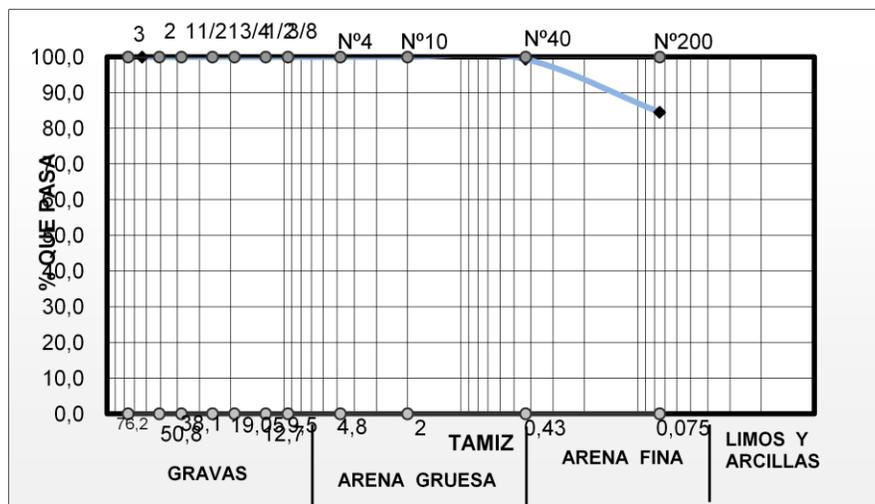
los Barrios de Vela, Torrecillas, Simón Bolívar y Morros Blancos. Ya que estos Barrios presentan todavía a su alrededor lugares para poder expandirse.

#### 4.5.4.1. Barrio Vela.

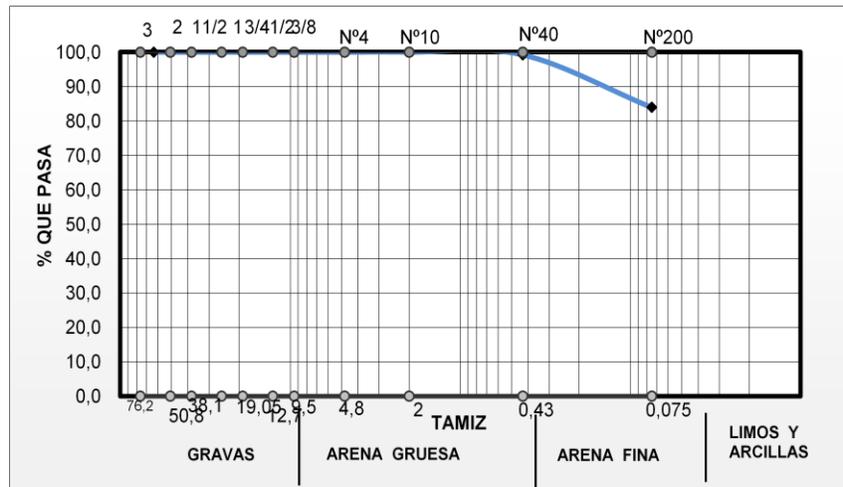
El Barrio de Vela es una nueva urbanización y dicho Barrio se encuentra rodeado de cultivos, las edificaciones son de escala menor en el que a futuro van a llegar a extenderse más viviendas o diferentes construcciones, ya que se trata de un Barrio no muy poblado.

El primer punto se realizó al comienzo de la urbanización al margen derecho de Unidad Educativa de Torrecillas y el otro punto en una propiedad privada, los demás datos se los puede observar en los planos con mayor claridad, donde se obtuvo algunos de los datos: grafica que representan la curva granulométrica y un cuadro de resumen donde se encuentra la clasificación y su capacidad portante del estrato que se obtuvo dentro del Barrio.

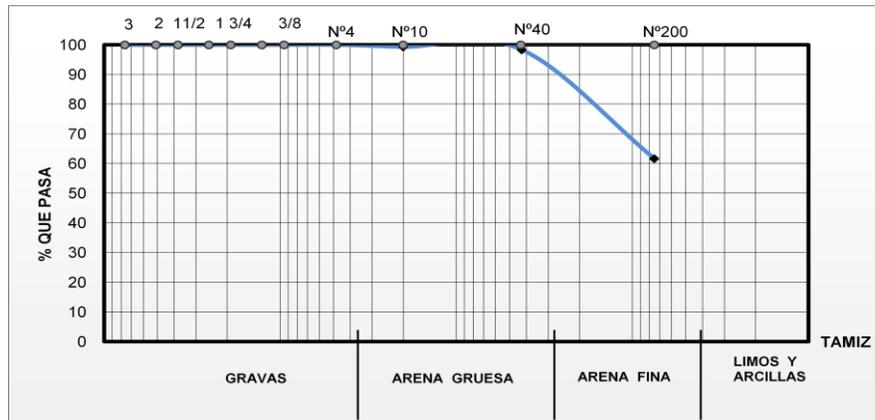
**GRÁFICAS 4.5.4. CURVAS GRANULOMÉTRICAS.  
PUNTO N°1 Barrio “Vela”**



**PUNTO N°2 Barrio “Vela”**



**(\*)PUNTO N°3 Barrio “Vela”**



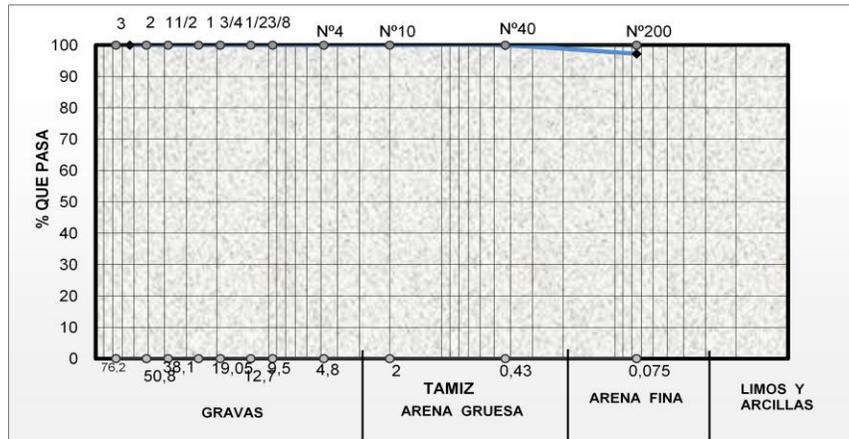
**TABLA 4.5.4. RESUMEN DE CLASIFICACIÓN Y SU CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO.**

BARRIO	N° DE CALICATA	SISTEMA ASSTHO	SISTEMA SUCS	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE DE PLASTICIDAD	CONTENIDO DE HUMEDAD	PROFUNDIDAD	N° DE GOLPES	RESISTENCIA ADMISIBLE
VELA	*1	A-4(7)	ML	31,15	22,28	8,87		2,8	31	3,4
	2	A-4(8)	CL	31,22	27,57	4	8,365	1,50	24	1,75
	*3	A-4(5)	OL	0	0	0		1,7	30	0,8

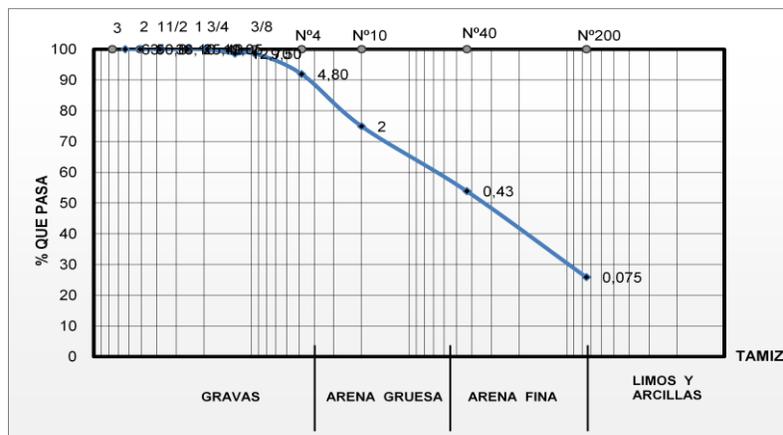
Observaciones: El punto que presenta asterisco (\*) es un valor recopilado.



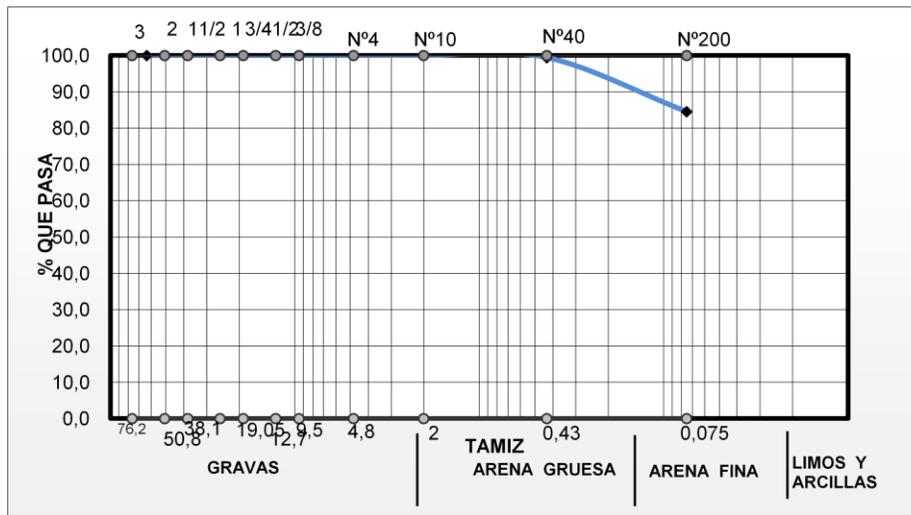
### PUNTO N°2 Barrio “Torrecillas”



### (\*PUNTO N°3 Barrio “Torrecillas”



**(\*)PUNTO N°4 Barrio “Torrecillas”**



**TABLA 4.5.5.**

**RESUMEN DE CLASIFICACIÓN Y SU CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO.**

BARRIO	N° DE CALICATA	SISTEMA ASSTHO	SISTEMA SUCS	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE DE PLASTICIDAD	CONTENIDO DE HUMEDAD	PROF.	N° DE GOLPES	RESISTENCIA ADMISIBLE
TORRECILLAS	1	A-1-b(0)	GM	NP	NP	-	3,58	1,5	11	1,5
	2	A-7-6(12)	CL	46	30	16	17,36	1,5	15	2
	*3	A-2-4(0)	GM	NP	NP	-		1,58	30	1,7
	*4	A-4(7)	ML	31,15	22,28	8,87		2,8	31	3,4

Observaciones: el punto que presenta asterisco (\*) es un valor recopilado.

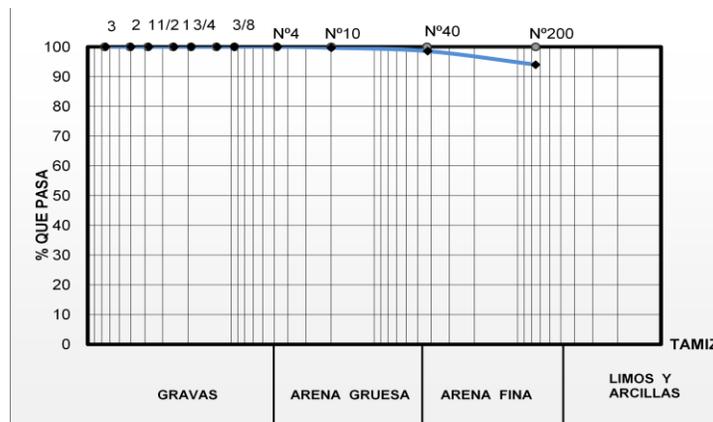
**4.5.6. Barrio Simón Bolívar.**

Es un Barrio que gracias al nuevo Mercado del Sur está cobrando vida y en un tiempo no muy lejano se va a poblar, por tal motivo va aumentar sus exigencias de urbanización.

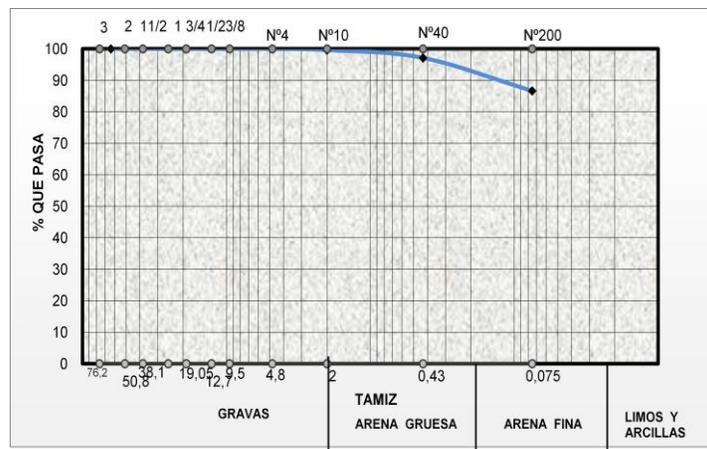
En este Barrio se realizaron 2 puntos uno de ellos se encuentran alrededor del Mercado del Sur y el otro punto se encuentra sobre la carretera al Chaco, la ubicación de los demás datos realizados se los puede apreciar en los planos solo se refleja algunos de los datos en esta tabla, donde se obtuvo los siguientes datos: GRÁFICAS que representan la curva granulométrica y un cuadro de resumen donde se encuentra la clasificación y su capacidad portante del estrato que se obtuvo dentro del Barrio.

### GRÁFICAS4.5.6. CURVAS GRANULOMÉTRICAS.

**PUNTONº1 Barrio Simón Bolívar**



**PUNTONº2 Barrio "Simón Bolívar"**



**TABLA 4.5.6. RESUMEN DE CLASIFICACIÓN Y SU CAPACIDAD PORTANTE  
DEL SUELO.**

BARRIOS	N° DE CALICATA	SISTEMA ASSTHO	SISTEMA SUCS	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE DE PLASTICIDAD	CONTENIDO DE HUMEDAD	PROF.	N° DE GOLPES	RESISTENCIA ADMISIBLE
SIMON BOLIVAR	1	A-6-(9)	OL	39,8	27,3	13	15,5	1.50	19	2,5
	2	A -7-5 (12)	OL	48	30	18	11,58	1.50	15	2

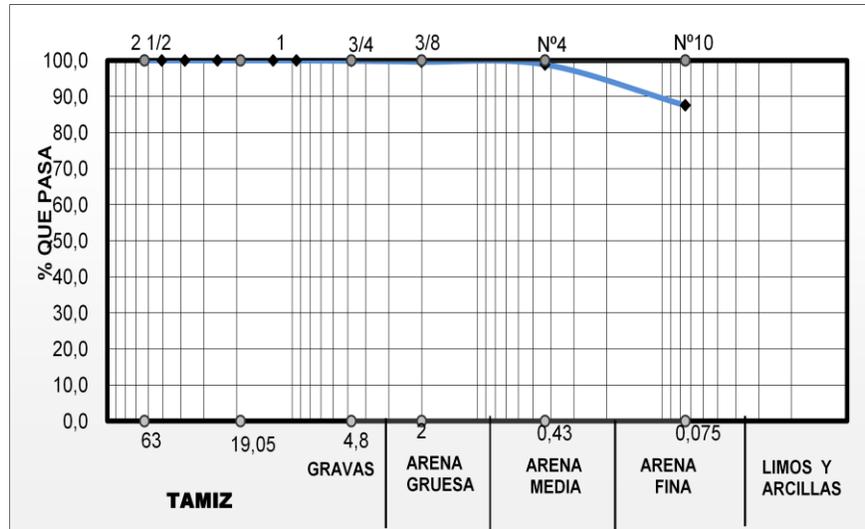
**4.5.7. Barrio Morros Blancos.**

El Barrio Morros Blancos es un Barrio que poco a poco fue creciendo y está rodeado de grandes construcciones industriales y viviendas unifamiliares.

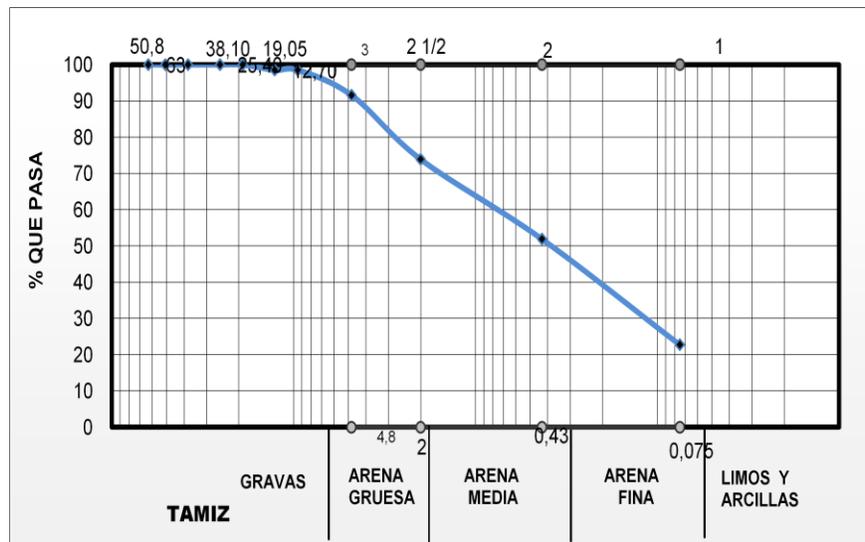
En este Barrio se decidió realizar el ensayo en 2 puntos, ubicados cerca del Tanque de agua en el otro se encuentra en sobre la calle de Héroes del Chaco y también se recolectó otros puntos del Barrio, la ubicación de los demás datos realizados se los puede apreciar en los planos, solo se refleja algunos de los datos en esta tabla, donde se obtuvieron los siguientes datos: gráficas que representan la curva granulométrica y un cuadro de resumen donde se encuentra la clasificación y su capacidad portante del estrato que se obtuvo dentro del Barrio.

## GRÁFICAS 4.5.7. CURVAS GRANULOMÉTRICAS.

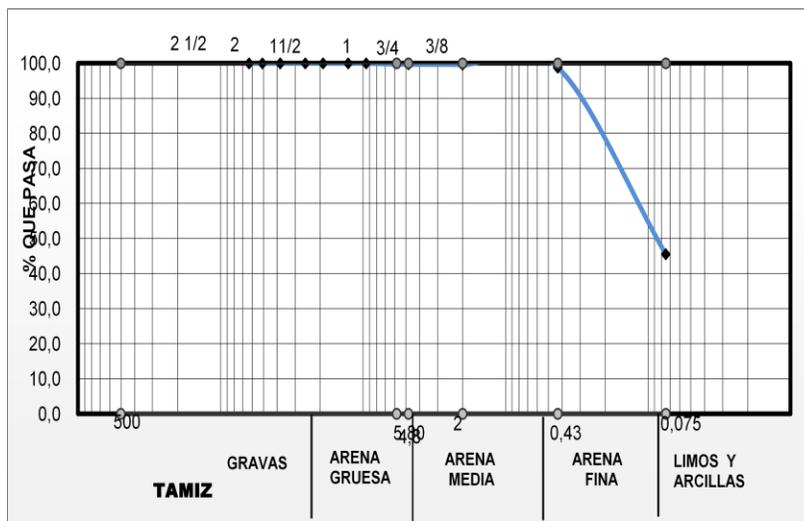
### PUNTO N°1 Barrio “Morros Blancos”



### PUNTO N°2 Barrio “Morros Blancos”



### PUNTO N°3 Barrio “Morros Blancos”



**TABLA 4.5.7. RESUMEN DE CLASIFICACIÓN Y SU CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO.**

BARRIO	N° DE CALICATA	SISTEMA ASSTHO	SIST.S UCS	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE DE PLASTICIDAD	CONTENIDO DE HUMEDAD	PROFUNDIDAD	N° DE GOLPES	RESISTENCIA ADMISIBLE
MORROS BLANCOS	1	A-4(8)	ML	29	25	3	14,58	1,50	24	1,4
	2	A-2-4(0)	SM	NP	NP	-	12,56	1,50	30	1,7
	*3	A-4(8)	ML	NP	NP	-	15,36	1,46	14	0,95
	*4	A-6(9)	CL	37,01	24,26	12,75	24,47	1,5	18	1,28
	*5	A-7-6(18)	CH	51,55	23,44	28,11	27,09	1,5	9	0,64
	*6	A-4(8)	ML	21,81	20,78	1,03		2	30	2,9

Observaciones: el punto que presenta asterisco (\*) es un valor recopilado.

#### **4.5.8. Distrito 11.**

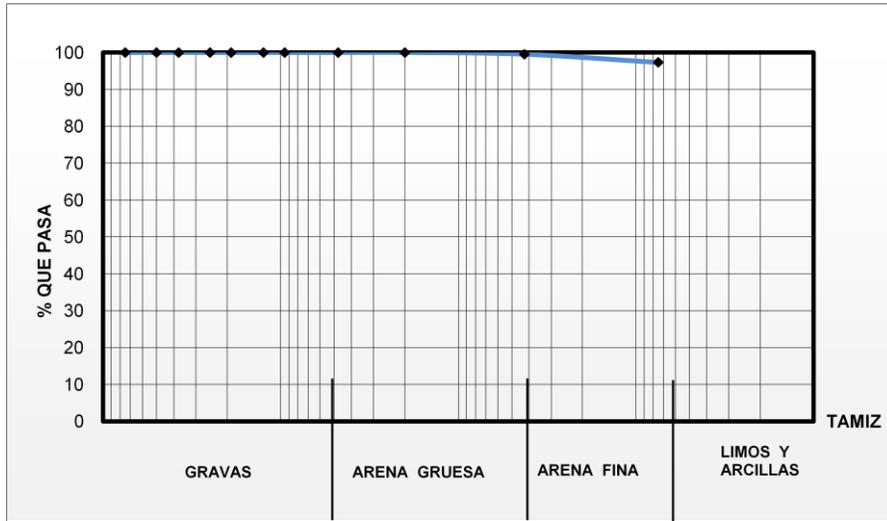
Se realizó ensayos de clasificación de suelos y ensayo de capacidad portante (SPT) para poder conocer las características de los estratos del lugar ya que son muy variables.

Se decidió realizar los ensayos de los barrios San Gerónimo, Petrolero y el Barrio San Luis ya que son barrios que todavía tienden a crecer y donde por la variabilidad de los estratos presentados en la zona se eligió lugares estratégicos en cada barrio mencionado.

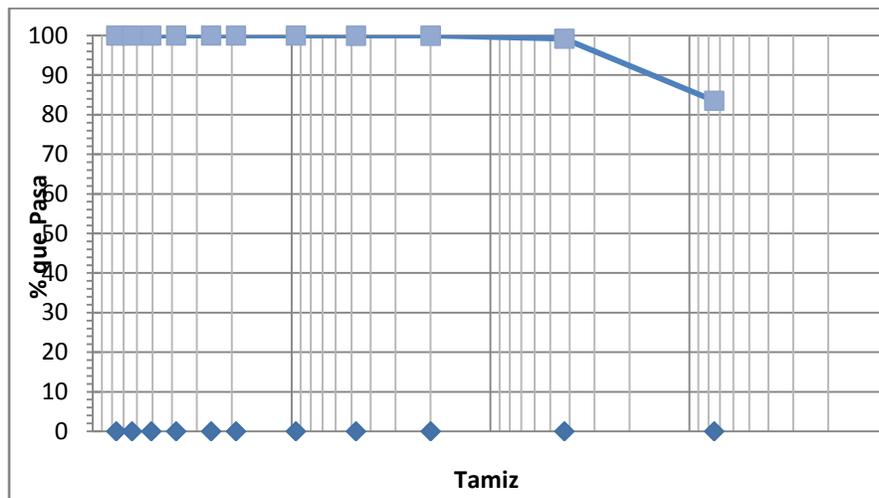
##### **4.5.8.1. Barrio San Gerónimo.**

El Barrio San Gerónimo es un Barrio que fue creciendo de una forma rápida por el entorno, los puntos que se realizaron es 1 ya que se pudo recopilar 3 puntos, estos puntos se encuentra en la parte de las instalaciones el colegio San Bernardo punto que se realizó el ensayo, los otros 2 puntos dentro de la unidad educativa de San Gerónimo y el otro punto se encuentra en la parte derecha el Cuartel Chorolque exactamente a 2 cuadras y media de tenis Club, la ubicación de los demás datos realizados se los puede apreciar en los planos solo se refleja algunos de los datos en esta tabla, donde se obtuvieron los siguientes datos: gráficas que representan la curva granulométrica y un cuadro de resumen donde se encuentra la clasificación y su capacidad portante del estrato que se obtuvo dentro del Barrio.

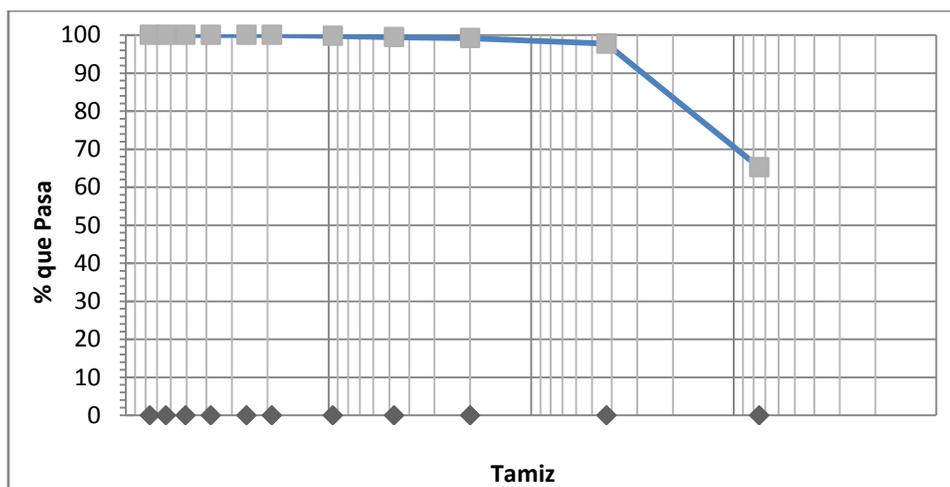
**GRÁFICAS 4.5.8. CURVAS GRANULOMÉTRICAS.  
PUNTO N°1 Barrio “San Gerónimo”**



**(\*PUNTO N°2 Barrio “San Gerónimo”**



**(\*)PUNTO N°3 Barrio “San Gerónimo”**



**TABLA 4.5.8. RESUMEN DE CLASIFICACIÓN Y SU CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO.**

BARRIO	N° DE CALICATA	SISTEMA ASSTHO	SISTEMA SUCS	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE DE PLASTICIDAD	CONTENIDO DE HUMEDAD	PROFUNDIDAD	N° DE GOLPES	RESISTENCIA ADMISIBLE
SAN GERONIMO	1	A-4(8)	CL	28	20	8	18,35	1,50	10	0,89
	*2	A-6(12)	CL	33,51	20,98	12,53	19,27	1,5	8	0,65
	*3	A-4(8)	ML	26,3	16,68	9,62	23,05	1,5	6	0,34
	*4	A-4(8)	OL	NP	NP	-----	10,94	1,5	10	1

Observaciones: el punto que presenta asterisco (\*) es un valor recopilado.

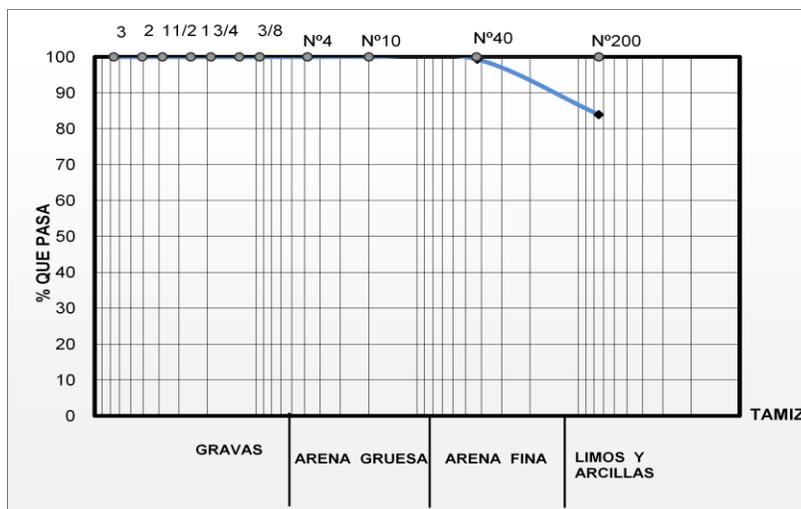
**4.5.9. Barrio Petrolero.**

El Barrio Petrolero es un Barrio que fue creciendo de una forma paralela al Barrio San Gerónimo por el entorno con viviendas de gran magnitud como ser de 3 pisos, los puntos donde se realizaron los ensayos de laboratorio son 2, uno de ellos se encuentra en la calle

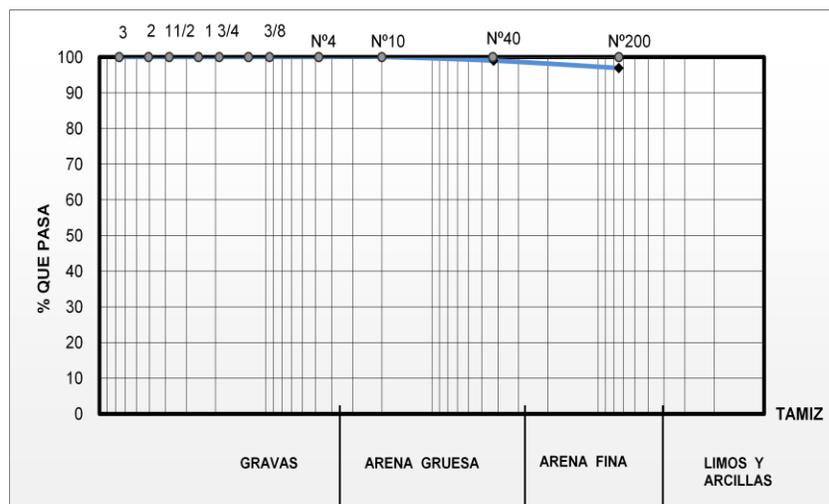
San Alberto y la calle Campo Madre y el otro punto se encuentra en la parte derecha de las instalaciones de la Fuerza aérea exactamente a 2 cuadras, la ubicación de los demás datos realizados se los puede apreciar en los planos solo se reflejan algunos de los datos en esta tabla, donde se realizaron los ensayos del cual se muestra a continuación la curva granulométrica y una tabla de resumen donde se encuentra la clasificación y su capacidad portante del suelo que se obtuvo dentro del Barrio.

### GRÁFICAS 3.5.9. CURVAS GRANULOMÉTRICAS.

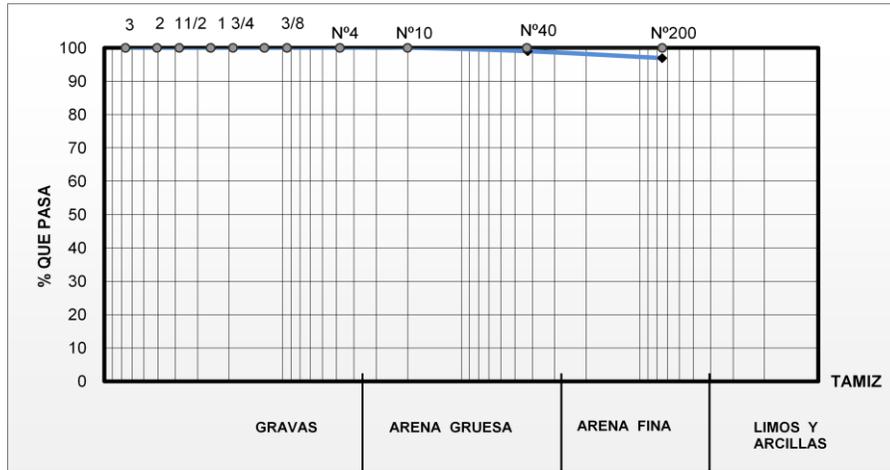
#### PUNTO N°1 Barrio "Petrolero"



#### PUNTO N°2 Barrio "Petrolero"



**(\*)PUNTO N°3 Barrio “Petrolero”**



**TABLA 4.5.9. RESUMEN DE CLASIFICACIÓN Y SU CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO.**

BARRIO	N° DE CALICATA	SISTEMA ASSTHO	SISTEMA SUCS	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE DE PLASTICIDAD	CONTENIDO DE HUMEDAD	PROFUNDIDAD	N° DE GOLPES	RESISTENCIA ADMISIBLE
PETROLERO	1	A-4(8)	ML-OL	24,1	19,7	4	34,79	1,50	7	1,56
	2	A-6(9)	CL	31	18	13	10,94	1,50	13	1,58
	*3	A-4(8)	CL	36	24	11		1,8	14	1,62

Observaciones: El punto que presenta asterisco (\*) es un valor recopilado.

**4.5.10. Barrio San Luis.**

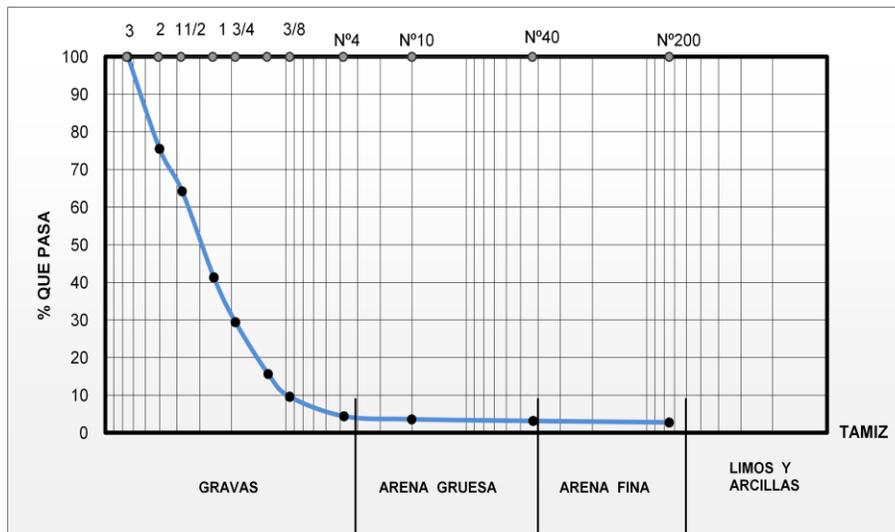
El Barrio San Luis es un Barrio muy antiguo que se dedica exclusivamente en ganadería y a la producción de la leche donde poco a poco se fue llenándose de obras públicas para el beneficio del Barrio como ser el colegio, puesto policial, etc. y también sus viviendas fueron creciendo.

Los puntos donde se realizaron los ensayos de laboratorio son 3 uno de los puntos se encuentra detrás del Colegio San Luis y el otro punto se encuentra sobre la avenida principal al lado del tanque elevado y el tercer punto en la parada del micro S, es así que se

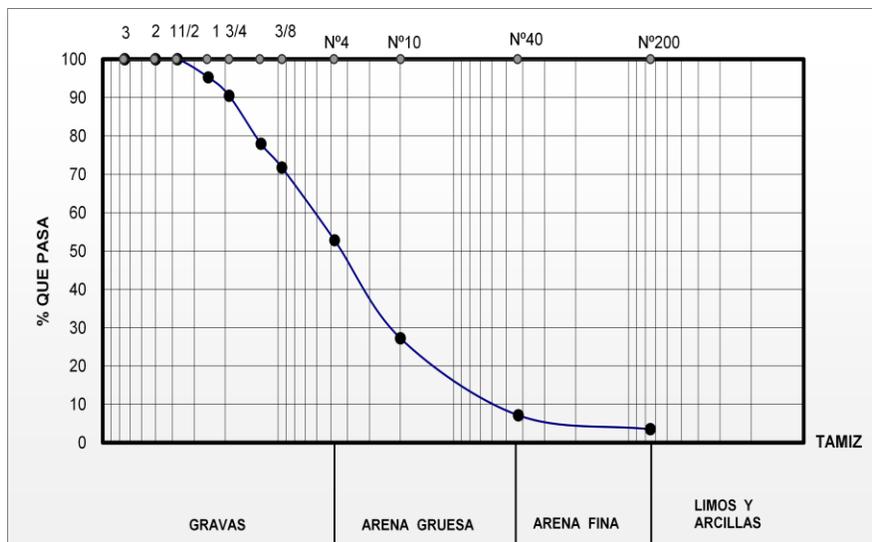
procedió a realizar los ensayos en los puntos ya indicados anteriormente, la ubicación de los demás datos realizados se los puede apreciar en los planos solo se refleja algunos de los datos en esta tabla, donde se realizaron los ensayos del cual se muestra a continuación la curva granulométrica y una tabla de resumen donde se encuentra la clasificación y su capacidad portante del suelo que se obtuvo dentro del Barrio.

### GRÁFICAS 4.5.10. CURVAS GRANULOMÉTRICAS.

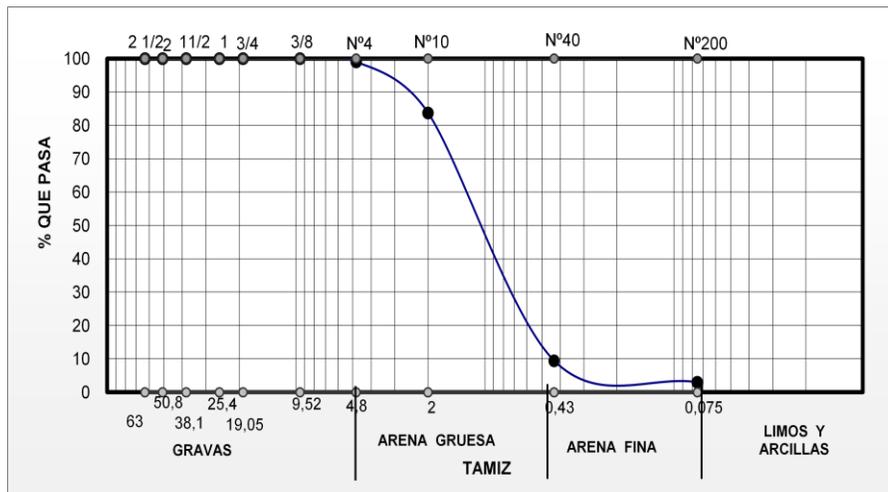
#### PUNTO N°1 Barrio “San Luis”



#### PUNTO N°2 Barrio “San Luis”



### PUNTO N°3 Barrio “San Luis”



**TABLA 4.5.10 DE RESUMEN DE CLASIFICACIÓN Y SU CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO.**

BARRIO	N° DE CALICATA	SISTEMA ASSTHO	SISTEMA SUCS	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE DE PLASTICIDAD	CONTENIDO DE HUMEDAD	PROFUNDIDAD	N° DE GOLPES	RESISTENCIA ADMISIBLE
SAN LUIS	1	A-1-a(0)	GP	NP	NP	-----	15,36	1,5	23	2,52
	*2	A-1-b(0)	GM	NP	NP	-----		1,7	11	1,1
	*3	A-1-b(0)	GM	NP	NP	-----		1,7	14	1,38

Observaciones: el punto que presenta asterisco (\*) es un valor recopilado.

#### 4.5.11. En el Distrito 13.

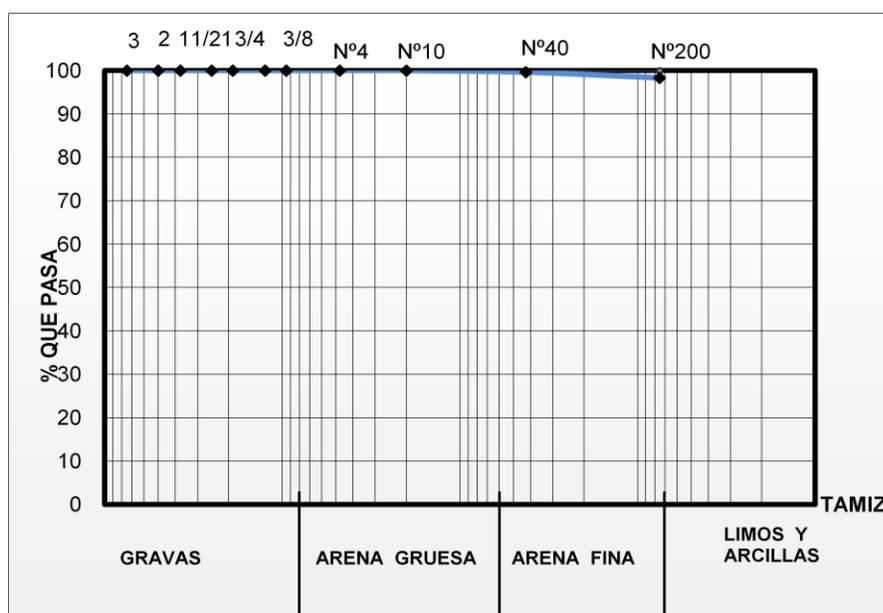
Está conformado por 13 Barrios del cual se decidió realizar los ensayos a los Barrios que tienen lugar para su extensión y se encuentran al alrededor del distrito los Barrios son el Barrio Catedral, Tabladita, Tablada y el Barrio San Antonio para así poder realizar los ensayos de clasificación y capacidad portante del suelo (SPT) y donde por la variabilidad de los estratos presentados en la zona se eligió lugares estratégicos en cada Barrio mencionado.

#### 4.5.11.1. Barrio Catedral.

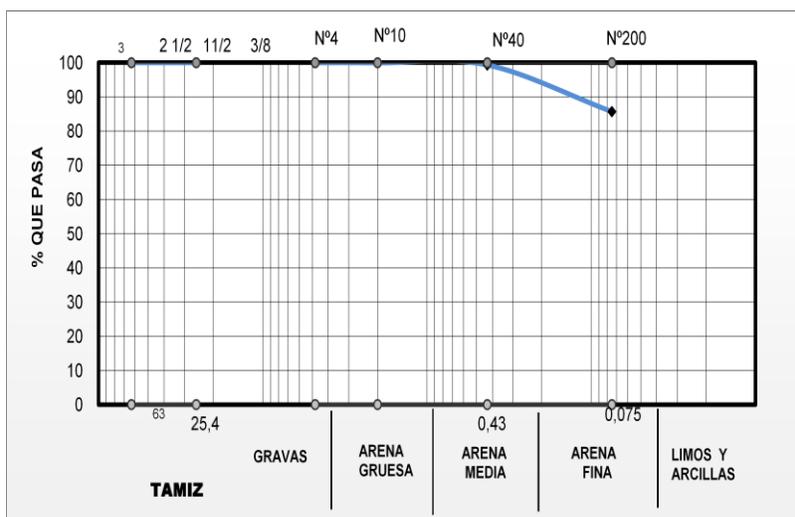
El Barrio Catedral es Barrio que recién empieza a poblarse y en cuanto a extensión se puede hablar que el Barrio tiene una gran extensión para infraestructuras grandes, en este Barrio se encuentran el circuito de motos, donde se pudo observar que alrededor hay bastante campo para que el Barrio siga expandiéndose, los puntos que se realizaron en este Barrio son 2 que se encuentran ubicados en la parada del micro 10 y por cercanías del circuito de motocrós, la ubicación de los demás datos realizados se los puede apreciar en los planos solo se reflejan algunos de los datos en esta tabla, donde se realizaron los ensayos del cual se muestra a continuación la curva granulométrica y una tabla de resumen donde se encuentra la clasificación y su capacidad portante del suelo que se obtuvo dentro del Barrio.

#### GRÁFICAS 4.5.11. CURVAS GRANULOMÉTRICAS.

##### PUNTO N°1 Barrio “Catedral.



### PUNTO N°2 Barrio “Catedral”



**TABLA 4.5.11. RESUMEN DE CLASIFICACIÓN Y SU CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO.**

BARRIO	N° DE CALICATA	SISTEMA ASSTHO	SISTEMA SUCS	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE DE PLASTICIDAD	CONTENIDO DE HUMEDAD	PROFUNDIDAD	N° DE GOLPES	RESISTENCIA ADMISIBLE
CATEDRAL	1	A-4(8)	CL	30,8	19,2	12	19,18	1,50	11	0,73
	2	A-4(8)	CL	30,8	23,1	7,7	17,4	1,50	19	1,05

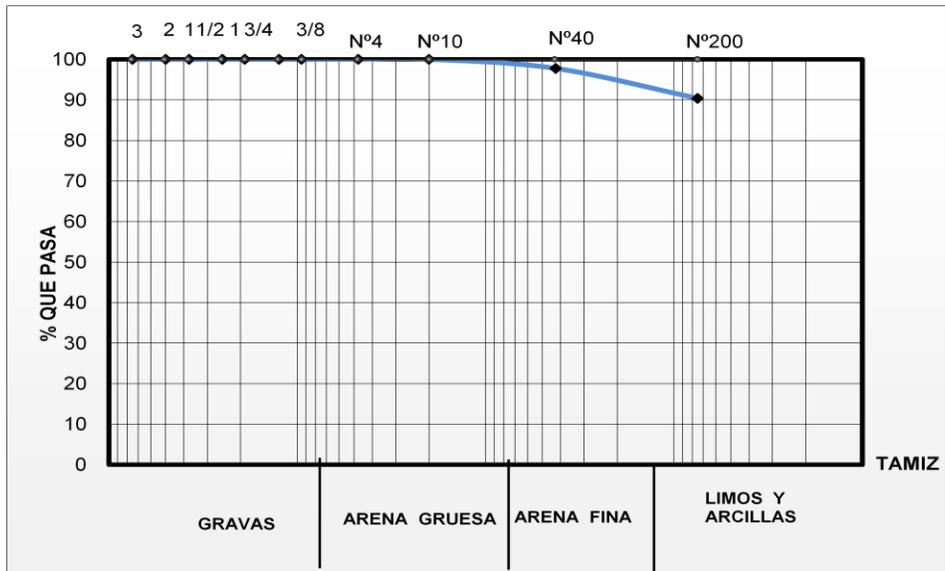
#### 4.5.12. Barrio Tabladita.

El Barrio Tabladita es un Barrio que se está conformado por construcciones menores y que está creciendo en cuanto a su magnitud de obras públicas y privadas, es un Barrio que recién se está urbanizando por el hecho que hay calle que todavía no tienen un nombre bien definido, los puntos que se realizaron en este Barrio son 2 uno que se encuentra ubicado sobre la avenida Chijmuri entre la calle Camachena y el otro punto se encuentra en la parte de la calle San Andrés, la ubicación de los demás datos realizados se los puede apreciar en los planos solo se refleja algunos de los datos en esta tabla, donde se realizaron los ensayos

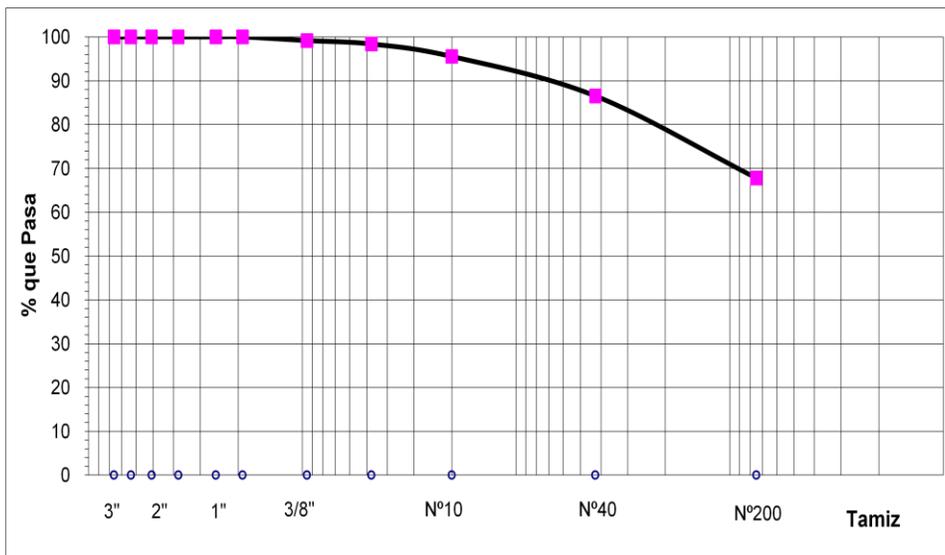
del cual se muestra a continuación la curva granulométrica y una tabla de resumen donde se encuentra la clasificación y su capacidad portante del suelo que se obtuvo dentro del Barrio.

### GRÁFICAS 4.5.12. CURVAS GRANULOMÉTRICAS.

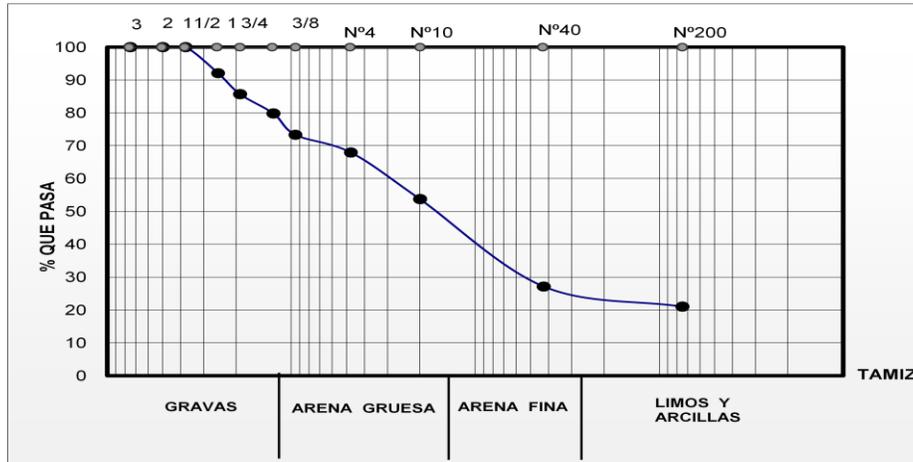
#### PUNTO N°1 Barrio "Tabladita"



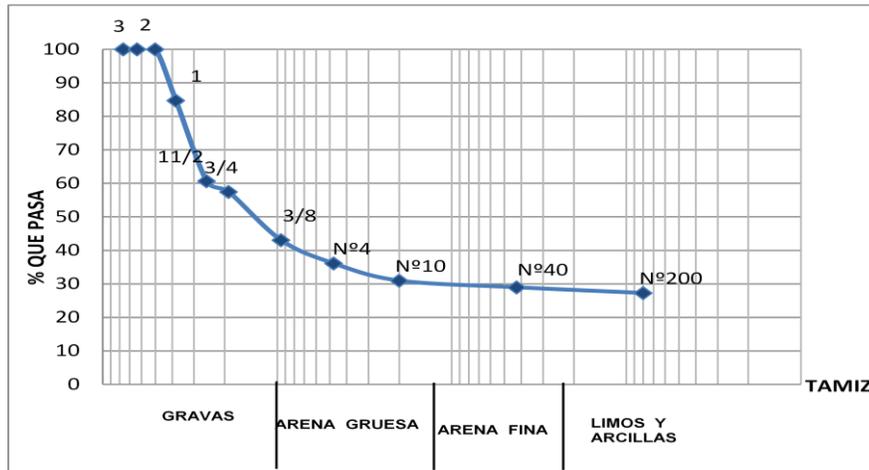
#### PUNTO N°2 Barrio "Tabladita"



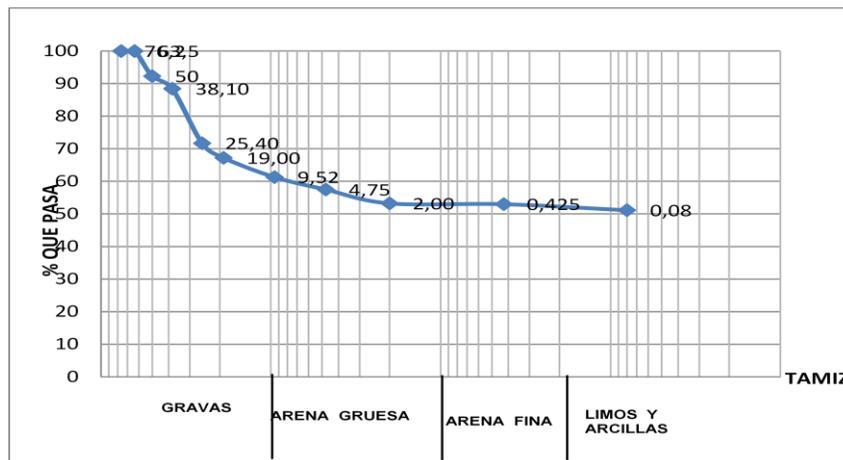
### PUNTO N°3 Barrio “Tabladita”



### PUNTO N°4 Barrio Tabladita.



### PUNTO N°5 Barrio Tabladita.



**TABLA 4.5.12. RESUMEN DE CLASIFICACIÓN Y SU CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO.**

BARRIO	N° DE CALIC ATAS	SISTEMA ASSTHO	SIST. SUCS	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE DE PLASTICIDAD	CONTENIDO DE HUMEDAD	PROF.	N° DE GOLPES	RESISTENCIA ADMISIBLE
TABLADITA	1	A-4(8)	CL	28,6	24,1	4,5	4,36	1,50	17	1,29
	*2	A-1-b(0)	GM	NP	NP	-	4,355	1,5	26	1,53
	3	A-4(8)	OL	35,85	26,08	9,77	24,12	2,5	13	0,94
	*4	A-2-4(0)	GM	22,81	18,41	4,4	10,42	2,5	14	2,15
	*5	A-2-4(0)	SM	26,7	16,26	10,44	14,62	2,5	24	1,5
	*6	A-7(0)	CL	53,86	22,93	30,93	29,45	3	9	0,38
	*7	A-2-5(0)	GM	41,5	31,86	9,64		1,5	24	2,75

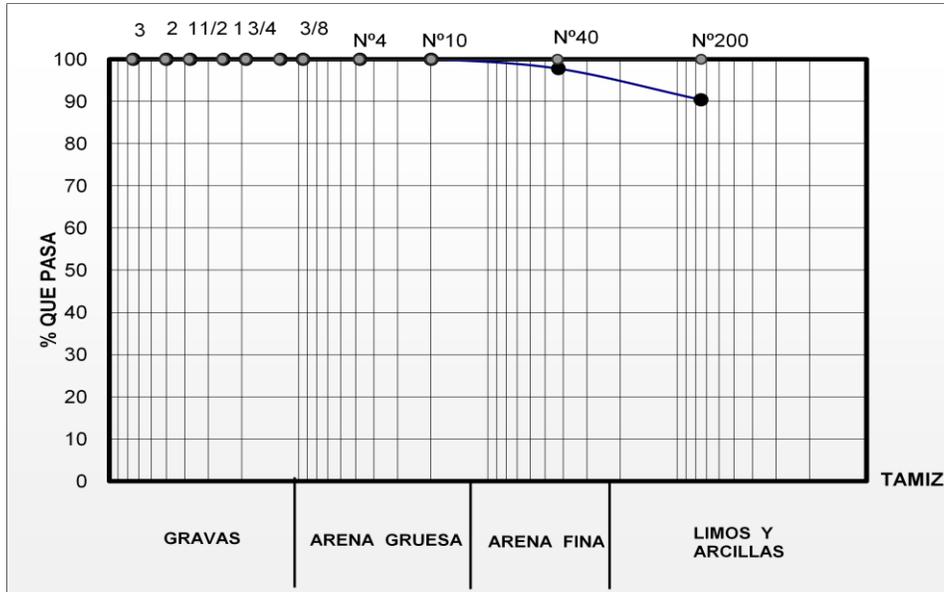
Observaciones: el punto que presenta asterisco (\*) es un valor recopilado.

#### 4.5.13. Barrio San Antonio.

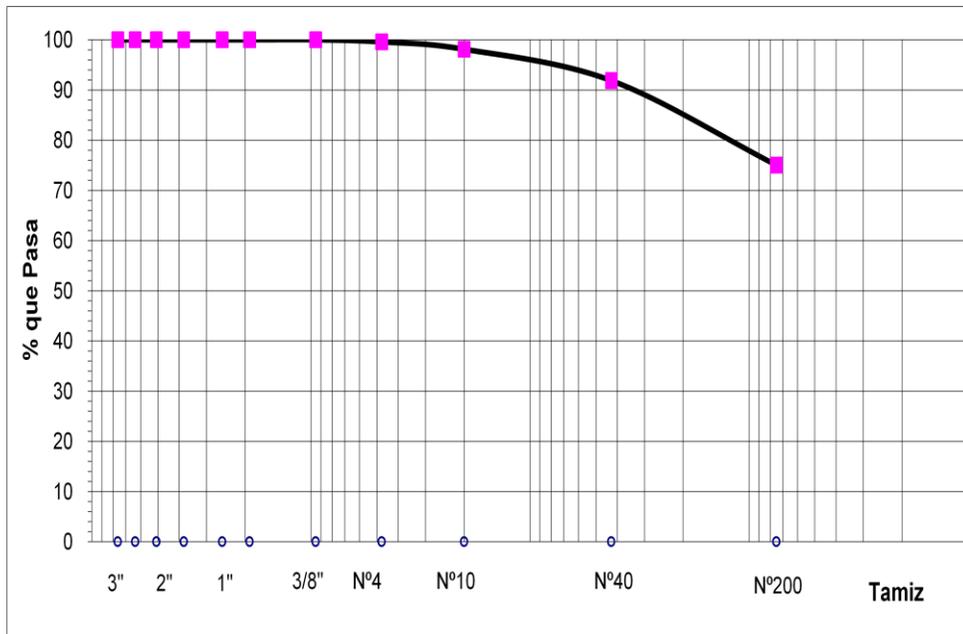
El Barrio San Antonio es el más pequeño del distrito, conformado por construcciones menores, es un Barrio que recién se está urbanizando por el hecho de que hay calle que todavía no tienen un nombre bien definido donde el espacio que presenta el Barrio es poco para viviendas no son representativos los espacios, pero si significativo, los puntos que se realizaron en este Barrio son 2, uno que se encuentra ubicado sobre la Avenida San Antonio el otro punto se encuentra al lado del Complejo Deportivo del Barrio, la ubicación de los demás datos realizados se los puede apreciar en los planos solo se refleja algunos de los datos en esta tabla, donde se realizaron los ensayos del cual se muestra a continuación la curva granulométrica y una tabla de resumen donde se encuentra la clasificación y su capacidad portante del suelo que se obtuvo dentro del Barrio.

### GRAFICA3.5.13. CURVAS GRANULOMÉTRICAS.

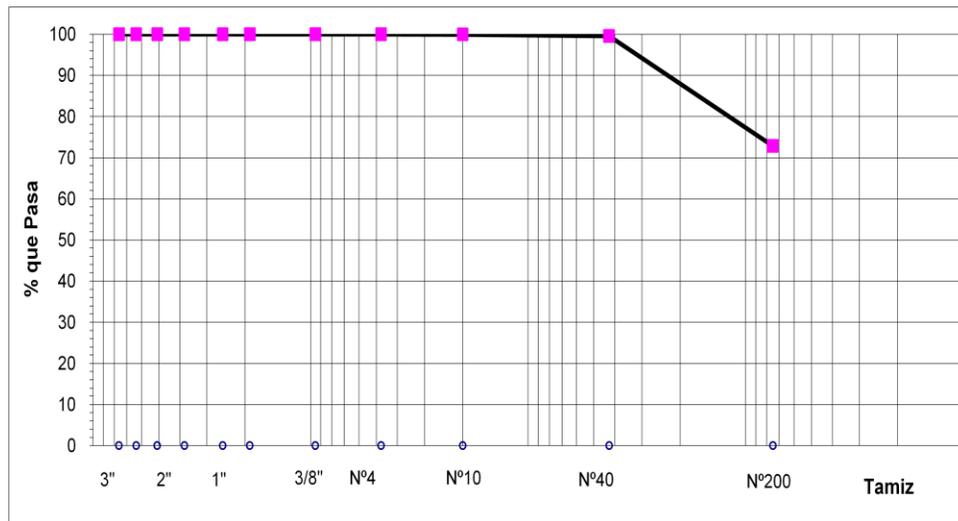
**PUNTO N°1 Barrio “San Antonio”**



**PUNTO N°2 Barrio “San Antonio”**



**(\*)PUNTO N°3 Barrio “San Antonio”**



**TABLA 4.5.13. RESUMEN DE CLASIFICACIÓN Y SU CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO.**

BARRIO	N° DE CALICATA	SISTEMA ASSTHO	SISTEMA SUCS	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE DE PLASTICIDAD	CONTENIDO DE HUMEDAD	PROF.	N° DE GOLPES	RESISTENCIA ADMISIBLE
SAN ANTONIO	1	A-4(8)	CL	28,6	24,1	4	10,4	1,6	17	1,29
	2	A-4(8)	ML	24,8	23,5	1,3	11,24	1,7	19	1,35
	3	A - 2-4 (0)	SM	NP	NP	-	9.25	1,7	7	0,65

Observaciones: el punto que presenta asterisco (\*) es un valor recopilado.

## **4.6. TIPOS DE SONDEOS.**

### **4.6.1. Sondeos Manuales:**

Este tipo de exploración se realiza comúnmente en obras horizontales realizándose excavaciones de pequeña sección en planta y generalmente a una profundidad máxima de 1.5 metros. En esta exploración se obtienen muestras alteradas.

### **4.6.2. Ensayos de Penetración Estándar (SPT):**

Este es uno de los métodos que rinde mejores resultados en la práctica y proporciona una información más útil en torno al subsuelo, no solo en lo referente a la descripción, sino también en cuanto a la resistencia del suelo, ya que puede considerarse como el primer ensayo realizado.

El método lleva implícito un muestreo que proporciona muestras alteradas del suelo en estudio y consiste en hacer penetrar a golpes, con un martinete, el penetrómetro o cuchara partida de Terzaghi, registrando el número de golpes necesarios para lograr una penetración de 30.5 cm. (1 pié).

En el proyecto se realizó el ensayo de penetración estándar (SPT), donde es considerado más útil en torno al subsuelo pero se realizó con una punta diamantada y no con la cuchara partida de Terzaghi ya que al encontrarse con una piedra en el momento de realizar el ensayo se producirá más golpes y la cuchara partida de Terzaghi puede sufrir una rotura y eso frenaría el ensayo donde también puede afectar a los resultados del ensayo por el hecho que donde no hay ninguna variabilidad ya que es la cuchara se utiliza más para suelos finos.

## **4.7. TÉCNICAS DE MUESTREO.**

Para poder definir las técnicas de muestro se empezó a realizar mediante las siguientes características que son las siguientes:

#### **4.7.1. Muestra Representativa.**

Se denomina muestra representativa aquella fracción de suelo o roca que es capaz de representar todo un conjunto o estrato determinado, no solo en su apariencia visual sino en sus propiedades físico-mecánicas.

Realizado el ensayo, se elaboro la realización de una muestra representativa donde se determinó una fracción representativa de acuerdo al extracto encontrado en el lugar del ensayo, donde una vez extraída la muestra se le coloco en una bolsa de nailon para que no se pierda su contenido de humedad y así se pueda hacer un buen estudio.

#### **4.7.2. Muestra Alterada.**

Son aquellas en las que no se hace ningún esfuerzo para conservar la estructura natural y condiciones del suelo. Los aditamentos con características para la recuperación de estos suelos son los siguientes:

- Muestreado res de tubo sencillo.
- Cucharas tipo Terzaghi (cuchara partida).
- Excavaciones en forma de calicatas o pozos a cielo abierto, etc.

Las muestras alteradas pueden utilizarse para determinar; Peso específico, límites de consistencia, Granulometría y cualquier otro ensayo que no requiera la estructura o condiciones naturales del suelo in situ.

#### **4.7.3. Muestras Inalteradas:**

Las muestras inalteradas son las que se obtienen tratando de conservar su estructura natural y cuyas condiciones, fundamentalmente la densidad natural y la humedad natural, han sufrido cambios mínimos despreciables en comparación a su estado in situ. Para obtener estas muestras se puede realizar.

- Monolitos labrados a mano.
- Muestreado res Shelby, etc.

Este manejo o manipulo de muestras inalteradas se realizó en los ensayos ya que se trató no perder su estructura natural donde sus condiciones solo pierda su lo mínimo en comparación de su estado in situ.

#### **4.8. Método de Penetración Estándar (S.P.T).**

##### **4.8.1. Pruebas de Penetración.**

Los cambios en las condiciones del subsuelo pueden advertir por las diferentes resistencias que oponen los estratos a ser atravesado por un “Penetrómetro”.

Cuando los antiguos hincaban una estaca en el fango blando de un pantano para localizar una veta firme de arena, practicaban esta técnica aunque los equipos más elaborados el fundamento sigue siendo el mismo.

La mayoría de los penetrómetro modernos consisten en una punta cónica a una barra de pequeño diámetro que sirve para hincar el cono con fuerza al suelo hacía los lados produciendo una compleja falla por un esfuerzo cortante, que se parece a la penetración de la punta de un pilota de cimentación.

El ensayo de por la tanto es una medida directa de la resistencia al esfuerzo cortante del suelo en el lugar.

Existen dos técnicas para realizar la prueba de penetración: la estática y la dinámica.

En la estática la punta es forzada necesaria para producir el movimiento.

En la dinámica se hinca el penetrómetro a una distancia específica a golpes de masa de igual energía.

Él número de golpes total que se requiere para el penetrómetro recorra la distancia especificada que llega hacer la medida de la resistencia.

La práctica estática es muy sensible a pequeñas diferencias a la consistencia del suelo y no es probable que la operación del ensayo cambie seriamente la estructura de las arenas sueltas o de las arcillas susceptibles.

La prueba dinámica es aplicable a una amplia variedad de consistencias y se pueden penetrar a las gravas y la roca blanda las cuales tendrían el avance del aparato en una prueba estática.

#### **4.8.2. Procedimiento.**

Para esta práctica se tuvo que sacar el material afuera para poder realizar la práctica, al aire libre, donde se trabajó en los diferentes distritos.

Antes de realizar la práctica se tuvo que constatar que el lugar para realizar la práctica se encuentre limpia.

Se procedió a sacar el material que contaba con un trípode muy grande y pesado, luego se procedió a realizar la práctica con la presencia de dos auxiliares.

Comenzamos a armar el equipo con la ayuda de los auxiliares para realizar esta práctica se necesita personas que estén en los apoyos del trípode y otro que pueda manipular la polea para que se pueda trabajar con el martillo.

Se debe apoyar el trípode de una manera correcta para que tenga las condiciones estables suficientes para soportar la fuerza lateral cuando se utilice el martillo.

Se debe tener mucho cuidado con el martillo ya que es muy pesado y así poder colocarlo en una forma vertical y en el punto buscado una vez que se encuentre el lugar requerido se debe proceder a soldar el seguro del martillo, para que el mismo sea jalado por el guinche y así de esa manera, cada vez que dejando caer el martillo de manera libre golpee la placa sujetadora, vale mencionar que el ajuste de que se hizo fue realizada por los auxiliares.

Esta punta tiene unas separaciones cada 15cm. del cual se precede a realizar la práctica, donde se empieza el conteo de los golpes.

En algunos puntos se consideró que el suelo estaba medio húmedo por lo cual se explica que la penetración fue relativamente rápida, donde se procedió a anotar el número de golpes, luego se procedió a retirar el equipo para extraer la muestra del lugar trabajado una cantidad de 1kg, en caso de suelos finos, en otros casos y 5 Kg. Para suelos granulares, del cual también se debe sacar una pequeña muestra de suelo para encontrar el contenido de humedad natural.

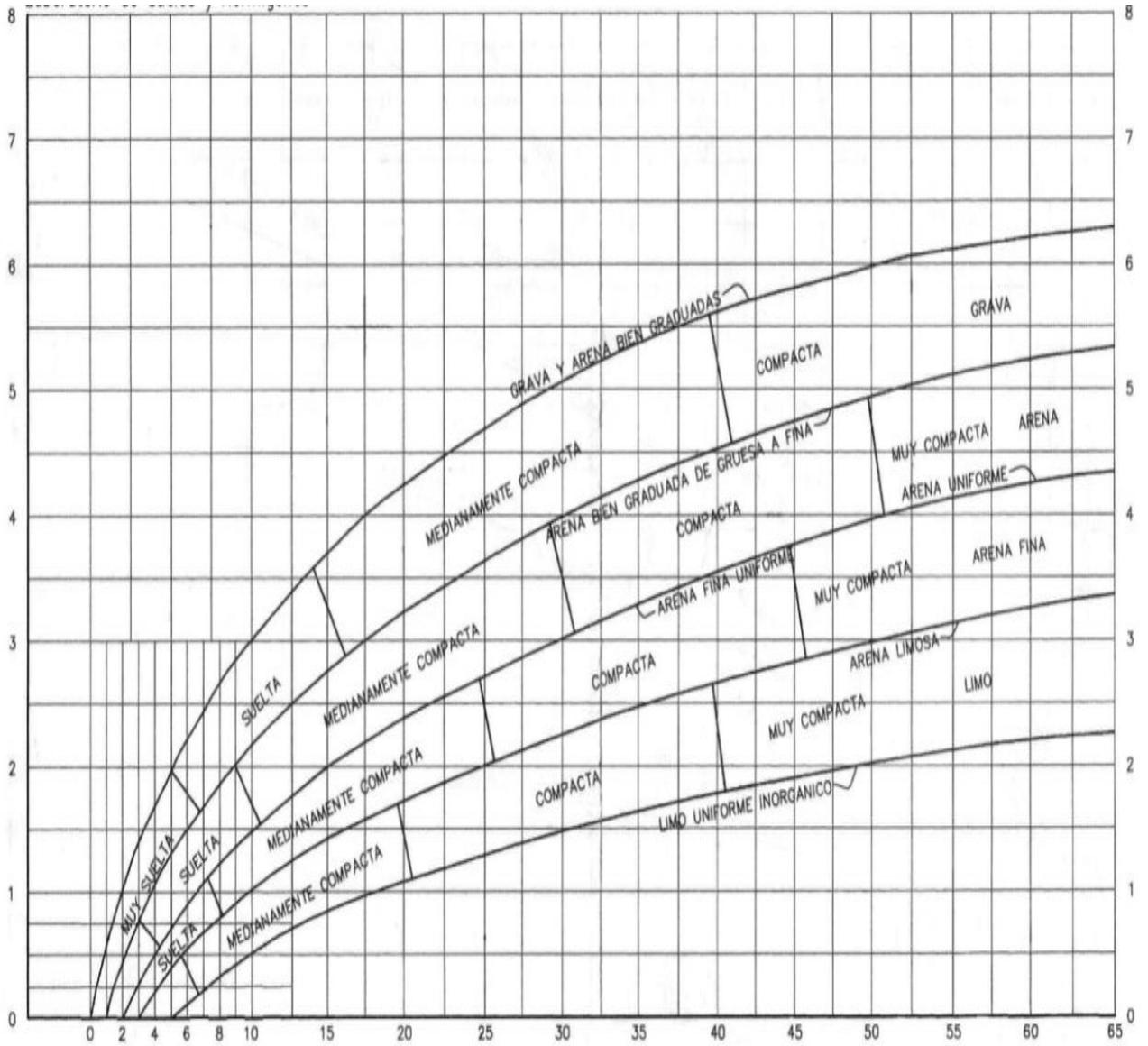
Primero se procedió a llevar todo el equipo desde el laboratorio hasta el lugar de realización de la práctica, una vez realizado lo anterior se tuvo que tomar en cuenta que la profundidad a la que tiene entrar es de 30 cm con una cantidad determinada de golpes.

Luego se procedió a realizar el armado del equipo de penetración primero colocando el martinete en el eje del trípode luego soltando el mismo desde una caída libre de 75cm con un peso de 65.0 kilogramos.

Luego de realizar series de golpes con el martinete hasta lograr una penetración de 30cm de profundidad se procedió a retirar el equipo de penetración del pozo realizado en el campo.

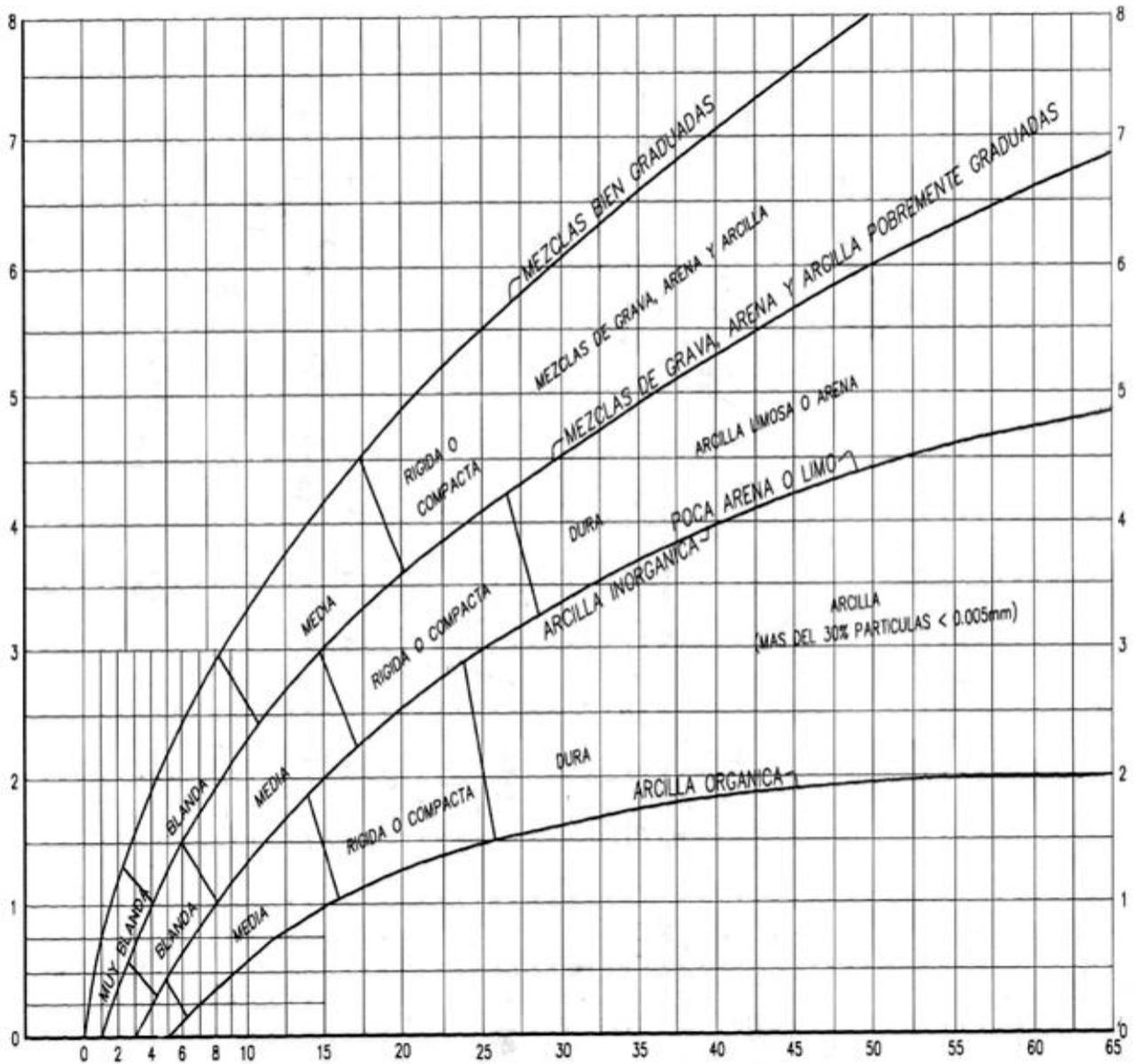
Luego de realizar los ensayos con la cuchara partida y la punta diamantada se procedió a hacer el análisis de la muestra, para poder determinar el Contenido de Humedad, Límite Plástico y el Límite Líquido luego de realizar la clasificación con la muestra en el laboratorio se realizó los cálculos donde se procedió a realizar el cálculo de la resistencia admisible mediante ábacos para diferentes suelos.

## DIFERENTES TIPOS DE SUELO



NÚMERO DE GOLPES PARA QUE LA CUCHARA PENETRE 30cm CON UN PESO DE 55Kg Y ALTURA DE 75cm

## ARCILLAS Y MEZCLAS DE SUELOS.



NÚMERO DE GOLPES PARA QUE LA CUCHARA PENETRE 30cm CON UN PESO DE 55kg Y ALTURA DE 75cm

#### **4.9. Zonificación del Área de Estudio.**

Para poder realizar la zonificación del área de estudio se vio conveniente tomar en cuenta los siguientes puntos ya que son muy importantes para las diferentes áreas consideradas, donde se diferencian por su magnitud y sus características estructurales.

Se tomó en cuenta 4 distritos y dentro de los mismos se consideraron los Barrios periféricos, (los que se encuentra en el contorno del Barrio), para los ensayos realizados se determinó la cantidad de puntos según el espacio para construir, la distancia que se consideró por punto fue según el área que se encontraba en la zona aplicada ya que más que todo para lugares donde tiende a crecer la población.

El distrito 7 cuenta con una área de 349 ha. comprende 13 Barrios, para el distrito 7 se consideró 3 Barrios que se encuentran alrededor de él y se los considera como Barrios periféricos estos Barrios fueron determinados para poder ver la clasificación que podía existir en ese lugar de la zona ya que se encuentran colindantes entre si y de la misma manera se puede ver las características que puede presentan en los diferentes puntos planteados en los Barrios.

El distrito 10 cuenta con un área de 833 Ha. cuenta con 13 Barrios en este distrito se tomó en cuenta para el estudio 4 Barrios donde se abarco con más puntos en relación a los demás ya que en la actualidad es un distrito que recién está creciendo a su alrededor y cuenta con gran espacio para mayor construcciones de menor o mayor magnitud.

El distrito 11 cuenta con un área de 570 Ha. El cual cuenta con 5 Barrios donde se consideró solo 3 ya que los 2 primeros Barrios se encuentran en la parte central de Tarija y están completamente poblados y no sería muy representativa realizar los ensayos.

El distrito 13 cuenta con un área de 579 Ha. Y con 9 Barrios los cuales se encuentra alejados del centro de la ciudad y están en la zona alta de del Departamento de Tarija, en este distrito los ensayos se aplicaron solo a 3 Barrios ya que eran los que tiende a crecer en su población.

#### **4.9.1. Descripción del Trabajo de Campo.**

Mencionando anteriormente diferentes conceptos podemos decir en términos geotécnicos, que suelo es cualquiera material terrestre excluida la roca firme sin alterar.

Para la realización de este proyecto se tuvo que realizar una inspección de los diferentes lugares que se consideró para realizar los ensayos y así a la vez poder clasificar y definir los distritos y los lugares para realizar los ensayos ya que es importante considerar la zona en donde se va a aplicar los ensayos, una vez definido los distritos para realizar el proyecto se empezó a elegir los Barrios de los diferentes distritos que se encuentran en el contorno del distrito o en los Barrios que no cuentan con edificaciones mayores de 2 pisos y que en su mayoría solo son viviendas provisionales en realidad se los considero como Barrios periféricos, viendo la magnitud del proyecto se tomó en cuenta por distritos y según su magnitud de los Barrios donde se decidió tomar 4 Barrios en los distritos grandes y en los medianos 3 Barrios y los más pequeños solo 2 Barrios, una vez elegido los Barrios se consideró en los Barrios ya mencionados anteriormente elegir lugares estratégicos para que se pueda ver la variabilidad de los extractos que se encuentran en los diferentes distritos donde se procedió a realizar las calicatas para poder realizar el ensayo en campo donde cuidando que la zona se encuentre limpia para poder realizar la práctica contando con la colaboración técnica de los de laboratorio

#### **4.10. MÉTODOS EMPLEADOS EN NUESTRO MEDIO.**

Los métodos más empleados en nuestro medio son los siguientes; El método de Penetración Cónica (Cono Holandés) y la Prueba de Penetración Estándar (S.P.T.) o conocido como Ensayo Normalizado de Penetración.

En el presente trabajo se utilizaron en los datos obtenidos el método de Penetración Estándar o S.P.T. (Standart Penetration Test), por ser el que más se adecua a nuestros requerimientos y además de ser el más empleado por las empresas constructoras como por el laboratorio de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

El concepto que se maneja con la prueba de Penetración Standard, es tener la idea de la resistencia del suelo y compararlo con otro conocido por el número de golpes que hay que dar para introducir un tubo en el terreno a estudiar.

El tubo es el tomo muestra de 2" \* 1 3/8 con tubo bipartido y un tubo con punta diamantada.

El golpe es producido por la masa de 140 libras (65 Kg.) cayendo desde una altura de 30" (75 cm), cuya longitud que hay que profundizar golpeando es un (1) pie (30 cm.) donde el número de golpes que hay que dar para que el tubo avance un pie es la medida de penetración.

#### **4.10.1. Procedimiento.**

La forma para trabajar con el sistema de Penetración Standard, es el siguiente: primero se comienza por limpiar el fondo de la calicata. A continuación se introduce el equipo donde se ubica un punto para que se pueda realizar el ensayo en ese punto, se comienza a golpear dejando caer la maza desde (75 cm) en caída libre hasta que se haya introducido los primeros 15 cm. A partir de este momento se comienza a contar los golpes hasta que se han introducido los 30 cm restantes, si hubiese de dar se mas de 100 golpes se suspende la prueba.

Para esta prueba hay que emplear el tubo de 2" \* 1 3/8" en suelo formado por arenas limos y arcillas.

Para la realización del ensayo se procedió a realizar unas calicatas de 1.5 x 1.5 x de una profundidad variante segun el extracto. En los distritos elegidos una vez definido el lugar de los 4 distritos como ser: Defensores del Chaco, IV Centenario, Las Pascuas pertenecientes al distrito N°7, Morros Blancos, Simón Bolívar, Torrecillas y Vela pertenecientes al Distrito N°10, San Gerónimo, Petrolero y San Luis pertenecientes al distrito N°11, San Antonio, Catedral, Tabladita pertenecientes al distrito N°13. En los Barrios mencionados anterior mente se realizó calicatas en cada Barrio para que de esa manera se pueda realizar el ensayo, una vez realizado el pozo se procedió a sacar el material y armar el equipo en el lugar del ensayo, donde el equipo para ser armado se necesita contar con varias personas ya que el manejo es significativo una vez realizado el

trabajo se procede a realizar el trabajo con el SPT , realizando los golpes hasta alcanzar los 30cm de profundidad a un determinado número de golpes terminando el ensayo se procede al retiro de la muestra de cada Barrio del cual se sacó una muestra representativa de 5 kilos si el material es aluvial o coluvial y si es fino se sacó 2 a3 kilos para de esa manera proceder con los ensayos de granulometría, límites.

#### **4.11. Descripción del Trabajo de Laboratorio.**

Una vez extraída la muestra esta deberá ser depositada en un recipiente de vidrio o de plástico, que se sella y se lo envía a laboratorio. Donde la muestra conserve la humedad, la composición y la estratificación del suelo, aunque puede haber una apreciable distorsión en la estructura.

##### **4.11.1. Procedimiento.**

Una vez obtenida la muestra del ensayo se procedió a sacar el contenido de humedad de los diferentes puntos que se hizo por Barrio, el segundo paso fue realizar los ensayos de contenido de humedad, Análisis Granulométrico (Método - Mecánico), Análisis Granulométrico (por el Hidrómetro), Peso específico, Límites de Atterberg, Densidad In Situ, teniendo en cuenta la cantidad de muestra para poder realizar los ensayos.

##### **4.11.2. Contenido de Humedad.**

Para realizar el contenido de humedad de las muestras obtenidas se procede inmediatamente a realizar el ensayo para que no pierda sus propiedades.

Se pesarán las cápsulas de latón, registrando dichos datos en la planilla de contenido de humedad, cabe hacer notar que por precaución se deben identificar las cápsulas.

Se llenará la cápsula con el suelo, registrando el peso de suelo húmedo más cápsula.

Seguidamente se introducen las cápsulas con el suelo húmedo dentro del horno dejándolas reposar durante 24 horas, a una temperatura de 105 o 110 ° c.

Después de realizado el secado, pesar las cápsulas registrando el valor de peso de suelo seco más cápsulas cubiertas de manera que no absorba humedad de la atmósfera del laboratorio.

### **4.11.3. Granulometría.**

Para realizar esta práctica se debe tomar en cuenta el tipo de suelo con el que se está trabajando. Para suelos granulares se debe utilizar una muestra de unos 5000 gramos y para suelos arcillosos esta puede variar de 300 a 500 gramos.

#### **4.11.3.1. Método Mecánico.**

#### **4.11.3.2. Material fino.**

Este método se usa para material que pasa por el tamiz # 10. Aquí se usa una cantidad de 300 gramos aproximadamente.

Se deja reposar la muestra en agua, hasta que se sature completamente, hasta que el suelo tenga la apariencia de lodo o barro.

Sin perder el material se lo hace pasar por la malla # 200.

Posteriormente el material retenido en la malla # 200, se dispone en un recipiente y se lo deja secar, para luego re tamizar para las mallas # 40 y # 200.

Finalmente se procede a pesar el suelo retenido en cada malla.

#### **4.11.3.3. Material granular.**

Se procede cuartearla muestra a utilizar.

Se toma una muestra representativa de 5000 gr .donde se procede a realizar el lavado de la muestra por el juego de tamiz completo, consiguiendo de esa manera que no exista retención de partículas en el material granular luego se deja secar en horno durante 24 hrs.

Luego se procede a realizar el re tamizado por el juego de tamiz.

Finalmente se procede a pesar el material retenido de cada malla.

#### **4.11.3.4. Método del Hidrómetro.**

##### **4.11.3.4.1. Prueba del Hidrómetro.**

Primeramente se procedió a pesar a la muestra representativa, misma que pasa por el tamiz No. 200, el peso de la muestra es de 80 - 100 gr.

Obtenido el peso del material se llenó con agua las dos probetas graduadas hasta tener 1000 ml. en cada probeta.

Con ayuda del termómetro tomamos la temperatura de una de las probetas con agua.

Prepara 125 ml. de solución (agua con de floculante), el porcentaje del defloculante es aproximado en un 4 % en peso de lo 1000ml de agua.

La muestra se coloca en un recipiente y mezclado con los 125 ml de solución al 4% de floculante.

Se procedió a depositar la muestra en la segunda probeta tratando con sumo cuidado de no perder nada del material.

Procedimos a tapar la probeta con la mano y batirla para que la muestra se extienda por toda la probeta.

Introducimos el hidrómetro cuidadosamente para saber la lectura del hidrómetro en ese instante y empezamos a tomar el tiempo con ayuda del cronometro.

Cuidadosamente sacamos el hidrómetro y lo colocamos en la primera probeta, al cabo de 30 segundos nuevamente se introduce el hidrómetro en la probeta con la muestra y se hace la lectura del mismo, se saca el hidrómetro y se lo vuelve a colocar en la primera probeta sé observar que a medida que transcurre el tiempo el material se va sedimentando en la parte inferior de la probeta.

Se realiza los pasos anteriormente dados para diferentes lapsos de tiempo hasta conseguir que la lectura nos dé un valor muy próximo a 1 esto en un lapso de 2 horas.

Una vez acabado el experimento se realizan los cálculos correspondientes.

##### **4.11.3.4.2. Peso específico.**

Primeramente se procedió al tamizado de la muestra ya seca, con tamices N° 30 200; esto para suelos cohesivos y no cohesivos.

## **SUELOS COHESIVOS.**

- Sólo obtuvimos 30,5 gramos de muestra para suelos de tipo cohesivo.
- Colocamos la muestra cuidadosamente en el picnómetro, evitando botar parte del suelo.
- Se añadió agua de grifo, llenando el picnómetro alrededor de sus  $\frac{3}{4}$  partes.
- Removimos el aire que pudo haber quedado, haciendo hervir el contenido, suavemente, por lo menos cinco minutos.
- Se dejó enfriar hasta una temperatura aproximada a los 16 °C , porque todavía se encuentra en el rango de calibración del picnómetro.
- Pesamos y determinamos la temperatura.
- El peso obtenido, es el peso del picnómetro, más agua, más muestra, el rango se encuentra todavía en temperatura de ensayo.

## **SUELOS NO COHESIVOS:**

- Se colocó 96.17 gramos de muestra en el picnómetro con la ayuda del embudo.
- Se añadió agua de grifo, llenando el picnómetro alrededor de sus  $\frac{3}{4}$  partes
- Removimos el aire que pudo haber quedado, haciendo hervir el contenido, suavemente, por lo menos cinco minutos.
- Dejamos enfriar hasta una temperatura de 20 °C ya que todavía se encuentra en el rango de calibración del picnómetro.
- Pesamos y determinamos la temperatura.
- Este peso, es el peso del picnómetro, más agua, más muestra, el rango está todavía en temperatura de ensayo.

### **4.11.3.5. Límites de Atterberg.**

#### **4.11.3.5.1. Limite Líquido.**

Tomar una cantidad suficiente de suelo secado al aire, para obtener una muestra representativa del material que pasa a través del tamiz N° 40

Es necesario asegurar la destrucción de todos los grumos presentes

Verificar que la altura de la máquina de Casagrande sea exactamente de 1 cm. Para esta operación se puede utilizar la cabeza en forma de dado de 1 cm en el extremo superior del Ranurador.

Si la altura de la caída no se calibra dentro de estos límites, es posible introducir un error de varias unidades % en la determinación del contenido de humedad.

Colocar la muestra de suelo en un recipiente añadir una pequeña cantidad de agua y mezclar cuidadosamente. Cuando la mezcla adquiere una apariencia cremosa, su estado es adecuado en general. Se debe continuar añadiendo pequeñas cantidades adicionales de agua y mezclando cada vez hasta obtener una mezcla homogénea.

A continuación emparejar la superficie de la pasta de suelo cuidadosamente con una espátula, y mediante el uso de la herramienta Ranurador, cortar una ranura clara, recta, que separe completamente la masa del suelo en dos partes.

Levantar y soltar el plato de bronce que contiene la muestra preparada y cortada como ya se indicó, por medio del manubrio a una velocidad de dos revoluciones por segundo, hasta que las dos mitades se unan en su base, luego se registrara el número de golpes que han sido necesarios para cerrar el canal.

Una vez que la ranura se une en sus extremos debido al movimiento tomar una muestra para medir contenido de humedad (tan grande como sea posible) y colocarla en una lata o recipiente para humedad cuyo peso debió determinarse con anterioridad, y asegurarse que esta muestra corresponde a la zona donde se cerró la ranura. Colocar la tapa del recipiente para contenido de humedad y colocarlo a un lado temporalmente. Remover los restos de suelo de la cazuela y volverlos al recipiente donde se había preparado la muestra. Lavar y limpiar perfectamente la cazuela.

Repetir el procedimiento tres veces para poder contar con la cantidad suficiente de datos.

Introducir las cápsulas con la muestra al horno a una temperatura de 105 °C durante 24 hrs.

#### **4.11.3.4.2. Limite Plástico.**

El siguiente procedimiento consiste en determinar el límite plástico del suelo. Para aumentar la precisión el ensayo se debe hacer de la siguiente forma:

Dividir en varios pedazos o porciones pequeñas la muestra de 20 a 30 g de suelo que se había separado con anterioridad durante la preparación de la muestra para límite líquido.

Enrollar el suelo con la mano extendida sobre una placa de vidrio con una presión suficiente para moldearlo en forma de cilindro o hilo de diámetro uniforme de unos 3 mm

Cuando el diámetro del hilo o cilindro de suelo llegue a los 3mm, se observará pequeños agrietamientos en la muestra encontrándose ésta con la humedad en el límite plástico.

Se cortan los trozos del material que contengan esas pequeños agrietamientos para pasarlas luego a las taras.

Pesar las taras más los trocitos y tomarlos como datos

Introducir la muestra al horno a una temperatura de aproximadamente 105 °C durante 24 hrs.

Esta secuencia debe repetirse el número de veces que se requiera para producir suficientes pedazos de cilindro que permitan realizar el cálculo.

#### **4.11.3.5. Densidad In Situ.**

Es el más generalizado en la actualidad. El equipo que se utilizan consta además del martillo y cincel para hacer los hoyos, de un frasco de cristal o de plástico de unos 2,5 litros de capacidad, donde se coloca la arena y de un aparato semejante al indicado con una válvula entre ambos embudos. El aparato está construido de tal modo que el embudo pequeño se enrosca con facilidad al cuello del frasco mencionado.

Una vez lavada la arena se hace secar para luego proceder al ensayo.

##### **4.11.3.5.1. Determinación del Volumen del Frasco.**

Se pesa el frasco más el cono seco y limpio.

Llenar el frasco con agua destilada hasta la válvula y determinar el peso.

Este procedimiento repetir por lo menos cinco veces y sacar un promedio entre los resultados.

Luego el volumen del agua equivalente al volumen del frasco más cono es el cociente del peso del agua entre la densidad del agua.

#### **4.11.3.5.2. Determinación de la Densidad de la Arena.**

Se pesa el frasco más cono vacío, seco y limpio.

Llenar el frasco con arena calibrada (tamizada en el tamiz # 30 y Tamiz # 30).

Se debe llenar de una altura y con velocidad constante. Hacer girar la botella de vez en vez, con objeto de que los granos de arena se acomoden en forma uniforme dentro de la botella.

Determinar el peso, por lo menos cinco veces y sacar un promedio entre los resultados.

El peso de la arena será la diferencia entre el peso de arena más frasco menos el peso del frasco.

El volumen ya está determinado. Luego la densidad de la arena será el cociente del peso de la arena entre el volumen del frasco.

Previamente se debe determinar el peso de la arena que ocupa el cono.

Se pesa el frasco más arena más cono, luego se invierte sobre una superficie plana, se abre la válvula y se deja caer la arena cuando les de caer se cierra la válvula y se pesa nuevamente el frasco más embudo, más arena que queda en el frasco. La diferencia nos dará el peso de arena necesaria para llenar el embudo.

Una vez ensayados los anteriores pasos tenemos listo el aparato para el ensayo de densidad in situ.

Llenamos el frasco con arena hasta la válvula y nos dirigimos al campo.

En el lugar se limpia la zona donde se realizará el ensayo. Se coloca la plancha y se asegura para que esta no se mueva.

Se toma el cincel, el martillo y se hace un hueco de 10 cm. de diámetro y una profundidad de acuerdo a la altura de la capa, haciéndose  $\frac{2}{3}$  de esta capa.

El suelo extraído se coloca en un recipiente con tapa o una bolsa plástica para no perder la humedad.

Una vez alcanzada la profundidad requerida, se invierte el frasco con arena colocando en la plancha, se abre la válvula dejando caer la arena hasta que llene el hoyo y el embudo mayor.

Una vez que la arena ha dejado de caer, lo que puede fácilmente observarse a través del frasco. Se cierra la válvula y se levanta el aparato.

Si se cree conveniente, la arena que queda en el hoyo puede dejarse en el sitio.

Luego se pesa la muestra húmeda y se la pone en el horno para determinar su peso seco y posteriormente la humedad.

Es necesario determinar el peso del frasco más arena que queda en el frasco después del ensayo.

El cálculo es sencillo y se determina del llenado de la planilla correspondiente.

#### **4.12. Indicadores de Zonificación.**

Los indicadores para la zonificación en este proyecto se consideró tomar en cuenta: Las características del suelo (material fino o grueso).

Superficie en la conformación geológica de una zonificación, su dureza, permeabilidad, capilaridad, textura de los materiales encontrados, color y un perfil geológico.

Al realizar los ensayos en los distritos ya mencionados anteriormente se encontró diferentes indicadores principalmente porque los estratos son diferentes.

En el distrito 7 se tiene las siguientes características:

Descripción del material.-Mezcla de arenas gruesas, con sin material fino ligante bien graduado.

Grupo (A-1-b).- Mezclas bien graduadas compuestas de fragmentos de piedra, grava, arena y material ligante poco pastico. Se incluye también aquellas mezclas bien graduadas que no tienen material ligante.

Permeabilidad.- Baja.

Capilaridad.- Baja.

Elasticidad.- Muy baja

Dureza.- Se observa que son piedras duras.

Textura.- El tamaño de las partículas es de 1 1/2” y son piedras irregulares.

Color.- El color del material es de color marrón oscuro.

Grupo A- 2-4.- son gravas y arenas (arenas gruesas) que contienen limo y arcilla en cantidades reducidas, cuya plasticidad es baja, pero que excede al grupo A -1.

Grupo A-4.- Son suelos limosos, poco o nada pasticos, pueden contener más de un 75% del material que pasa el tamiz N°200

En el Distrito 10 se encontraron con diferentes estratos en los diferentes puntos realizados y recopilados.

Descripción del material.-Mezcla de arenas gruesas, con sin material fino ligante bien graduado.

Grupo (A-1-b).- Mezclas bien graduadas compuestas de fragmentos de piedra, grava, arena y material ligante poco pastico. Se incluye también aquellas mezclas bien graduadas que no tienen material ligante.

Grupo A-6: Predomina la arcilla, más del 75% del material pasa el tamiz N° 200, este suelo suele contener pequeños porcentajes de arenas finas y limo cuyas características son absorbidas por el gran porcentaje de arcilla.

Grupo A-7: Se parecen mucho al grupo A-6. Pero estos tienen propiedades elásticas, además su límite líquido casi siempre es elevado.

Grupo A-4.- Son suelos limosos, poco o nada pasticos, pueden contener más de un 75% del material que pasa el tamiz N°200.

Permeabilidad.- Baja.

Capilaridad.- Baja.

Elasticidad.- Muy baja

Textura.- El tamaño de las partículas es de 1 1/2” y son piedras irregulares.

Color.- El color del material es de color marrón oscuro, café claro, rojizo y arcilla negra

En el Distrito 11 se encontraron con diferentes estratos en los diferentes puntos realizados y recopilados, se tiene las siguientes características

Subgrupo A-1-b: Es bien graduado, predomina las arenas gruesas, casi no tiene ligante.

Estos materiales generalmente se encuentran en ríos y quebradas.

Grupo A-4: Son suelos limosos, poco o nada plásticos, puede contener más de un 75% del material que pasa el tamiz N° 200.

Grupo A-6: Predomina la arcilla, más del 75% del material pasa el tamiz N° 200, este suelo suele contener pequeños porcentajes de arenas finas y limo cuyas características son absorbidas por el gran porcentaje de arcilla.

Permeabilidad.- Baja, baja o prácticamente impermeable

Capilaridad.- Baja. Regular o elevada

Elasticidad.- Muy baja. Pequeña o media.

Textura.- El tamaño de las partículas es de 11/2” y son piedras irregulares. Donde también hay material fino mezclado con pequeñas partículas del tamiz 40.

Color.- El color del material es de color marrón oscuro, material negro, como lodo.

En el Distrito 13 se encontraron con diferentes estratos en los diferentes puntos realizados y recopilados.

Subgrupo A-2- 4 y A-2-5: El contenido de material fino es menor o igual al 35%, la fracción que pasa el tamiz N° 40, se comporta igual a los grupos A- 4 y A- 5 respectivamente.

Son gravas y arenas (arenas gruesas), que contiene limo y arcilla en cantidades reducidas, cuya plasticidad es baja, pero que excede al grupo A-1, también influye la arena fina con limos no plásticos que se describirán en el grupo A – 3.

Grupo A-4: Son suelos limosos, poco o nada plásticos, puede contener más de un 75% del material que pasa el tamiz N° 200.

Grupo A-6: Predomina la arcilla, más del 75% del material pasa el tamiz N° 200, este suelo suele contener pequeños porcentajes de arenas finas y limo cuyas características son absorbidas por el gran porcentaje de arcilla.

Densidad: Alta.

Permeabilidad.- Baja o media, baja.

Capilaridad.- Baja. Elevada o a veces perjudicial.

Elasticidad.- Baja o mediana. Pequeña o media.

Textura.- Hay material fino mezclado con pequeñas partículas del tamiz 40.

Color.- El color del material es de color marrón oscuro, material negro, como lodo.

#### **4.12.1. Validación de la zonificación en el Área de Estudio.**

En los diferentes Distritos se consideró realizar los ensayos en Barrios que se encuentran periféricos, donde se adoptó un área representativa donde se realizó más de 3 puntos por Barrio y contando con otros datos recopilados para que la información sea representativa.

En la mayoría de los distritos la clasificación de los suelos no varía pero la capacidad portante del suelo son diferentes, donde se consideró tomar en cuenta los valores que salieron menores para un diseño de una construcción de menor envergadura.

Se decidió realizar una valoración de los resultados obtenidos por distrito y así a la vez por Barrio donde se pueda tener un valor más representativo y confiable para poder utilizar en una construcción.

Con el estudio realizado en cada Barrio ya mencionado anteriormente se encontró con valores de la capacidad portante en su mayoría bajos por lo que se recomienda que realice una estabilización en los lugares que se encuentra con una capacidad muy baja o en otros casos se profundice más para poder encontrar una capacidad mayor en algunos casos, en caso contrario se recomienda que el diseñador realice el cálculo de la zapata, o se realice la construcción de la zapata con viga centradora eso quedaría en el criterio del diseñador y del proyectista.

En el distrito 7 se encontraron con valores en su mayoría bajos en el Barrio las Pascuas, el Barrio IV Centenario y en los Defensores del Chaco donde estos Barrios son caracterizados por tener material de relleno, al realizar los ensayos se encontró con una buena capa de material de relleno donde los valores recomendados de la capacidad portante del suelo son en su mayoría bajo estos valores sirven como parámetros para el diseñador donde se recomienda realizar el ensayo a otra profundidad para que se pueda encontrar otro estrato que brinde una capacidad portante mayor a la encontrada.

En el Distrito 10 se encontró diferentes tipos de suelos en los 3 Barrios donde se realizó los ensayos, la capacidad portante en estos Barrios fueron en su mayoría los más altos ya que la capacidad portante del suelo era buena, en el Barrio de Torrecillas, en el Barrio Simón Bolívar y en el Barrio Morros Blancos, donde se puede ver que el valor de la capacidad portante del suelo es buena.

En el Distrito 11 se obtuvieron valores altos, donde a simple vista se puede ver que son valores buenos y aceptables, en el Barrio San Gerónimo se tiene valores buenos pero también en un punto se encontró con valores muy bajos, en el Barrio Petrolero los valores de la capacidad portante son muy buenos en comparación de otros Barrios y en el Barrio de San Luis se encontró con valores de  $1 \text{ Kg/cm}^2$  donde se puede ver que la mayoría de los valores tienen un rango bueno ya que su capacidad es relativamente alta.

En el Distrito 13 se encontraron estratos diferentes con sus correspondientes capacidades portantes del suelo donde se pudo ver por la clasificación que se hizo que estos Barrios que tienen una capacidad muy variada en los Barrios aplicados ya que se presentaron estratos diferentes en el Barrio Catedral, en el Barrio Tabladita, Barrio de San Antonio. Como valor mínimo.

Estos valores son mínimos que se puede considerar en los diferentes Barrios mencionados anteriormente, donde se recomienda no buscar valores bajos de los obtenidos, y realizar un ensayo antes de realizar una construcción ya que estos valores son representativos en el lugar.

Al realizar el ensayo se vio conveniente hacer una recopilación de datos que pueda ser una muestra más representativa, se realizó la recopilación de datos de dos laboratorios privados y de la Posta Municipal lastimosamente los datos que se recopilaban no se encontraban completos ya que no presentaban una clasificación completa, especificaciones del lugar del punto, el contenido de humedad.

Ya que los equipos de los laboratorios son hecho de manera artesanal y no es estandarizado como en de la universidad ya que en primer lugar varían las correcciones para la capacidad portante del suelo dato que es muy importante para una construcción por menor que sea.

Se pudo comprobar que los informes de laboratorios privados no cumplen con las MÍNIMAS exigencias requeridas ya que se observó que la determinación de Límites Líquido y el Plástico se realiza solo dos puntos por cada ensayo, en la posta municipal considerando que es un lugar donde se pensó que se podía recopilar varios valores, no se encontró con la base de datos, donde se obtuvieron algunos datos que pudo servir al estudio realizado ya que no está completo con su clasificación del suelo.

En siguiente punto se puede observar una tabla de resumen que presenta todos los datos realizados y los recopilados con sus características, donde se la pueda utilizar como un aporte a la clasificación del suelo y su capacidad del suelo.

## **CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

### **5.1. CONCLUSIONES.**

- Se realizó una visita de inspección para definir las áreas de estudio, considerando porcentajes de los barrios estudiados ya que el área de los mismos es muy significativo y donde se optó por elegir 3 barrios por distrito que se encuentran al alrededor del mismo.
- Los resultados obtenidos de los ensayos realizados en el del distrito 7 de una área total de 349 Ha, el área de los 3 barrio es 79,653 Ha donde se ha utilizado un 38 % del área total de los barrios considerados en el estudio; la variación de los resultados de la capacidad de los suelos están entre 0.44 a 2.16 los barrios aplicados son el barrio de Las Pascuas, IV Centenario, Defensores del Chaco donde la variación de la capacidad portante que se indicada solo corresponde a los puntos que se realizó.
- Los resultados obtenidos de los ensayos realizados en el del distrito 10 de una área de 833 Ha, el área de los 4 barrio es 477,769 donde se ha utilizado un 35 % del área total de los barrios considerados en el estudio; la variación de los resultados de la capacidad de los suelos están entre 0.72 a 2.55 los barrios aplicados son el barrio de Vela, Torrecillas, Simón Bolívar, Morros Blancos donde la variación de la capacidad portante que se indicada solo corresponde a los puntos que se realizó.
- Los resultados obtenidos de los ensayos realizados en el del distrito 11 de área de 570 Ha, el área de los 3 barrio es 394.23 Ha donde se ha utilizado un 30 % del área total de los barrios considerados en el estudio; la variación de los resultados de la capacidad de los suelos están entre 0.52 a 2.52 los barrios aplicados son el barrio de San Gerónimo, Petrolero y San Luis donde la variación de la capacidad portante que se indicada solo corresponde a los puntos que se realizó.
- Los resultados obtenidos de los ensayos realizados en el del distrito 13 de una área de 579 Ha, el área de los 3 barrio es 258.888 Ha donde se ha utilizado un 25 % del

área total de los barrios considerados en el estudio; la variación de los resultados de la capacidad de los suelos están entre 0.65 a 3.89 los barrios aplicados son el barrio de San Antonio, Tabladita y Catedral donde la variación de la capacidad portante que se indicada solo corresponde a los puntos que se realizó.

- En resumen se tiene la siguiente tabla de todos los puntos realizados y los recopilados en los distritos analizados son los siguientes:

DISTRITOS	PUNTOS REALIZADOS	PUNTOS RECOPIRADOS	TOTAL DE PUNTOS
DISTRITO 7	12	8	20
DISTRITO 10	20	5	25
DISTRITO 11	7	6	13
DISTRITO 13	12	6	18

- El trabajo investigativo de campo debe incluir necesariamente sondeos de perforación tipo SPT (Standard Penetration Test) y con una profundidad tal que permita conocer las características del suelo, porque es un equipo que es apto para todo tipo de suelo.
- Cabe indicar que los resultados obtenidos de las muestras realizadas está basada solamente para el caso de obras civiles en etapa de pre diseño en caso de salir de esta tipo de estructura se recomienda realizar estos ensayos a mayor profundidad para certificarse sobre su variación de capacidad portante.
- Los datos obtenidos en los ensayos realizados por distritos son datos referenciales para las áreas estudiadas, porque para llevar adelante una construcción de infraestructura se debe necesariamente proceder a determinar datos puntuales del sitio.

- Los datos recolectados, se los considera como datos no confiables ya que no son completos por la falta de la clasificación del tipo de suelo, contenido de humedad y por lo tanto en estas áreas es indispensable hacer el estudio del suelo.
- Se tiene conocimiento de la existencia de documentos sobre zonificación en la zona central de la ciudad de Tarija, pero por el constante crecimiento de la población es necesario ampliar esta información en distritos donde abarque las zonas que no tienen información con respecto al tipo y capacidad del suelo, por ese motivo se pretende realizar el estudio en zonas periféricas, donde tiende a crecer la población y la edificación sin ningún tipo previo de estudio sobre la capacidad soporte del suelo de fundación y principalmente porque hoy en día el departamento de Tarija se extiende cada vez más en su perímetro.
- Los resultados obtenidos son representativos para las condiciones de humedad en las que se encontraba el suelo, si esta condición cambia necesariamente cambiara su capacidad pórtate.

## 5.2. RECOMENDACIONES.

- El trabajo de clasificación y Capacidad Portante se debe planificar y ejecutar de modo que revele la naturaleza de los suelos, y no se debe realizar un simple procedimiento rutinario, de aproximación de los valores de la capacidad portante.
- Se debe eliminar el material de relleno y orgánico para realizar el ensayo ya que nos encontraremos con valores muy bajos y erróneos para que de esa manera se pueda encarar cualquier construcción en las zonas estudiadas.
- La realización del estudio del subsuelo o reconocimiento del suelo, para todo tipo de construcciones que se quiera encarar, es bueno concientizar a todas las personas que estén dentro del ramo y que tendrían que ser responsables de las construcciones civiles para que no se escatime en los costos que implicaría la realización de un ensayo de laboratorio, puesto que las refacciones a realizarse en caso de alguna falla por causa del terreno pueden ser mucho mayores.
- El estudio realizado de los barrios tomados en cada distrito, representa una muestra no muy significativa dado que estos barrios son grandes en superficie por lo que sugiere que el estudio se podría mejorar incrementando la densidad de ensayos por barrio en cada distrito para contar con datos más completos y realizar una generalización con mayor certidumbre.
- Los número de ensayos tomados en cuenta por barrio resultaron insuficientes no nos dan unos datos representativos para el mismo por lo se tendría que incrementar más ensayos por cada Ha, los barrios son muy extensos ya que pasan de las 1000 Ha.
- Los resultados de los ensayos realizados en los distritos estudiados, son datos referenciales para aproximaciones y no sirven para el momento de la ejecución ya que se debe realizar la verificación del mismo en el momento de emplazar la obra.
- En base a la experiencia realizada con el estudio, se recomienda que para trabajos similares el campo de acción se reduzca al área solamente de un distrito, por la

magnitud tan grande que ha representado el área actual de los 4 distritos ya que la cantidad de exploraciones realizadas se considera que no son suficientes para hacer una generalización.