

## 1.1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo consiste en definir una nueva alternativa de estabilización de suelos en una sub-rasante de pavimento, constituida por suelo fino y material de residuo clasificado de obras viales, combinándolos entre sí a diferentes porcentajes, mejorando de esta manera las propiedades de resistencia o capacidad portante de un suelo fino, aumentando su resistencia y disminuyendo la expansión, comúnmente los materiales utilizados para la elaboración de sub-rasantes de pavimento son materiales pétreos, tales como gravas, arenas, estos materiales generan contaminación en el medio ambiente a causa de la extracción de los áridos de los ríos, y esto es lo que se pretende disminuir con esta investigación.

La alta contaminación que causa la extracción de los agregados pétreos, además de constituir un recurso natural no renovable ha llevado a algunos países como Holanda, España, Brasil, entre otros, a intentar normalizar ensayos de laboratorio y prácticas constructivas que permitan la reutilización de residuo clasificado de construcción y demolición, estas iniciativas generan conciencia a reciclar y reutilizar este material, aprovechar la cantidad que se desecha para innovar, crear, construir, entre otros, sabiendo que éste podría reducir costos en obras ya que presentan características físicas y mecánicas similares que permiten que sea viable su uso.

El autor en este trabajo pretende analizar cuál es el efecto que se presenta en la propiedades de resistencia o capacidad portante que tiene un suelo fino, mediante la combinación de residuo clasificado de obras viales, de tal manera que pueda identificar mejoras para su aplicación en tramos viales rurales, añadiendo diferentes porcentajes de residuo clasificado de obras viales.

Este trabajo usa la teoría de estabilización de suelos de sub-rasantes para pavimentos, su aplicación consiste en la estabilización de suelos finos con la combinación de material de residuo clasificado de obras viales, la relevancia social tiene ventajas y beneficios sociales en el aprovechamiento del material que

beneficiara al medio ambiente ya q no se extraerá en grandes cantidades los áridos de los ríos, que afectan a la ciudad de Tarija.

## **1.2. JUSTIFICACIÓN**

La determinación de la mejoría de las características de resistencia mecánica sobre condiciones de mezclas de adición de residuo clasificado de obras viales, son necesarios como un estabilizador, esto es en los casos de suelos finos por su reducida capacidad de soporte. En general, se evaluara la resistencia de las mezclas de residuo clasificado de obras viales con suelo fino, por medio de los ensayos de CBR.

Usualmente se utiliza una estabilización suelo-suelo, un suelo bueno por ejemplo; (suelos granulares) con un suelo deficiente (suelos finos, para mejorar la capacidad portante del suelo y éste se vuelva resistente a la aplicación de cargas. Para ésta investigación se ha de realizar mezclas con diferentes porcentajes de residuo clasificado de obras viales y suelo fino, lo cual permitirá determinar la resistencia mejorada del suelo con el ensayo de C.B.R.

## **1.3. DISEÑO TEÓRICO**

### **1.3.1. Planteamiento del problema.**

#### **1.3.1.1.Situación Problémica.**

En el Departamento de Tarija actualmente se vive una problemática ambiental debido a la gran cantidad de áridos que se extraen de los ríos (canto rodado). La actual investigación brinda la posibilidad de reducir en gran parte dicha extracción. Lo más preocupante del daño ambiental que genera la extracción de áridos, es que el Departamento de Tarija está creciendo y por ende la extracción de áridos es constante, por ello es que se hace necesario buscar nuevas alternativas técnicas como económicas factibles, que sean de igual o mejor rendimiento.

Esto nos impulsa a realizar la investigación sobre el uso de residuo clasificado de obras viales para el mejoramiento de sub-rasantes de pavimentos. Esta investigación presenta el análisis del efecto que presenta las propiedades de resistencia o capacidad portante de un suelo fino, al combinarlo con residuo clasificado de obras viales, dicho material proveniente de la ciudad de Tarija. Verificando su uso potencial en el mejoramiento de las sub-rasantes de pavimentos y analizando si al mezclar el suelo con residuo clasificado de obras viales, es capaz de mejorar sus propiedades de resistencia de tiene el suelo fino.

#### **1.3.1.2. Problema.**

¿Cuál es el efecto que se presenta en las propiedades de resistencia o capacidad portante de un suelo fino, cuando se combina con residuo clasificado de obras viales?

#### **1.3.2. Objetivos de Investigación.**

##### **1.3.2.1. Objetivo General.**

- Analizar cuál es el efecto que se presentan en las propiedades de resistencia o capacidad portante que tiene un suelo fino, cuando se le agrega diferentes porcentajes de residuo clasificado de obras viales, de tal manera que se puedan establecer resultados que avalen su aplicación en tramos viales rurales.

##### **1.3.2.2. Objetivos Específicos.**

- Fundamentar la teoría de estabilización de suelos, utilizando residuo clasificado de obras viales.
- Identificar el tipo de material de residuo clasificado de obras viales.
- Determinar la combinación de suelo fino con diferentes porcentajes de residuo clasificado de obras viales.
- Establecer resultados de resistencia o capacidad portante de las diferentes combinaciones, para obtener la combinación óptima entre residuo clasificado de obras viales y suelo fino.

- Establecer conclusiones y recomendaciones sobre los resultados de la investigación.

### 1.3.3. Hipótesis.

“Si se aplica una combinación de suelo fino, con diferentes porcentajes de residuo clasificado de obras viales, entonces se podrá obtener un mejoramiento en la capacidad portante del suelo fino, aumentando la resistencia y disminuyendo su deformación”

### 1.3.4. Definición de variables independientes y dependientes.

#### Variables Independientes

- Cantidad de Residuo clasificado de obras viales

#### Variables Dependientes

- Propiedad de resistencia mecánica.

#### Definición Conceptual

**Cantidad de Residuo clasificado de obras viales.-** Son los residuos o desechos del Pavimento Rígido (Hormigón solido triturado), medidos es porcentajes, respecto a la cantidad total que se usara en el ensayos de laboratorio.

**Propiedad de resistencia mecánica.-** Resistencia del suelo que se modificara, aplicando diferentes porcentajes de residuo clasificado de obras viales, mediante el ensayo en laboratorio de capacidad portante del suelo (CBR) y expansión del suelo.

#### Definición Operacional

Variable	Dimensión	Indicador	Valor o Acción
Cantidad de	Pavimento rígido	se medirá en %	se debe triturar el

Residuo clasificado de obras viales	(mezcla de hormigón solido)		material
			hacer variar los porcentajes
Propiedad de resistencia mecánica	CBR	Capacidad Portante del suelo expresada en porcentaje	ensayos de laboratorio de acuerdo a la norma AASHTO T193
	Expansión del suelo	se medirá en %	medidas con el extensómetro cada 24 h durante 4 días

## 1.4. DISEÑO METODOLÓGICO

### 1.4.1. Componentes.

#### 1.4.1.1. Unidad De Estudio Y Dimensión Muestral.

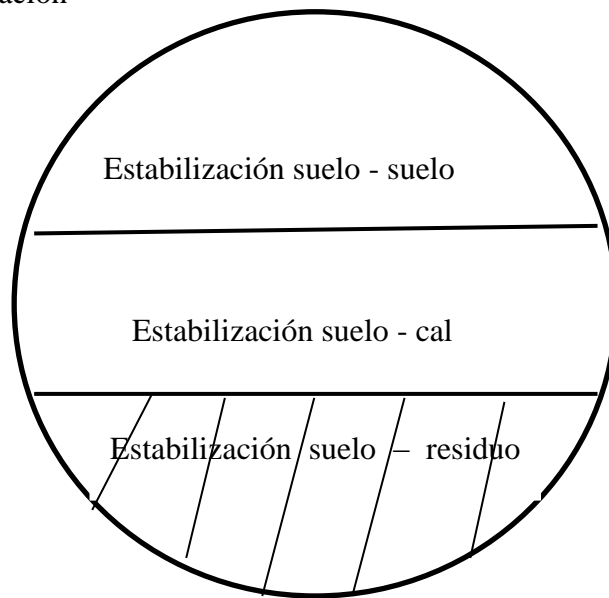
##### 1.4.1.1.1. Unidad de Estudio.

La unidad de estudio es la ``Estabilización de suelos con residuo clasificado de obras viales'', está referida principalmente a la utilización de diferentes porcentajes de residuo clasificado de obras viales y combinarlo con suelo fino, para mejorar la resistencia del suelo.

##### 1.4.1.1.2. Población

Todos los tipos o elementos disponibles para estabilizar un suelo fino que tenga  $CBR < 3\%$  y una expansión  $> 4\%$  entre estos están por ejemplo:

## Tipos de estabilización



### 1.4.1.1.3. Muestra.

- Estabilización suelo - residuo clasificado de obras viales.

### 1.4.1.1.4. Muestreo.

Para la obtención del residuo clasificado de obras viales, se realizara un muestreo no probabilístico ya que es el más apropiado tomando en cuenta que el estudio es de tipo descriptivo por lo tanto en función del conocimiento claro y conciso de la población y los factores más representativos para fines de la investigación que se quiere observar, en este caso son los residuos clasificados de obras viales, que posteriormente se trituraran para luego mezclarlos con el suelo fino.

Para proceder al muestreo en este caso para el material que es el suelo fino, se realizaran calicatas a una altura mínima de 60 cm, y se procederá a la extracción

del material suelo fino y q presente comportamiento plástico y expansivo, además tomar en cuenta la topografía y la vegetación.

#### **1.4.2. Métodos y técnicas empleadas.**

##### **1.4.2.1. Experimentales.**

La realización del siguiente trabajo de investigación se planteara como:

Experimental; puesto que se realizaran ensayos de caracterización en el laboratorio del comportamiento del suelo fino con diferentes porcentajes de residuo clasificado de obras viales.

##### **1.4.2.2. Experimento y técnicas.**

Se practicarán ensayos de caracterización de todos los materiales, tales como:

- ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM D422 AASHTO T88).
- DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS (ASTM D4318 AASHTO T89).
- DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO E INDICE DE PLASTICIDAD (ASTM D4318 AASHTO T90).
- COMPACTACIÓN.
- CAPACIDAD SOPORTE DEL SUELO (CBR).

Todo esto con la finalidad de ver las características que presenta el suelo fino.

Por otra parte se analizará el comportamiento del suelo en las cuales se incluirá los diferentes porcentajes de residuo clasificado de obras viales, de tal manera que permita al investigador partir de la observación del fenómeno o situaciones particulares que enmarcan el problema de investigación.

#### **1.4.2.3. Técnicas de muestreo.**

Corresponde al grupo de las no probabilísticas porque su ocurrencia ya está determinada.

#### **1.4.2.4. Descripción de los instrumentos para la obtención de datos.**

Son los equipos y materiales estandarizados de Laboratorio de Suelos y Hormigón de la U.A.J.M.S. empleados para la realización de los ensayos del presente trabajo los cuales fueron mencionados anteriormente.

#### **1.4.2.5. Procedimientos de aplicación.**

Se plantea disponer de muestras de suelo fino que presenten un CBR  $< 3\%$  y una expansión  $> 4\%$ , donde la calidad de sub rasantes es de regular a mala. Las muestras serán guardadas en las instalaciones del Laboratorio de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho para ser ensayadas posteriormente.

El residuo clasificado de obras viales se obtendrá de una parte de la carretera Tarija-Potosí, ya q se observó que están remplazando algunas losas de pavimento rígido, este material será triturado a un tamaño máximo de 1'' y almacenado en el laboratorio de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.



**Figura 1.1: Reemplazo de la losas de pavimento rígido**



*Fuente: Elaboración Propia*

**Figura 1.2: Residuos de las losas cambiadas**



*Fuente: Elaboración Propia*

Para los diferentes combinaciones del residuo clasificado de obras viales y suelo fino, se las medirá en porcentajes estableciendo rangos mínimos, máximos y un

valor la medio, estos serán de 20%, 35%, y 50%, se realizaran 9 ensayos de cada porcentaje y 3 ensayos del suelo fino, de esta manera obtendremos una caracterización confiable.

Los ensayos a realizar serán: Granulometría, límites, plasticidad, compactación, CBR, y expansión de los suelos.

### **1.4.3. Procedimiento para el análisis y la interpretación de la información.**

#### **1.4.3.1. Tratamiento de los datos (empleo de la estadística descriptiva)**

##### **1.4.3.1.1. Confiabilidad**

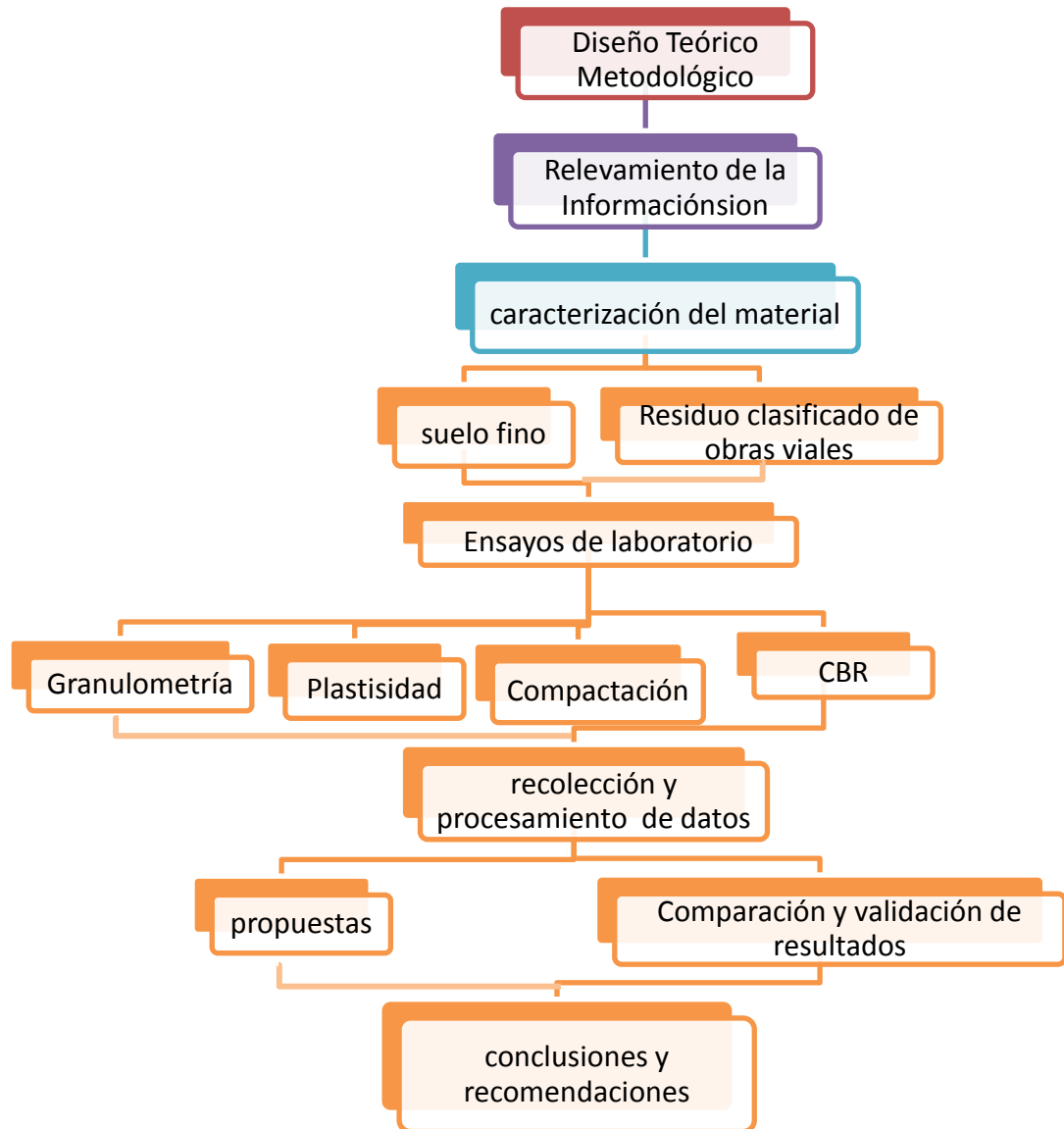
La confiabilidad mayormente es un proceso cuantitativo en todos los procesos de investigación. Por ello para obtenerla en este estudio, en primer lugar, se realizaran las pruebas de laboratorio para CBR y expansión de los materiales de suelos finos con residuo clasificado de obras viales, serán 9 ensayos por porcentaje de 20%, 35% y 50 %, y 3 ensayos de solo suelo fino, obteniendo así el número mínimo de 30 ensayos.

##### **1.4.3.1.2. Tratamiento de los datos**

**Utilizar la estadística descriptiva con indicadores de tendencias.**

- **Media**
- **Mediana**
- **Desviación estándar**
- **Varianza**
- **Coefficiente de variación**

## ESQUEMA LÓGICO ESTRUCTURAL



## CAPÍTULO II

### SUELO FINO, RESIDUO DE LOSAS DE HORMIGÓN Y SUBRASANTES

#### 2.1. SUELO

Se dice que un suelo es un agregado de partículas orgánicas e inorgánicas, que no presentan ninguna organización; pero en realidad se trata de un conjunto de partículas con organización definida y propiedades que varían según un tipo de suelo.

##### 2.1.1. SUELOS FINOS

Se puede entender a los materiales finos como aquéllos que poseen una parte relevante de suelos cohesivos y que como tales condicionan su comportamiento, frente a los restantes materiales existentes en las obras o en el terreno.

##### 2.1.2. ARCILLAS y limos

En general el estudio de suelos en la ingeniería civil incluye mineralogía y comportamiento bajo condiciones diversas.

La determinación mineralógica es importante porque permite predecir su comportamiento y la forma de controlarlo. La mineralogía permite estimar características de un suelo pero no calcular los valores absolutos representativos de su comportamiento actual. De aquí que se hagan una serie de pruebas características entre las cuales se encuentran:

**Tamaño del grano:** El orden del tamaño arcilloso varía desde 0.005mm hasta dimensiones coloidales, teniendo muchas partículas arcillosas un diámetro inferior a 0.0002mm.

En el cuadro que se adjunta se destaca la división adoptada para los distintos sistemas de clasificación que actualmente utilizamos los ingenieros en nuestros proyectos.

**Tabla 1 DEFINICIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULAS**

Nombre de la Organización	Tamaño de los granos (mm)			
	Grava	arena	limo	arcilla
Massachusetts Institute of Tec.	> 2	2 a 0,06	0,06 a 0,002	<0,002
U.S. Dep. of Agriculture	> 2	2 a 0,05	0,05 a 0,002	<0,002
AASHTO	76,2 a 2	2 a 0,075	0,075 a 0,002	<0,002
Sistema Unificado de Clasif. US Army Corp. Of Engineering US Bureau of Reclamation ASTM	76,2 a 4,75	4,75 a 0,075	<0,075	

**Nota:** El tamaño correspondiente a 76,2 mm corresponde al tamiz US de 3".

El tamaño correspondiente a 4,75 mm corresponde al tamiz US N° 4.

El tamaño correspondiente a 2 mm corresponde al tamiz US N° 10.

El tamaño correspondiente a 0,075 mm corresponde al tamiz US N° 200.

*Fuente: <http://apuntesingenierocivil.blogspot.com/2010/10/distribucion-del-tamano-de-particulas.html>*

## 2.2. HUMEDAD DE LOS SUELOS

Se define como contenido de humedad de suelos, a la cantidad de agua que posee una determinada muestra de suelo, expresada en porcentaje y referida al peso seco de la misma.

La fórmula para encontrar dicha humedad es la siguiente:

$$w(\%) = \frac{P_a}{P_{SS}} * 100$$

**Donde:**

W (%)= Contenido de humedad

Pa = Peso del agua

Pss = Peso del suelo seco

### **2.2.1. FORMAS DE AGUA PRESENTES EN EL SUELO:**

**Agua libre.-** Es el agua que circula a través de del suelo sin dificultad alguna y por la acción de la gravedad puede ser drenada.

**Agua retenida.-** Se encuentra retenida dentro del suelo y la causa de su formación se define:

- **Agua higroscópica.-** Es la que absorbe un suelo de la humedad del aire.
- **Agua capilar.-** Es la retenida por efecto de la tensión superficial.

### **2.2.2. MÉTODOS PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD:**

Los métodos para determinar el contenido de humedad tienen el principio de conocer el peso de una muestra de suelo en su estado húmedo y también en su estado seco, entonces, con solo conocer la diferencia de estos valores, podemos conocer el contenido de humedad de los diferentes suelos.

#### **Método estándar:**

Este método utiliza consiste en realizar el secado de la muestra de suelo en un horno estandarizado, manteniendo una temperatura de 100° C por un tiempo de 24 horas, es un método que da resultados muy precisos.

#### **Método de la hornalla:**

Este método consiste en realizar el secado del material utilizando una hornalla por un tiempo de 30 minutos, se considera que la muestra ya está totalmente seca cuando al instalar un vidrio encima de la muestra, esta no adquiere vapor, si se utiliza este procedimiento se deberá realizar una corrección por el método estándar.

#### **Método del alcohol:**

Consiste en aplicar alcohol a la muestra de suelo hasta saturarle completamente, entonces se le prende fuego y esperar que la muestra se seque, este procedimiento se debe repetir por lo menos dos veces.

### **2.3. GRANULOMETRÍA DE LOS SUELOS:**

En los comienzos de la investigación de las propiedades de los suelos se creyó que las propiedades dependían directamente de la distribución de las partículas constituyentes según tamaños; por ello era preocupación especial de los ingenieros la búsqueda de métodos adecuados para obtener tal distribución.

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, la experiencia indica que los suelos gruesos bien graduados, es decir, con amplia gama de tamaños, tienen comportamiento ingenieril más favorable, en lo que se refiere a algunas propiedades importantes, que los suelos de granulometría muy uniforme presentan.

#### **2.3.1. SISTEMAS DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS BASADOS EN CRITERIOS DE GRANULOMETRÍA:**

Los límites de tamaño de las partículas que constituyen un suelo, ofrecen un criterio obvio para una clasificación descriptiva del mismo.

Tal criterio fue usado en mecánica de suelos desde un principio e incluso antes de la etapa moderna de esta ciencia. Originalmente, el suelo se dividía únicamente en tres o cuatro fracciones debido a lo engorroso de los procedimientos disponibles de separación por tamaños.

Posteriormente, con la aparición de la técnica del cribado, fue posible efectuar el trazo de curvas granulométricas, contando con agrupaciones de las partículas del suelo en mayor número de tamaños diferentes. Actualmente se pueden ampliar notablemente las curvas en los tamaños finos, gracias a la aplicación de técnicas de análisis de suspensiones.

Algunas clasificaciones granulométricas de los suelos, según sus tamaños son las siguientes:

### CLASIFICACIÓN INTERNACIONAL:

Basada en otra desarrollada en suecia.

Tamaño en mm				
2.0	0.2	0.02	0.002	0.0002
<i>Arena gruesa</i>	<i>Arena fina</i>	<i>Limo</i>	<i>Arcilla</i>	<i>Ultra-Arcilla (coloides)</i>

### CLASIFICACIÓN MIT:

Fue propuesta por G.Gilboy y adoptada por Massachusetts Institute of Technology.

Tamaño en mm									
2.0	0.6	0.2	0.06	0.02	0.006	0.002	0.0006	0.0002	
<i>Gruesa</i>	<i>Media</i>	<i>Fina</i>	<i>Grueso</i>	<i>Medio</i>	<i>Fino</i>	<i>Gruesa</i>	<i>Media</i>	<i>Fina (coloides)</i>	
<b>ARENA</b>			<b>LIMO</b>			<b>ARCILLA</b>			

#### 2.3.2. ANÁLISIS MECÁNICO DEL SUELO.

El análisis mecánico es la determinación del rango del tamaño de partículas presentes en un suelo, expresado como un porcentaje del peso (o masa) seco total. El análisis con cribado se usa para tamaños de partículas mayores de 0.075 mm de diámetro. El análisis por cribado consiste en sacudir la muestra de suelo a través de un conjunto de mallas que tienen aberturas progresivamente más pequeñas, este proceso se utilizará para realizar la caracterización de las muestras o suelos a utilizar en el proyecto.



**FIGURA 1 JUEGO DE TAMICES PARA EL ANÁLISIS MECÁNICO DEL SUELO**



*Fuente: Propia*

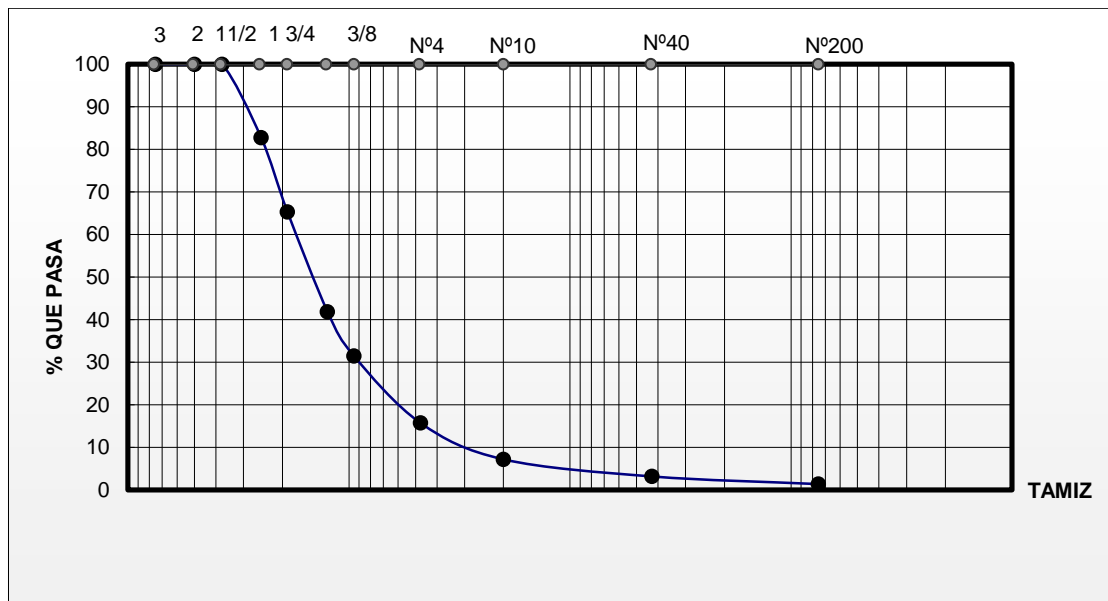
#### **2.3.2.1. Curva de distribución granulométrica.**

Los resultados del análisis mecánico (análisis por cribado) se presentan generalmente en gráficas semilogarítmicas como curvas de distribución granulométrica (o de tamaño de grano). Los diámetros de las partículas se grafican en escala logarítmica y el porcentaje correspondiente de finos en escala aritmética.

Se utilizarán estas gráficas o curvas también para caracterizar el material que se va a utilizar.

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

**FIGURA 2 EJEMPLO DE CURVA GRANULOMÉTRICA**



*Fuente: Propia*

La curva de distribución granulométrica muestra no sólo el rango de los tamaños de partículas presentes en un suelo, sino también la distribución de varios tamaños de partículas.

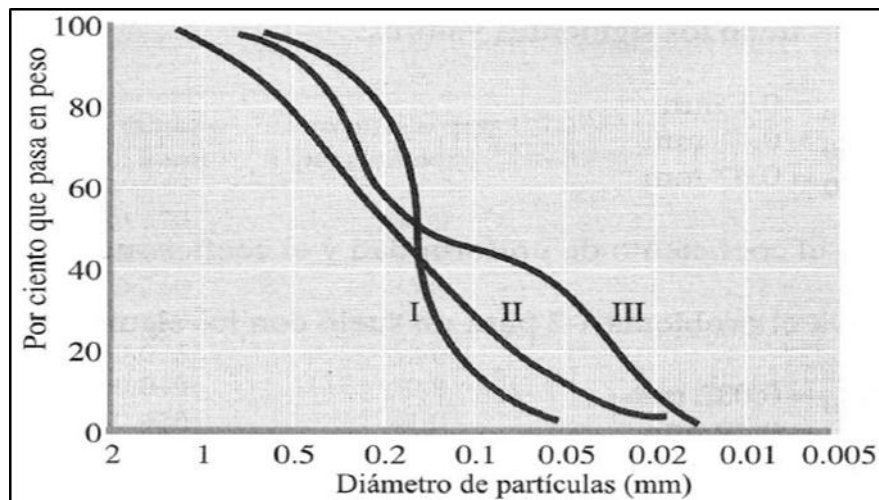
Esas curvas se muestran en la figura 3. La curva I representa un tipo de suelo en el que la mayoría de los granos son del mismo tamaño, y se le llama *suelo mal graduado*.

La curva II representa un suelo en el que los tamaños de las partículas están distribuidos sobre un amplio rango y se le llama *bien graduado*.

Un suelo puede tener una combinación de dos o más fracciones uniformemente graduadas.

La curva III representa tal suelo y se le llama de *granulometría discontinua*.

**FIGURA 3 TIPOS DIFERENTES DE CURVAS GRANULOMÉTRICAS**



*Fuente: Braja M. Das*

### 2.3.3. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR MEDIO DEL HIDRÓMETRO

El análisis hidrométrico se basa en el principio de la sedimentación de granos de suelo en agua. Cuando un espécimen de suelo se dispersa en agua, las partículas se asientan a diferentes velocidades, dependiendo de sus formas, tamaños y pesos.

Por simplicidad, se supone que todas las partículas de suelo son esferas y que la velocidad de las partículas se expresa por la *ley de Stokes*, la cual expresa lo siguiente:

$$V = \frac{\int_s - \int_w}{18 \times \eta} \times D^2$$

Donde:

$V$  = velocidad

$\int_s$  = densidad de las partículas de suelo

$\int_w$  = densidad del agua

$\eta$  = viscosidad del agua

$D$  = diámetro de las partículas del suelo

En el laboratorio, la prueba del hidrómetro se conduce en un cilindro de sedimentación con 50 a 80 g de muestra seca al horno. El cilindro de

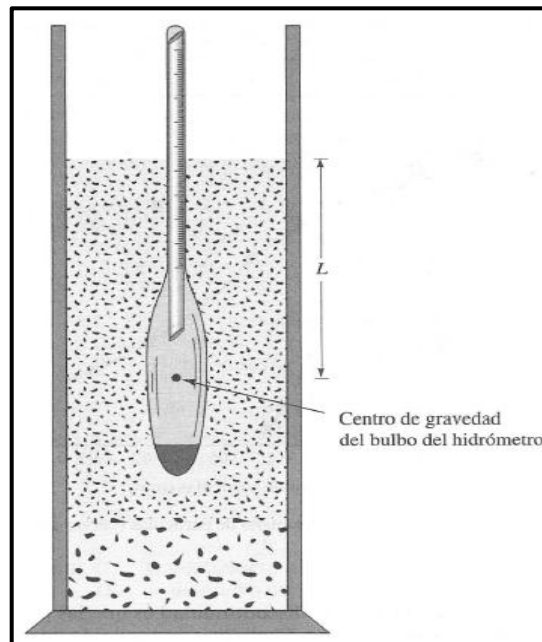
sedimentación tiene 457 mm de altura y 63.5 mm de diámetro; el cilindro está marcado para un volumen de 1000 ml. Como *agente dispersor* se usa generalmente el hexametáfosfato de sodio. El volumen de la suspensión de suelo dispersado se lleva hasta los 1000 ml añadiendo agua destilada.

Cuando un tipo de hidrómetro se coloca en la suspensión de suelo en un tiempo  $t$ , medido desde el principio de la sedimentación, mide la densidad de sólidos en la vecindad de su bulbo a una profundidad  $L$ . La densidad de sólidos es una función de la cantidad de partículas de suelo presentes por volumen unitario de suspensión en esa profundidad. En un tiempo  $t$ , las partículas de suelo en suspensión a una profundidad  $L$  tendrán un diámetro menor que  $D$ .

Las partículas más grandes se habrán asentado más allá de la zona de medición. Los hidrómetros son diseñados para dar la cantidad de suelo, en gramos, aún en suspensión. Los hidrómetros son calibrados para suelos que tienen una densidad de sólidos ( $G_s$ ) de 2.65; para suelos de otra densidad de sólidos, es necesario hacer correcciones.

Conocida la cantidad de peso en suspensión,  $L$  y  $t$ , podemos calcular el porcentaje de suelo por peso más fino que un cierto diámetro. Note que  $L$  es la profundidad medida desde la superficie del agua hasta el centro de gravedad del bulbo del hidrómetro donde se mide la densidad de la suspensión. El valor de  $L$  cambia con el tiempo  $t$ , el análisis por hidrómetro es efectivo para separar las fracciones de suelo hasta un tamaño de aproximadamente  $0.5\mu$ .

**FIGURA 4 DEFINICIÓN DE "L" EN UNA PRUEVA DE HIDRÓMETRO**



*Fuente: Braja M. Das*

#### **2.4. LÍMITES DE ATTERBERG**

Existen suelos que al ser remodelados, cambiando su contenido de agua si es necesario, adoptan una consistencia característica, que desde épocas antiguas se ha denominado Plástica.

Estos suelos han sido llamados arcillas, originalmente por los hombres dedicados a la cerámica; este término pasó a la mecánica de suelos, en épocas más recientes, con idéntico significado.

La plasticidad es, en este sentido, una propiedad tan evidente que ha servido para clasificar suelos en forma puramente descriptiva, pronto se reconoció que existía una relación específica entre la plasticidad y las propiedades fisicoquímicas determinantes del comportamiento mecánico de las arcillas.

En este momento la plasticidad se convirtió en una propiedad ingenieril de interés científico estricto, dejando de ser una cualidad puramente descriptiva o de trabajabilidad en cerámica, las investigaciones posteriores han probado que la plasticidad de un suelo es debida a su contenido de partículas más finas de forma laminar.

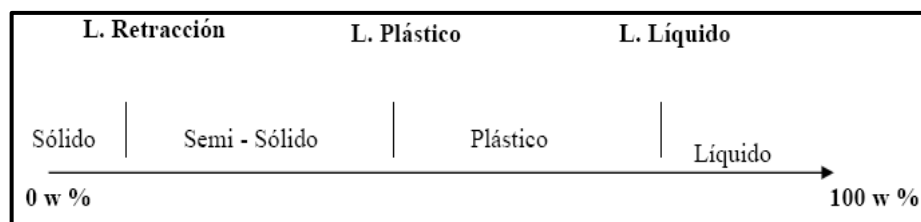
### 2.4.1. DEFINICIÓN

Los límites de Atterberg o también llamados límites de consistencia se basan en el concepto de que los suelos finos, presentes en la naturaleza, pueden encontrarse en diferentes estados, dependiendo de su propia naturaleza y la cantidad de agua que contengan.

Un suelo se puede encontrar en un estado sólido, semisólido, plástico y líquido o viscoso. La arcilla, por ejemplo, si está seca se encuentra muy suelta o en terrones, añadiendo agua adquiere una consistencia similar a una pasta, y añadiendo más agua adquiere una consistencia fluida.

Cada uno estos cambios o estados varían según el contenido de humedad.

**FIGURA 5 VARIACION DE PLASTICIDAD SEGÚN EL CONTENIDO DE HUMEDAD**



### 2.4.2. ESTADOS DE CONSISTENCIA

Para medir la plasticidad de las arcillas se han desarrollado varios criterios, de los cuales uno solo, el debido a Atterberg, se mencionara.

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, señalo esos parámetros y un modo tentativo, hoy perfeccionado, de evaluarlos.

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 semilíquido**, en el que el suelo tiene la apariencia de un suelo, pero aun disminuye de volumen al estar sujeto a secado.

**Estado sólido**, en que el volumen del suelo no varía con el secado.

### **2.4.3. PLASTICIDAD DE LOS SUELOS**

Se denomina plasticidad de suelos al rango de contenido de humedad de un suelo, el cual soporta deformaciones pero sin agrietarse, también es llamado índice de plasticidad y su cálculo se determina mediante la diferencia entre el límite líquido y límite plástico.

#### **2.4.3.1.Límite líquido**

A la frontera entre el límite plástico y líquido se le llama límite líquido y se determina midiendo la humedad que contiene el suelo cuando con 25 golpes se cierra una ranura hecha a una muestra humedad de suelo en el aparato de Casagrande normalizado.

**FIGURA 6 COPA DE CASA GRANDE**

*Fuente: Propia*

#### **2.4.3.2. Límite plástico**

La frontera entre los estados semisólido y plástico se llama límite plástico, y se obtiene midiendo el contenido de humedad del suelo cuando comienzan a agrietarse pequeños cilindros de suelo de 3 mm de diámetro.

**FIGURA 7 PRUEBA DEL LIMITE PLASTICO**

#### **2.4.3.3. Índice de plasticidad**

Es la diferencia entre el límite líquido y límite plástico, es un valor que nos da una referencia del rango de plasticidad que presentan los suelos.

#### **2.4.4. Utilización práctica de los límites de Atterberg**

Los límites de Atterberg pertenecen, junto al análisis granulométrico, al tipo de ensayos de identificación. Pero, si el análisis granulométrico nos permite conocer



la magnitud cuantitativa de la fracción fina, los límites de Atterberg nos indican su calidad, completando así el conocimiento del suelo. Frecuentemente se utilizan los límites directamente en las especificaciones para controlar los suelos a utilizar en terraplenes.

## **2.5. CLASIFICACIÓN DE SUELOS**

La clasificación de los suelos se realiza para diferenciar un suelo de otro, ya sea mediante el tamaño de sus partículas, el comportamiento plástico que presentan y otras características, la clasificación que se usó en el proyecto fue la clasificación que realiza el sistema AASHTO, puesto que es el más usado actualmente y se basa en las prestaciones de suelos utilizados en la práctica para construir carreteras, esta clasificación divide a los suelos en siete grupos principales y en varios sub grupos.

Esta clasificación diferencia a los suelos desde un suelo tipo A-1 y uno A-7, considerando que un suelos A-1 será un material granular, es decir de grano grueso en un mayor porcentaje y con poco material fino, esta desigualdad se ira igualando hasta llegar a un suelo A-7, es decir, que a medida que un suelo disminuya su material granular y aumente su material fino, este bajara su clasificación a ser un suelo A-2, A-3, A-4, A-5, A-6 y A-7 respectivamente.

### **2.5.1. SISTEMA DE CLASIFICACIÓN AASHTO**

De acuerdo con éste sistema de clasificación, el suelo se clasifica en siete grupos mayores: A-1 al A-7.

Los suelos clasificados en los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales granulares, donde 35% o menos de las partículas pasan por la malla No. 200.

Los suelos de los que más del 35% pasan por la criba No. 200 son clasificados en los grupos A4, A-5, A-6 Y A-7. La mayoría están formados por materiales tipo limo y arcilla.

El sistema de clasificación se basa en los siguientes criterios:

### TAMAÑO DEL GRANO:

**Grava:** fracción que pasa la malla de 75 mm y es retenida en la malla No. 10 (2 mm)

**Arena:** fracción que pasa la malla No. 10 (2 mm) y es retenida en la malla No. 200 (0.075 mm)

**Limo y arcilla:** fracción que pasa la malla No. 200

### PLASTICIDAD:

El término *limoso* se aplica cuando las fracciones de finos del suelo tienen un índice de plasticidad de 10 o menor. El término *arcilloso* se aplica cuando las fracciones de finos tienen un índice de plasticidad de 11 o mayor.

Si cantos rodados y *boleas* (tamaños mayores que 75 mm) están presentes, éstos se excluyen de la porción de la muestra de suelo que se está clasificando. Sin embargo, el porcentaje de tal material se registra.

**Tabla 2 Clasificación para suelos granulares mediante el sistema AASHTO**

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos de la muestra que pasa la malla No. 200)						
	A-1			A-2			
Clasificación de grupo	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Análisis por cribado (porcentaje que pasa las mallas)							
No. 10	50 máx.						
No. 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.				
No. 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.
Características de la fracción que pasa la malla No. 40							
Límite líquido				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos usuales de materiales componentes significativos							
	Fragmentos de piedra grava y arena		Arena fina	Grava y arena limosa o arcillosa			
Tasa general de los subrasantes							
	De excelente a bueno						

*Fuente: guía de laboratorio de suelos*

**Tabla 3 Clasificación para suelos finos mediante el sistema AASHTO**

Clasificación general	Materiales limo-arcilla (más del 35% de la muestra que pasa la malla No. 200)			
	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5* A-7-6†
Clasificación de grupo				
Análisis por cribado (porcentaje que pasa por las mallas)				
No. 10				
No. 40				
No. 200	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características de la fracción que pasa por la malla No. 40				
Límite líquido	40 máx.	41 mín.	40 máx	41 mín.
Índice de plasticidad	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos usuales de materiales componentes significativos	Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Tasa general de los sobrantes	De mediano a pobre			
*Para A-7-5, $PI \leq LL - 30$				
†Para A-7-6, $PI > LL - 30$				

Fuente: Guía de laboratorio de suelos

Para clasificar un suelo de acuerdo con las anteriores tablas, los datos de prueba se aplican de izquierda a derecha. Por un proceso de eliminación, el primer grupo desde la izquierda en el que los datos de prueba se ajusten, es la clasificación correcta.

### ÍNDICE DE GRUPO

Para la evaluación de la calidad de un suelo como material para subrasante de carreteras, se incorpora también un número llamado *índice de grupo (GI)* junto con los grupos y subgrupos del suelo. Este número se escribe en paréntesis después de la designación de grupo o de sub grupo.

El índice de grupo está dado por la ecuación:

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

Dónde:

$F$  = por ciento que pasa la malla No. 200

$LL$  = límite líquido

$P$  = índice de plasticidad

El primer término de la ecuación anterior, es decir,  $(F - 35) \cdot [0.2 + 0.005(LL - 40)]$ , es el índice de grupo parcial determinado a partir del límite líquido.

El segundo término, es decir  $0.01(F - 15) \cdot (PI - 10)$ , es el índice de grupo parcial determinado a partir del índice de plasticidad.

**A continuación se dan algunas reglas para determinar el índice de grupo:**

1. Si la ecuación (2.30) da un valor negativo para  $GI$ , éste se toma igual a 0.
2. El índice de grupo calculado se redondea al número entero más cercano (Por ejemplo,  $GI = 3.4$  se redondea a 3;  $GI = 3.5$  se redondea a 4).
3. No hay un límite superior para el índice de grupo.
4. El índice de grupo de suelos que pertenecen a los grupos A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-5, Y A-3 siempre es 0.
5. Al calcular el índice de grupo para suelos que pertenecen a los grupos A-2-6 y A-2-7, use el índice de grupo parcial para  $PI$ , o  $GI = 0.01 (F - 15) (PI - 10)$

En general, la calidad del comportamiento de un suelo como material para subrasantes es inversamente proporcional al índice de grupo.

**2.5.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS CLASIFICADOS SEGÚN EL SISTEMA AASHTO:**

Toma en cuenta los materiales granulares Y finos, y son específicamente los siguientes:

➤ **GRUPO A-1:**

Son mezclas bien graduadas, compuestas por piedra, grava, arena y poco o casi nada de material fino. Estos se subdividen a su vez en:

**A-1-a.-** Estos suelos son compuestos principalmente por gravas, con o sin partículas finas de granulometría bien definidas.

**A-1-b.-** Son arenas con o sin partículas finas de granulometría bien definidas.

➤ **GRUPO A-2:**

Contiene menos del 35% de material fino, este se sub divide a su vez en:

**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 contienen limo y arcilla en cantidades reducidas, cuya plasticidad es baja, pero que excede al Grupo A-1, también incluye la arena fina con limos no plásticos.

**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.

➤ **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 suelos similares al anterior, pero contiene un material micáceo, que hace que el límite líquido a veces sea elevado, 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 arena fina y limo, cuyas características son absorbidas por el gran porcentaje de arcilla.

➤ **GRUPO A-7:**

Se parecen mucho al 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 elevados con respecto a sus límites líquidos, además presentan grandes cambios de volumen entre sus estados seco y húmedo.

## **2.6. COMPACTACIÓN DE SUELOS.**

### **2.6.1. GENERALIDADES**

En la construcción de terraplenes para carreteras, presas de tierra y muchas otras estructuras de la ingeniería, los suelos sueltos deben ser compactados para incrementar sus pesos específicos. La compactación incrementa las características de resistencia de los suelos, aumentando así la capacidad de carga de las cimentaciones construidas sobre ellos.

La compactación disminuye también la cantidad de asentamientos indeseables de las estructuras e incrementa la estabilidad de los taludes de los terraplenes. Los rodillos de ruedas lisas, los rodillos patas de cabra, los rodillos con neumáticos de hule y los rodillos vibratorios son usados generalmente en el campo para la compactación del suelo. Los rodillos vibratorios se usan principalmente para la densificación de los suelos granulares.

Cuando se agrega agua al suelo durante la compactación, ésta actúa como un agente ablandador de las partículas del suelo, que hace que se deslicen entre sí y se muevan a una posición de empaque más denso. El peso específico seco después de la compactación se incrementa primero conforme aumenta el contenido de agua.

Cuando el contenido de agua es gradualmente incrementado y se usa el mismo esfuerzo compactador para la compactación, el peso de los sólidos del suelo en un volumen unitario crece en forma gradual.

Más allá de un cierto contenido de agua, cualquier incremento en el contenido de agua tiende a reducir el peso específico seco, debido a que el agua toma los espacios que podrían haber sido ocupados por las partículas sólidas. El contenido de agua bajo el cual se alcanza el máximo peso específico seco se llama *contenido de agua óptimo*.

### **2.6.2. DEFINICIÓN**

Se entiende por compactación de suelos a un proceso mecánico al cual se somete un determinado suelo para mejorar algunas características, como la resistencia, compresibilidad, y disminuir la deformación de dichos suelos provocados a causa de las cargas que puede llegar a soportar, esta compactación se la realiza expulsando el aire que se encuentra en el suelo y de esta manera reducir la cantidad de vacíos y lograr un reacomodamiento de todas las partículas que conforman el suelo, aumentando su densidad, al realizar la compactación se elimina los vacíos del suelo y generalmente no el agua que contiene el suelo.

### **2.6.3. Finalidad de la compactación.**

Una compactación puede seguir muchos objetivos, como ser que el suelo compactado adquiera una resistencia suficiente para resistir con seguridad el propio peso de alguna estructura civil o las cargas que transmiten las ruedas al suelo en una construcción vial.

También el suelo compactado no debe deformarse tanto, por efecto de las cargas que resiste, de manera que no se dañe dicho suelo ni la estructura que soporta, es decir, no debe retraerse ni expenderse excesivamente.

### **2.6.4. Grado de compactación.**

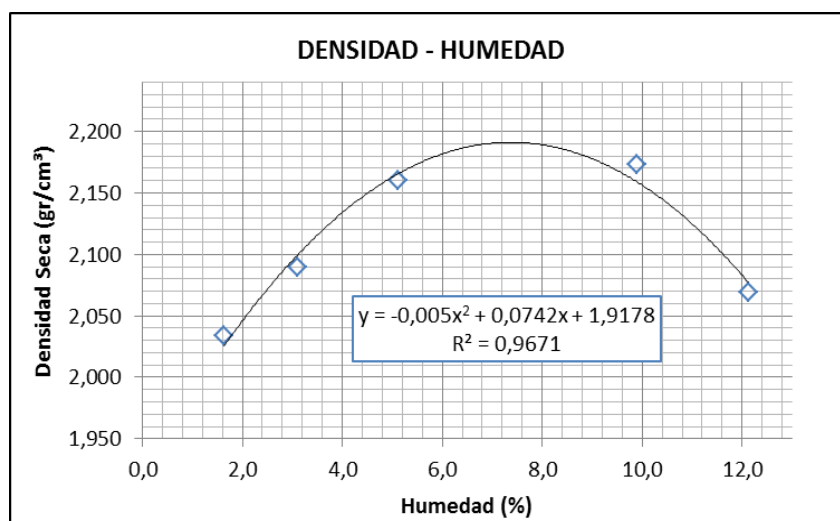
El grado de compactación de un suelo es la relación, en porcentaje, entre la densidad seca alcanzada en obra y la densidad máxima seca obtenida en

laboratorio, esto para un mismo suelo, es decir, si nosotros realizamos la compactación en una vía y sacamos la densidad in situ de esa vía ya compactada, esa densidad deberá ser muy cercana o igual a la densidad máxima obtenida en laboratorio, el control en obra se hace generalmente realizando ensayos de determinación del grado compactación y comparando esos resultados con el porcentaje de requisito en las especificaciones de una vía, como 90%,95%,100%,etc, esto depende del destino y la importancia de la obra.

### 2.6.5. Curva de compactación.

La curva de compactación de suelos es una gráfica que se dibuja en un eje de coordenadas, en la cual el eje de las abscisas van los valores de contenido de humedad de los suelos expresado en porcentaje y en el eje de las ordenadas van los valores correspondientes a la densidad seca máxima, dicha grafica es útil para conocer los valores máximos de humedad y densidad de un determinado suelo, una vez ya se haya realizado la compactación por métodos estandarizados, dicha grafica es la siguiente:

**FIGURA 8 CURVA DE COMPACTACIÓN**



*Fuente: Propia*

#### 2.6.5.1. Humedad óptima.

Es el contenido de agua bajo el cual un suelo alcanza la máxima densidad seca, un contenido de humedad mayor del óptimo tiende a reducir el peso específico seco,



debido a que el agua toma los espacios que podrían haber sido ocupados por las partículas sólidas.

#### **2.6.5.2.Densidad seca máxima.**

Es la densidad a la cual una muestra de suelo puede llegar a adquirir, siempre y cuando la compacten a la humedad óptima de dicho suelo.

#### **2.6.5.3.Procedimientos para encontrar los valores máximos de la curva de compactación.**

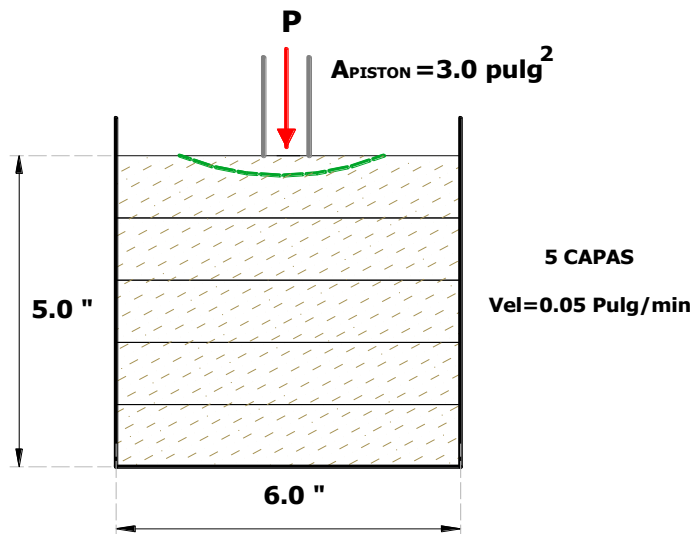
Los valores máximos de la curva de compactación se pueden encontrar gráficamente por simple visualización, siempre y cuando las escalas utilizadas en cada uno de los ejes estén de acuerdo a los valores de dicha curva.

Para una mayor precisión se puede recurrir a la utilización de las derivadas, para ello es imprescindible conocer la ecuación de la curva de compactación, entonces por simple procedimiento de derivadas, donde la pendiente sea cero se encontrara el punto máximo.

#### **2.7.ENSAYO CBR (California Bearing Ratio)**

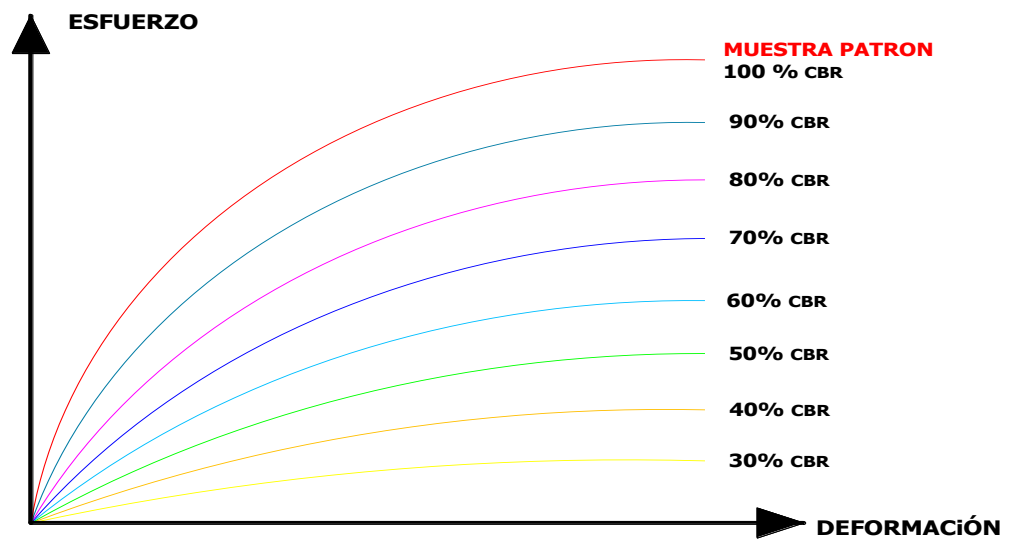
Es una medida indirecta de la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones controladas de densidad y humedad, valor que se expresa como una relación porcentual entre el esfuerzo requerido para penetrar un pistón de 3 Pulg<sup>2</sup> de área dentro de una probeta de suelo de 6 pulg de diámetro y 5 pulg de altura, la cual se penetra a una velocidad de 0.05 pulg/min; Y el esfuerzo requerido para introducir el mismo pistón hasta la misma profundidad en una muestra patrón.

FIGURA 9 DIMENSIONES DEL MOLDE Y DEL PISTÓN



Fuente: Explanaciones y Firmes

FIGURA 10 ESFUERZO Y DEFORMACIÓN

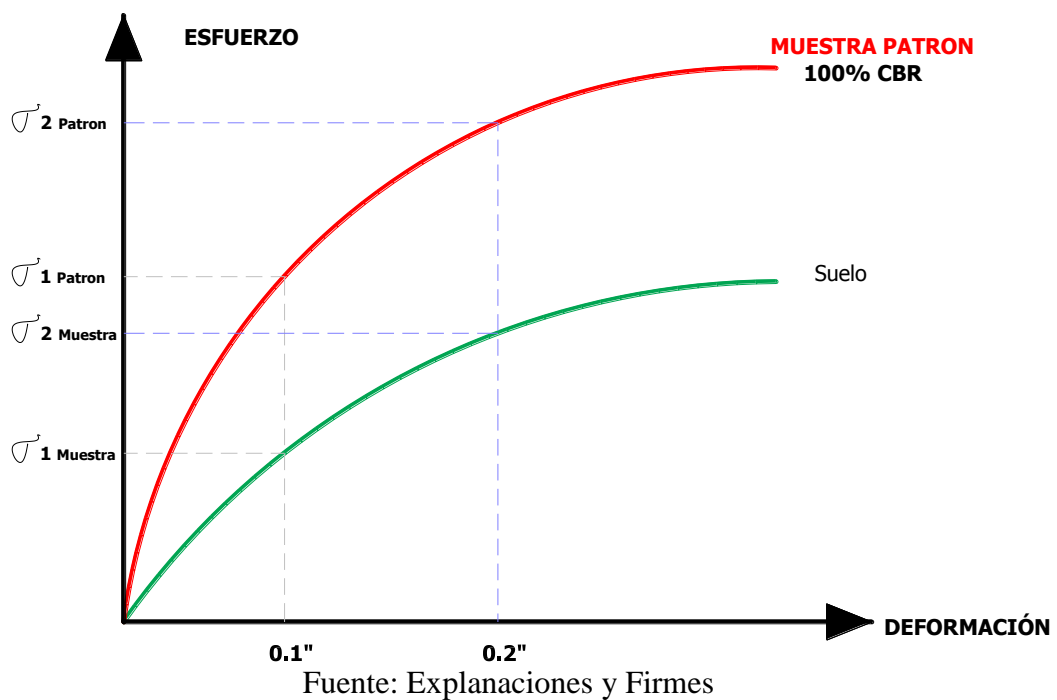


Fuente: Explanaciones y Firmes

Se toma como deformación máxima en el ensayo CBR, 0.5 pulg (1.25 mm), debido a que a esta magnitud de deformación plástica o mayor, se considera que el suelo ha fallado.

El valor de CBR en suelos no estabilizados, se determina a 0.1" y 0.2" de deformación, porque a esos niveles son las sollicitaciones normales que soportan los suelos.

FIGURA 11 ESFUERZO Y DEFORMACIÓN DEL SUELO



$$CBR = \frac{\sigma_{0.1''} \text{ SUELO}}{\sigma_{0.1''} \text{ MUESTRA PATRON}}$$

$$CBR = \frac{\sigma_{0.2''} \text{ SUELO}}{\sigma_{0.2''} \text{ MUESTRA PATRON}}$$

El ensayo de CBR (California Bearing Ratio), es el ensayo más importante en esta investigación ya que nos determina de forma directa los parámetros de resistencia del suelo, y los expresa en porcentaje.

## **2.8. RESIDUO**

La reutilización y el reciclaje de los residuos de la construcción a lo largo del ciclo de vida de los edificios y las infraestructuras es una de las estrategias fundamentales para alcanzar la sostenibilidad en este sector. Y para ello, el concepto de “residuo” debería tender a desaparecer y dejar paso a la consideración de este flujo de materiales como un “recurso”.

### **2.8.1. Residuo clasificado de obras viales**

El residuo clasificado de obras viales son las losas de hormigón rígido, las cuales fueron extraídas de un tramo de la carretera Tarija – Potosí, en el cruce a Tomayapo, el material fue triturado y almacenado.

### **2.8.2. PROCESO DE RECICLAJE DEL RESIDUO**

- **Recepción del Residuo**

La recepción del Residuo es primordial, éste debe estar libre de materiales indeseables que pueden restar calidad a los productos reciclados.

- **Almacenamiento del Residuo**

Dependiendo de las características del Residuo, se acomoda en diferentes almacenes, en esta investigación se almacenó en bolsas plásticas.

- **Trituración y Clasificación.**

De acuerdo a la granulometría deseada, se realiza la trituración y clasificación de los residuos de losas de hormigón, la trituración fue hasta que las partículas estén en un tamaño máximo de 1’’

**FIGURA 12 RESIDUO DE LOSAS DE HORMIGÓN DE PAVIMENTO RÍGIDO**



*Fuente: Propia*

**FIGURA 13 RESIDUO TRITURADO DE LOSAS DE HORMIGÓN RÍGIDO**



*Fuente: Propia*

## 2.9. SUBRASANTE

Se define como la parte de la corteza terrestre, que le va a servir de soporte a la estructura del pavimento; puede ser sub-rasante natural (en el caso de los cortes), o constituirse en el sitio (artificial, para los terraplenes).

### 2.9.1. Estabilización del suelo

Es de todos conocido la variabilidad y complejidad de los suelos. Sin embargo, debido a sus diversas utilidades, el ingeniero tiene grandes oportunidades para desarrollar sus habilidades, al utilizar a los suelos como un material ingenieril. (Del Castillo, 2008).

Desafortunadamente, en Bolivia existen muchos suelos que en su estado natural no son adecuados para su utilización en las obras por no reunir los requisitos especificados. En estos casos los ingenieros deberán tomar una de las tres decisiones siguientes:

- Aceptar el material tal y como está y efectuar el diseño de acuerdo con las restricciones impuestas por la calidad de la materia.
- Remover y desechar el suelo del lugar y sustituirlo por un suelo de características adecuadas.
- Alterar o cambiar las propiedades del material existente de tal manera que se obtenga un material que reúna la mejor forma los requisitos impuestos, o cuando menos que la calidad obtenida será adecuada.

El objetivo del presente trabajo es considerar solamente lo que representa a la **tercera decisión**, es decir, que nos referimos solamente a la que se conoce como Estabilización de Suelos.<sup>1</sup>

Por tanto se denomina estabilización de suelos al proceso de someter a los suelos naturales a ciertos tratamientos para aprovechar sus mejores cualidades, siempre

---

<sup>1</sup> Ing. Erick Oliver Cervantes Gutiérrez “Estabilización de Suelos Arcillosos elaborados con precursores nano-métricos “\_Morelia, Mayo de 2010.

buscando una mejoría sustancial en el comportamiento esfuerzo-deformación de los suelos y/o de la estructura que se coloque sobre ellos, a lo largo de su vida útil<sup>2</sup>; obteniéndose una capa de asiento del firme estable y durable, capaz de soportar los efectos del tránsito y las condiciones del clima más severas y por ende asegure geotécnicamente el comportamiento de la explanada.

Para el proceso de estabilización de los suelos existen dos opciones de ejecución, mezcla en central o plantas móviles y mezclas in situ.<sup>3</sup>

Se define un suelo estabilizado “in situ” a la mezcla homogénea y uniforme de un suelo con un agente estabilizante, y eventualmente agua, en la propia traza de la carretera, la cual convenientemente compactada, tiene por objeto disminuir la susceptibilidad al agua o aumentar su resistencia, para su uso en la formación de explanadas.<sup>4</sup>

## **2.10. IMPORTANCIA DE LA ESTABILIZACIÓN DE LOS SUELOS**

Es importante la estabilización para mejorar varias propiedades esenciales de los suelos; pero también puede aparecer el caso de que algunas de estas propiedades lleguen a deteriorarse inmediatamente o con el paso del tiempo. Para evitar esta situación, es importante elegir o especificar un sistema de estabilización y ver que sea el más correcto posible. Además, es necesario determinar el porcentaje óptimo de estabilizante, y tener la seguridad que sea el adecuado para cada caso particular. Por otro lado es importante realizar la investigación del comportamiento de los materiales estabilizados, analizando a corto y largo plazo las propiedades que se mejoran y se mantienen al paso del tiempo, estando conscientes del costo que implica la tarea, de las múltiples propiedades del suelo, las más importantes que se buscan mejorar con las estabilizaciones son las siguientes:

---

<sup>2</sup> <http://www.docstoc.com/docs/137461162/Estabilizaci%C3%B3n-de-Suelos>

<sup>3</sup> Wilfredo Alfonso Valle ,”Estabilización de suelos arcillosos plásticos con mineralizadores en ambientes sulfatados o yesíferos” Proyecto Fin de Master, Madrid Septiembre de 2010.

<sup>4</sup> Artículo 512 (O.C. 10/2002)-Carreteros

**a) Disminuir la Plasticidad.**

La plasticidad del suelo está relacionada con el concepto de límites de Atterberg, término conocido en la mecánica de suelos. Estos parámetros relacionan la capacidad que tienen los suelos cohesivos para adsorber agua sobre la superficie de sus partículas, ya que cuanto mayor es la cantidad de agua que contiene un suelo, menor es la interacción entre sus partículas adyacentes y más se aproxima el suelo en su comportamiento al de un material líquido; por lo tanto, una alteración en los valores de estos límites indicara una modificación del agua adsorbida por el suelo.

El término limoso se aplica cuando las fracciones de finos del suelo tienen un índice de plasticidad de 10 o menor. El término arcilloso se aplica cuando las fracciones de finos tienen un índice de plasticidad de 11 o mayor (BRAJA M. DAS).

**b) Estabilidad Volumétrica.**

Esta propiedad se refiere al apreciable cambio de volumen que sufren los suelos, debido al cambio de humedad y los esfuerzos internos afectados por el agua.

Cuando un suelo saturado se seca, cambia su volumen (retracción). Esta pérdida de volumen se debe a la desecación ocurrida en el suelo, que provoca una modificación en la tensión capilar del menisco formado en cada, poro de la superficie. Luego se produce una tracción en el agua del suelo y la correspondiente compresión en la estructura del mismo, siendo ésta última bastante considerable e inclusive actúa como una carga en el mismo.

Se produce la expansión o hinchamiento cuando un suelo seco, cohesivo aumenta su humedad; este fenómeno se debe a diversos factores como la atracción del agua por los minerales arcillosos, la repulsión eléctrica de las partículas de arcilla y de sus cationes absorbidos.



La estabilidad volumétrica está íntimamente relacionada con la composición mineralógica de los suelos y los cambios climatológicos de la región, esta propiedad es propia de los suelos que contienen un alto porcentaje de minerales arcillosos.

La estabilidad volumétrica se modifica cementando el material de modo que disminuya la capacidad del material de absorber agua, siendo más efectivos en las arcillas profundas.

**c) Compresibilidad.**

La compresibilidad es una propiedad que está relacionada íntimamente con el cambio volumétrico del suelo, el cual se manifiesta a través de un asentamiento. Este asentamiento es producido por el peso propio del material o por cargas externas superficiales que originan un cambio en la relación de vacíos, flexión y la distorsión o, cambio de formas de la fase sólida del suelo inmediatamente debajo de la carga. Asimismo, la estructura de los sólidos especialmente en los puntos de contacto de un factor irreversible con la compresibilidad de todos los suelos no cohesivos. Sin embargo, en las arcillas el factor más importante de la compresibilidad es la repulsión eléctrica entre sus partículas que tienen cargas iguales o, que están rodeadas de cationes con cargas semejantes que las mantienen apartadas.

La reducción de la compresibilidad del suelo puede lograrse llenando los poros del mismo, es decir, cementando los granos con un material rígido. Pero también, es posible reducir esta propiedad cambiando las fuerzas del agua absorbida por el mineral de arcilla.

En términos generales, todos los métodos de estabilización revisados en anteriores secciones pueden incluir en esta propiedad, pero frecuentemente la compactación y la estabilización química son las que más se utilizan.

**d) Resistencia o Capacidad Portante.**

Esta propiedad se refiere a la capacidad que tiene el suelo de soportar cargas continuas de tráfico, para no sufrir fallas y deformaciones inadmisibles en su estructura.

En general, todas las formas de estabilización revisadas, pueden mejorar en mayor y menor grado de resistencia del suelo; pero mucho depende de la cantidad de materia orgánica que contiene el mismo.

### **2.11. TIPOS DE ESTABILIZACIÓN**

Son muchos los procedimientos que pueden seguirse para lograr esa mejoría de las propiedades de los suelos, con vistas a hacerlos apropiados para algún uso específico, lo que constituye la estabilización. La siguiente lista de técnicas de estabilización no agota seguramente la amplia gama existente, aunque resume las más conocidas en nuestro medio.

- a) Estabilización mecánica
- b) Estabilización Física o granulométrica
- c) Estabilización química o por medios químicos
- d) Estabilización Físico-Química
- e) Estabilización por medios eléctricos

La gran variabilidad de los suelos y sus composiciones hacen que cada técnica de estabilización resulte sólo aplicable a un número limitado de tipo de ellos; en muchas ocasiones esa variabilidad se manifiesta a lo largo de algunos metros, en tanto que en otras a lo largo de algunos kilómetros, pero en cualquier caso suele ser frecuente que para aplicar una técnica de estabilización económicamente hayan de involucrarse varios tipos de suelos.

De esta manera una optimizada estabilización de suelos, abre la posibilidad de una utilización eficaz de los materiales locales, para la construcción y conservación de una vía.<sup>5</sup>

## 2.12. CARACTERIZACIÓN DE SUELOS FINOS DE LA SUBRASANTE

La clasificación de los suelos se realiza en laboratorio, para lo cual se procede a la extracción de muestras. A tales efectos, se realiza una primera inspección visual para valorar la homogeneidad del tramo. Se determina la existencia de zonas heterogéneas o contaminadas con otros materiales. De resultar homogéneo el tramo, se extraerá como mínimo una muestra de cada doscientos a cuatrocientos metros. La cantidad de muestras a extraer, aumentará en tramos heterogéneos.

En nuestra investigación estudiaremos los suelos de subrasantes que se encuentran ubicados en el barrio Monterrey final colon donde se está haciendo la apertura de caminos y nuevas urbanizaciones y barrios, donde se apreció bastante suelo arcilloso y limoso con las características que abarcan nuestro estudio.



*Fuente: Propia*

---

<sup>5</sup> Ing. Marcelo Segovia Cortez ;Apuntes y copias de la materia Carreteras III –Unidad 1 : Estabilización de suelos.

<http://www.docstoc.com/docs/137461162/Estabilizaci%C3%B3n-de-Suelos>

## **2.13. MEJORAMIENTO DE SUBRASANTES DE SUELOS FINOS.**

### **2.13.1. Procesos de tratamiento de suelos finos**

Los dos primeros grandes grupos de soluciones citados anteriormente incluyen todas las posibles actuaciones que con llevan la manipulación de los suelos para su adaptación a las necesidades constructivas. En estos grupos se centra el presente documento y por tanto, el contenido que se detalla a continuación.

Los principales mecanismos que se aplican para el tratamiento de los suelos arcillosos y la reducción de sus efectos perjudiciales sobre las construcciones se pueden agrupar en actuaciones mediante procesos físicos o procesos químicos.

Los más frecuentes son los siguientes:

#### **Procesos físicos:**

- \* Sustitución por materiales menos sensibles
- \* Mezcla con otros materiales
- \* Re compactación de los suelos
- \* Control de las condiciones de humedad

A continuación se describen someramente los procesos mencionados como paso de entrada al tema que afecta en más profundidad este documento que es la estabilización de suelos mediante residuo de losas de hormigón basándonos en la estabilización mediante procesos físicos, mezcla de otros materiales.

#### **2.13.1.1. Mezcla con otros suelos O MATERIALES**

Una segunda solución frecuente para la problemática de los suelos arcillosos es su mezcla mecánica con otro tipo de suelo o material para modificar sus características.

Estas mezclas suelen realizarse con suelos arenosos o, en general, granulares, en nuestro caso utilizaremos los residuos de losas de hormigón rígido, ya que tienen propiedades similares, y son los que en mejor medida pueden corregir los efectos de las arcillas. El proceso se basa fundamentalmente en la alteración granulométrica del suelo mediante la adición de partículas gruesas y la

consiguiente dilución del efecto de las partículas finas características de las arcillas.

Con estas mezclas, convenientemente estudiadas, se eliminan fundamentalmente los efectos de plasticidad y de higroscopicidad que afectan al comportamiento mecánico de los suelos arcillosos, en especial, a su dependencia del nivel de humedad. También se aumenta con este efecto la componente de fricción o rozamiento entre partículas que contribuye a la **capacidad portante o resistente de los suelos**. Esta componente es menos sensible a la presencia de agua que la cohesión entre partículas, por lo que otro de los efectos conseguidos es una mayor resistencia y más estabilidad de la misma.

## CAPÍTULO III

### ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA DE UN SUELO FINO AL COMBINARLO CON DEFERENTES PORCENTAJES DE RESIDUO DE LOSAS DE HORMIGÓN

#### 3.1. UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

Partiendo desde su entorno, el área de estudio para el respectivo muestreo se ubica dentro del departamento de Tarija (Bolivia) en la zona sur (área rural) de la Provincia Cercado, ciudad Capital departamental.

La unidad se encuentra en la urbanización de barrios nuevos, barrio Monterrey sobre la calle colon pasando los barrios Lourdes. El terreno está compuesto por material fino con contenido de arcillas inorgánicas de color amarillo, seca de textura muy fina. A continuación en la figura 3.1 se visualiza el área de estudio.

**Ilustración 1. Ubicación de la extracción de la muestra Barrio monterrey**



*Fuente: Google earth*

#### 3.2. MUESTREO DE LOS MATERIALES

Para la selección de la muestra de los suelos, se tuvo en cuenta que fuera del tipo fino arcilloso y presentara comportamiento plástico y expansivo.

Con este objeto fue necesaria una pre-visualización del terreno y sus aptitudes geotécnicas para la futura estabilidad de la misma. La muestra se la extrajo cumpliendo las especificaciones y siguiendo los pasos indicados en las guías de laboratorio para la extracción de muestra (ASTM D4220) del manual de carreteras V4C.

### **3.2.1. MUESTREO ZONA DE ESTUDIO: BARRIO MONTERREY**

Para este muestreo se procedió a la toma directa del material debido a que la zona se encontraba excavado por maquinaria pesada y por tanto libre de materia orgánica, las muestras tomadas se las colocaron en bolsas de nylon para la caracterización del misma y especialmente para evitar la pérdida de humedad natural del suelo y saquillos para los ensayos de estabilización debido a que se trabajara con muestras secas. En las siguientes figuras se observa la zona de extracción de las muestras de campo.

**Ilustración 2 Muestra (arcilla amarilla)**



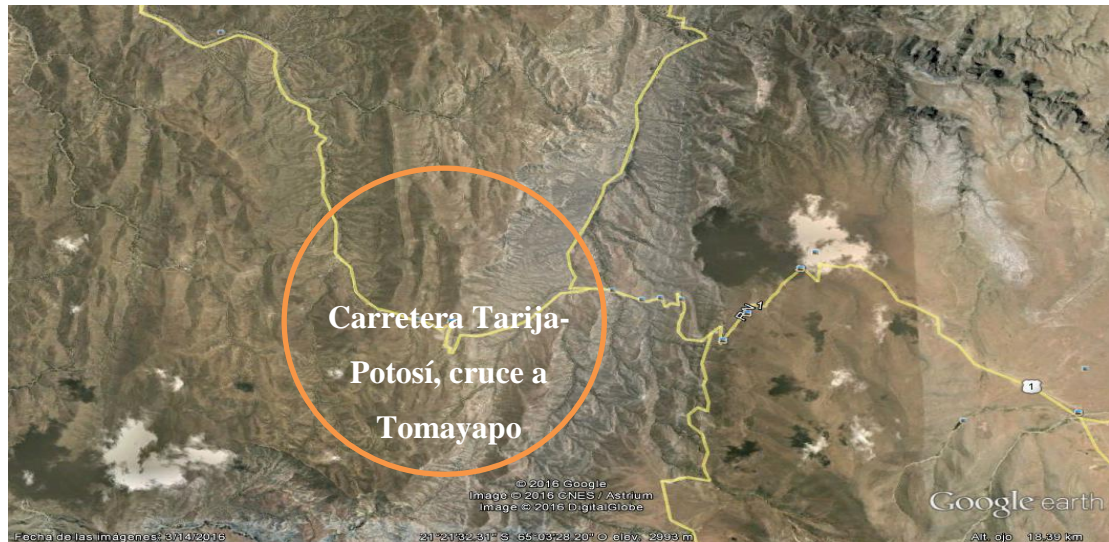
*Fuente: Elaboración Propia*

### **3.3. UBICACIÓN DEL ESTABILIZANTE EN ESTUDIO**

El residuo clasificado de obras viales se obtendrá de una parte de la carretera Tarija-Potosí, en el cruce a Tomayapo, ya q se observó que están remplazando algunas losas de pavimento rígido, este material será triturado a un tamaño

máximo de 1'' y almacenado en el laboratorio de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

**Ilustración 3 Ubicación del residuo de losas de hormigón**



*Fuente: Google earth*

**Ilustración 4 Residuo de las losas de hormigón**



*Fuente: Google earth*

### **3.4.CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL A ESTABILIZAR**

Para conocer las propiedades de los suelos utilizados en el proyecto, se tomaron muestras en todo el desarrollo del mismo, posteriormente en el Laboratorio de suelos y Hormigón se determinaron sus propiedades y clasificación de las mismas

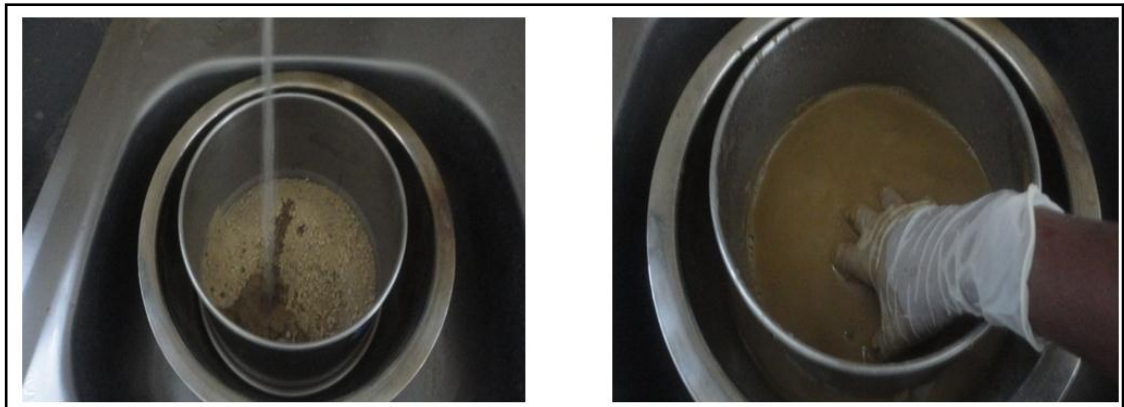


según la norma AASHTO (ver Anexo 5.1 Clasificación de suelos según AASHTO).

#### **3.4.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM D 422 AASHTO T88)**

La prueba de granulometría sirve para determinar el porcentaje en peso de las partículas de diferentes tamaños, teniendo una visión de la distribución del tamaño de los granos presentes en un suelo. El ensayo de análisis granulométrico por tamizado se realizó mediante el método del lavado en el cual se pesa 500 gr como peso total, se procede a realizar el lavado por la malla número 200 de acuerdo a la norma AASHTO-T88 (Ver ilustración 5). Después que el suelo está seco se pesa y se procede al tamizado por la malla N° 40 y 200, desde arriba hacia abajo. El primer tamiz, es el de mayor tamaño y es donde inicia el tamizado. Se tapa con el fin de evitar pérdidas de finos; el ultimo tamiz está abajo y descansa sobre un recipiente (base) de forma igual a uno de los tamices, y recibe el material más fino no retenido por ningún tamiz. Luego proceder a realizar el pesaje del material retenido en cada malla. (Ver ilustración 6).

**Ilustración 5 Lavado de la muestra por el tamiz N° 200**



*Fuente: Elaboración Propia*

### Ilustración 6 Tamizado y pesado del suelo después del lavado



*Fuente: Elaboración Propia*

**Tabla 4 Resultado del análisis granulométrico del suelo**

<b>Tamices</b>	<b>% Que Pasa del Total</b>
3"	<b>100</b>
2"	<b>100</b>
1 1 /2"	<b>100</b>
1"	<b>100</b>
3/4"	<b>100</b>
1/2"	<b>100</b>
3/8"	<b>100</b>
Nº4	<b>100</b>
Nº10	<b>100</b>
Nº40	<b>100</b>
Nº200	<b>89,7</b>

*Fuente: Elaboración Propia*

Está formado por materiales con características propias de los limos con una fracción inferior 25 micras de 89.7 %

Con la práctica del Hidrómetro mostrada en la tabla, se determinó, por su textura el porcentaje de materiales que son:

**Tabla 5 Distribución de limo y arcilla determinado por el Hidrómetro**

% Material	Descripcion
60.2	Arcilla
34.1	Limo
5.7	Arena fina

*Fuente: Elaboración Propia*



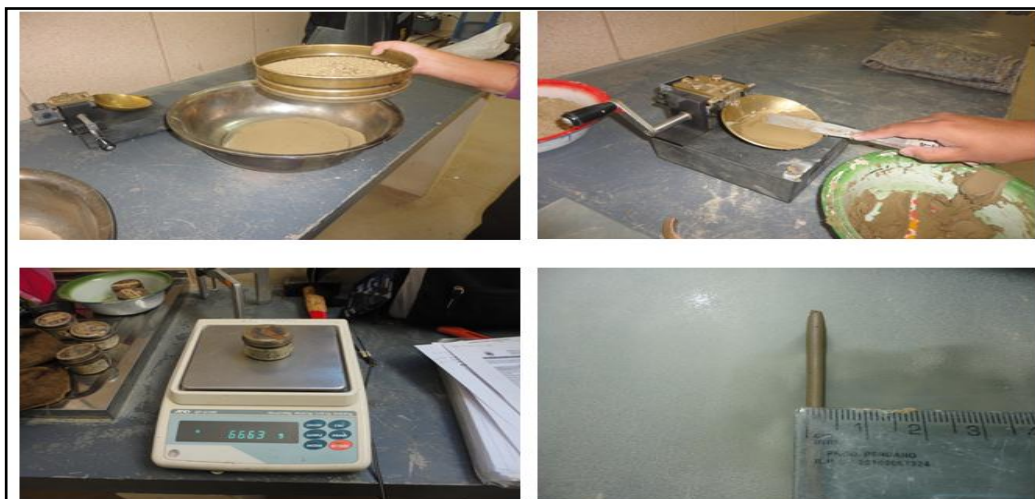
### 3.4.2. LÍMITES DE ATTERBERG (ASTM D4318 AASHTO T90-T89)

Los límites de plasticidad se realizaron conforme a la norma y éste corresponde a la humedad, o sea el porcentaje de agua respecto al peso de los sólidos en que los finos de los materiales pasan de una consistencia a otra.

- ❖ **Límite Líquido:** Se determina mediante el método de la cuchara de casa grande (NLT-105). El ensayo se basa en la determinación de la cantidad de agua mínima que se puede contener en una pasta formada de maso menos 100 gr de suelo seco que haya pasado el tamiz N°40. Para ello, se coloca sobre el mencionado artefacto y se acciona el mecanismo de este, contándose el número de golpes necesario para cerrar un surco (realizado previamente con un ranurador normalizado) en una longitud alrededor de 12mm. El ensayo se dará por válido cuando se obtengan determinaciones entre 15-20; 20-25; 25-30; 30-35 golpes. La humedad correspondiente al límite líquido será la correspondiente a 25 golpes, y se determinará interpolando en una gráfica normalizada las cuatro determinaciones obtenidas experimentalmente.
- ❖ **Límite Plástico (NLT-106):** Se determina en base de la menor humedad de un suelo que permite realizar con el cilindros de 3 mm de diámetro que presenten fisuras sin que se desmoronen, realizándose 4 determinaciones y hallando la media. Este ensayo se realiza con aproximadamente 200 gr. De muestra seca y filtrada a través tamiz N°40, como en el caso anterior

A la diferencia entre ambos límites se denomina “índice de plasticidad” (IP), y da una idea del grado de plasticidad que presenta el suelo; un suelo muy plástico tendrá un alto índice de plasticidad. En las Figuras se puede observar parte del desarrollo del ensayo del límite líquido y plástico.

**Ilustración 7 Realización del ensayo de límites de Atterberg**



*Fuente: Elaboración Propia*

**Tabla 6 Tabla de resultados de los Límites de Atterberg**

Límite Líquido (LL)	<b>36</b>
Límite Plástico (LP)	<b>18</b>
Índice de plasticidad (IP)	<b>18</b>
Índice de Grupo (IG)	<b>11</b>

*Fuente: Elaboración Propia*

### 3.4.3. CONTENIDO DE HUMEDAD Y CLASIFICACIÓN DEL SUELO

El ensayo de contenido de humedad natural (ASTM D2216) se realizó de acuerdo a lo especificado en el Vol.4C del manual de carreteras.

**Tabla 7 Tabla de Resultados del contenido de humedad**

Suelo	%
Contenido de Humedad	6,62

*Fuente: Elaboración Propia*

**Tabla 8 Tabla de Resultados de la Clasificación del suelo**

CLASIFICACIÓN DEL SUELO		DESCRIPCIÓN
<b>SUCS:</b>	CL	Arcilla inorgánica de baja plasticidad.
<b>AASHTO:</b>	A-6(11)	

*Fuente: Elaboración Propia*

Según SUCS “CL” y según AASTHO A-6 (11) arcilla inorgánica de baja plasticidad, además se aprecia que contiene un porcentaje muy apreciable de limo y arena fina.

#### **3.4.4. COMPACTACIÓN (AASHTO T-180/ ASTM D1557)**

El ensayo de proctor se realizó por el método de la norma (AASHTO T-180/ ASTM D1557) modificado y permite conocer el grado de humedad de un suelo para alcanzar una densidad máxima aplicando una energía de compactación determinada, para este caso se utilizó por el tipo de material el método C.

El agua, al actuar como lubricante de las partículas de un suelo facilita la compactación de un suelo seco y encontrar la humedad óptima para alcanzar una densidad máxima seca con una misma energía de comparación. La prueba es importante para controlar la calidad de los procesos de compactación que se le dan a las capas de bases y sub-bases varían entre el 95% y el 100%.

El procedimiento de ensayo consiste en apisonar en 5 capas consecutivas una cantidad aproximadamente de 6 kg de suelo previamente tamizada por el tamiz N°4 y dividida por cuarteo en 5 partes aproximadamente iguales. La muestra se humecta y se introduce en un molde metálico de dimensiones normalizadas (2124 cm<sup>3</sup>).

Para llevar a cabo el apisonado se emplea un pistón también normalizado, de forma que su peso y altura de caída no varíen, lo que asegura una energía de compactación constante. La normativa estipula una cantidad de 56 golpes con el pistón por cada capa de suelo. Se realizan alrededor de 4 a 5 determinaciones con diferente grado de humedad construyendo la curva “humedad-densidad seca”.

En las siguientes ilustraciones se muestra la realización del ensayo de compactación para el proyecto en estudio.

### Ilustración 8 Proceso del ensayo de Compactación



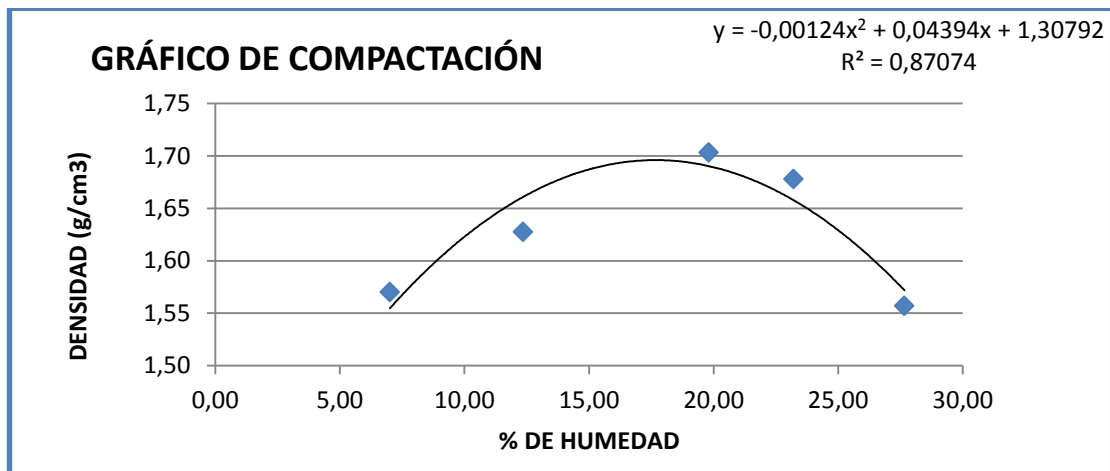
*Fuente: Elaboración Propia*

**Tabla 9** Tabla de resultados de la Compactación del suelo

<b>Densidad Máxima</b>	<b>1,70</b>	<b>gr/cm<sup>3</sup></b>
<b>Humedad Optima</b>	<b>17,72</b>	<b>%</b>

*Fuente: Elaboración Propia*

**Ilustración 9 Grafico Densidad vs Humedad**



*Fuente: Elaboración Propia*

### **3.4.5. RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA CBR (ASTM D 1883\_ AASHTO T-193)**

El ensayo C.B.R, se realizó de acuerdo a la norma AASHTO T-193, para obtener la resistencia del suelo, y así evaluar la capacidad de soporte del suelo en la capa de subrasante de pavimentos.

Para la obtención de los diferentes CBR se efectuaron tres moldes con distinta energía de compactación; la primera con 12 golpes, la segunda con 25 golpes y la tercera, con 56 golpes por cada ensayo de CBR. Las muestras elaboradas bajo estos procedimientos, se sometieron a un proceso de inmersión en agua para simular las condiciones de saturación a las cuales podrían estar sometidos los suelos como es la subrasante de una carretera, y en esta forma, obtener los C.B.R de los suelos bajo las condiciones más críticas ; esto durante un período mínimo de 96 horas donde se colocan pesas sobre las mismas, con el objeto período mínimo de 96 horas donde se colocan pesas sobre las mismas, con el objeto de simular las cargas tanto vehiculares , como de la estructura de pavimento y por otro lado determinar su expansión efectuando 4 lecturas empleando un extensómetro debidamente calibrado. El ensayo de penetración se basa en la aplicación de una presión a una velocidad normalizada creciente efectuada mediante la prensa a la que va acopiada un pistón de sección circular sobre la muestra de suelo compactado con la humedad óptima. Luego de realizar el ensayo

de penetración se procede a sacar humedades de cada molde del fondo, superficie y 2" de superficie para determinar sus densidades.

A continuación se gráfica el proceso del ensayo de CBR.

#### Ilustración 10 Proceso de inmersión y penetración del ensayo de CBR



*Fuente: Elaboración Propia*

**Tabla 10 Resultados del ensayo CBR sin estabilizar**

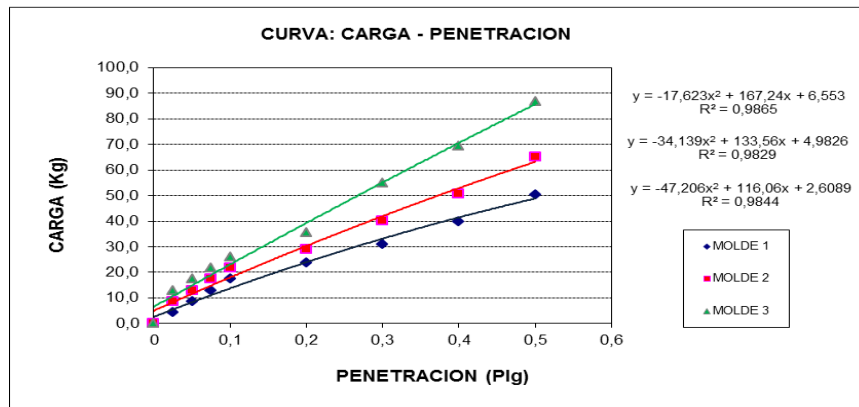
SUELO PURO			
Nº	CBR (%)	CBR(%) al 95% Dmax	% Expansión
1	3	1	3
2	3	1	3
3	3	2	2,94

*Fuente: Elaboración Propia*



Se realizaron tres ensayos de CBR con el suelo sin estabilizar para caracterizar la resistencia del suelo y se observa que es un material expansivo y con un valor bajo de CBR por lo que necesita ser estabilizado.

**Ilustración 11 Curva: carga vs penetración**



*Fuente: Elaboración Propia*

### 3.5.CARACTERIZACIÓN DEL ESTABILIZANTE

Se entiende por Residuo clasificado de Obras viales al residuo de las losas de hormigón, el cual estaban fisuradas y fueron remplazadas en el tramo ya mencionado, clasificado de obras viales porque solo se usara las losas de hormigón rígido, y estará clasificado mediante una granulometría controlada, y se añadirá en diferentes porcentajes al suelo a estabilizar, tomando en cuenta los respectivos porcentajes respecto al suelo y a la muestra total a emplear.

#### 3.5.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM D 422 AASHTO T88) DEL RESIDUO CLASIFICADO DE OBRAS VIALES

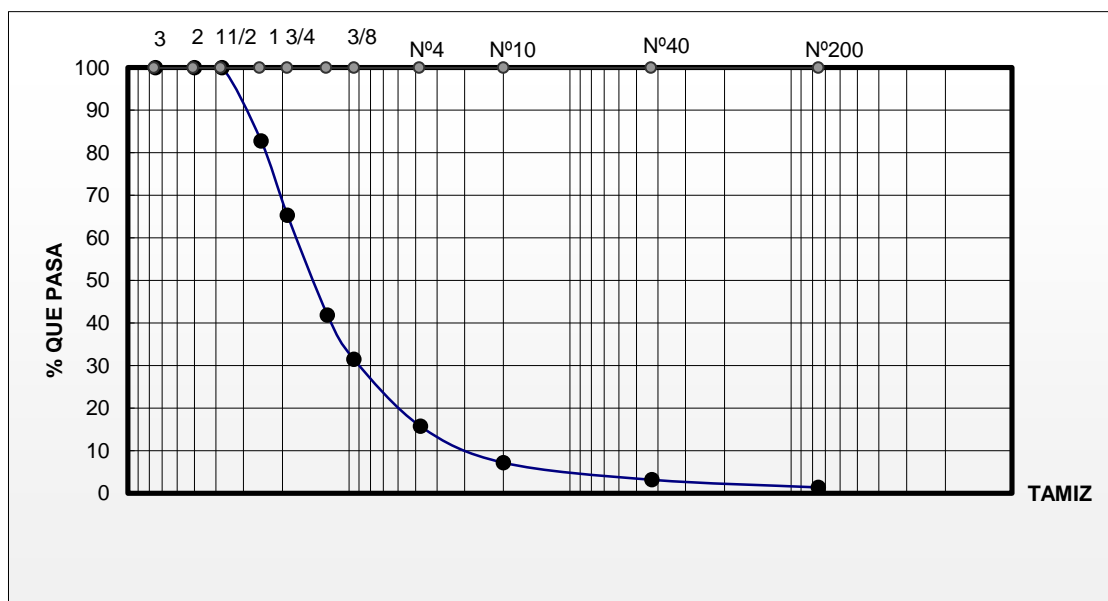
La prueba de granulometría sirve para determinar el porcentaje en peso de las partículas de diferentes tamaños, teniendo una visión de la distribución del tamaño de los granos presentes en el residuo de losas de hormigón. El ensayo de análisis granulométrico por tamizado se realizó pesando 5845 gr como peso total, se procede a realizar el tamizado por la mallas de acuerdo a la norma AASHTO-T88. El primer tamiz, es el de mayor tamaño y es donde inicia el tamizado. Se tapa con el fin de evitar pérdidas de finos; el ultimo tamiz está abajo y descansa sobre un recipiente (base) de forma igual a uno de los tamices, y recibe el material más fino no retenido por ningún tamiz. Luego proceder a realizar el pesaje del material retenido en cada malla.

**Tabla 11 Resultados del Análisis Granulométrico del Residuo de las losas de hormigón**

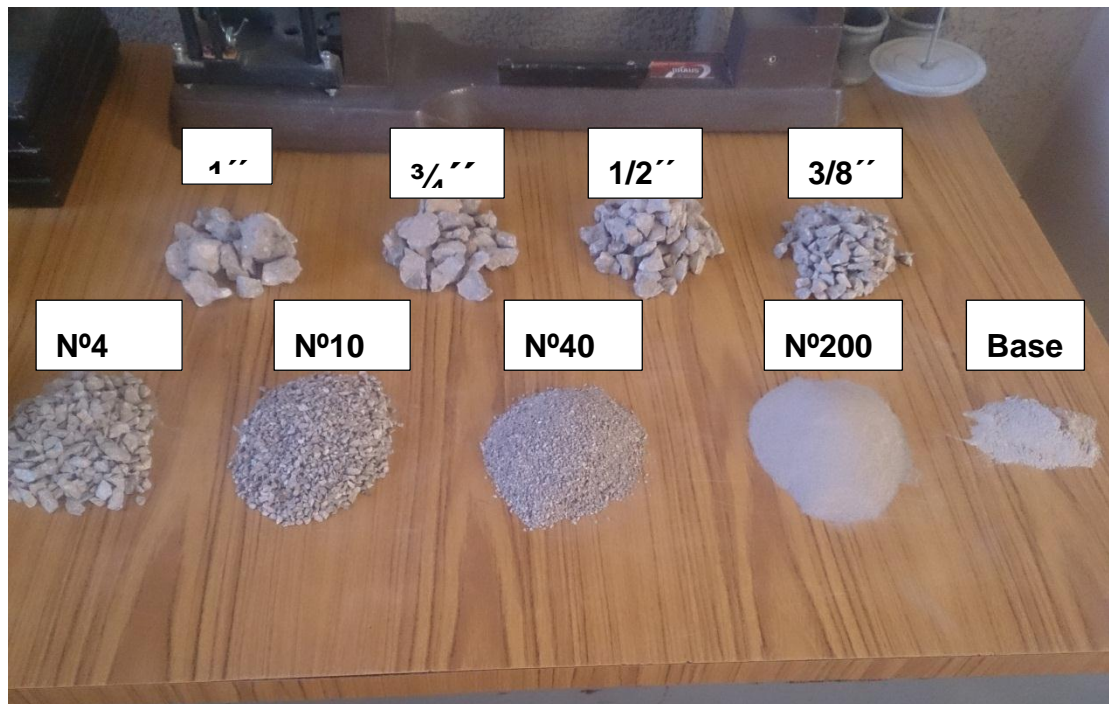
Tamices	% Que Pasa del Total
3"	100,00
2"	100,00
1 1/2"	100,00
1"	82,81
3/4"	65,36
1/2"	41,83
3/8"	31,48
Nº4	15,74
Nº10	7,19
Nº40	3,17
Nº200	1,37

*Fuente: Elaboración Propia*

**Ilustración 12 Curva Granulométrica del Residuo de losas de hormigón**



*Fuente: Elaboración Propia*

**Ilustración 13 Granulometría del Residuo clasificado de las losas de hormigón rígido**

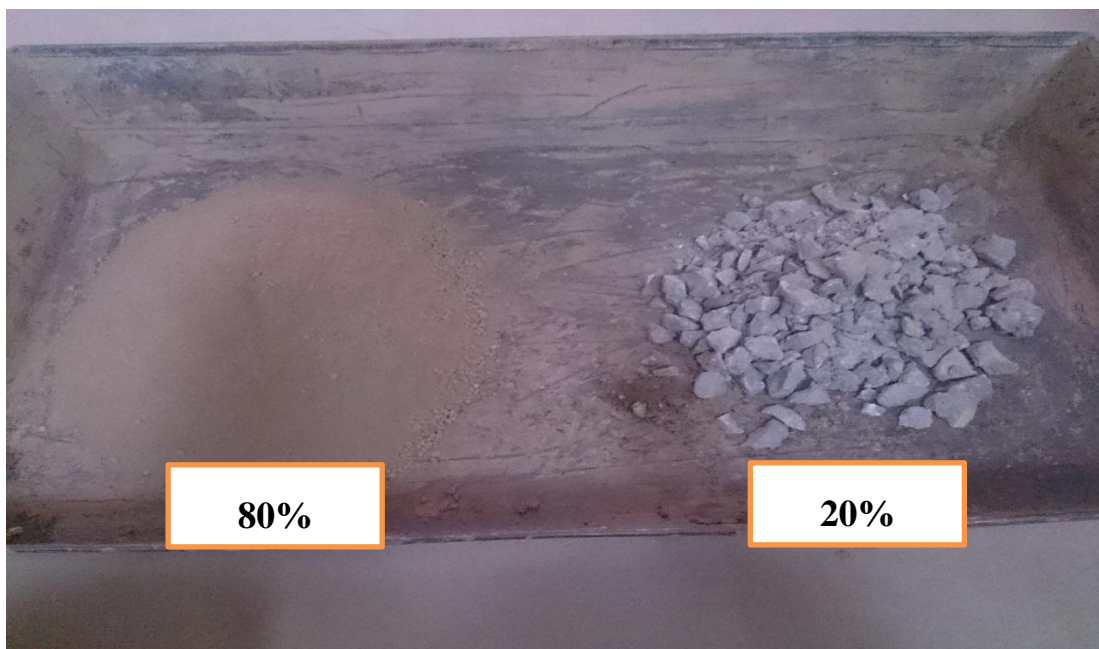
*Fuente: Elaboración Propia*

Como se observa es muy poco su porcentaje de fino, por lo cual no se realizó el ensayo de Límites de Atterberg.

Con esta granulometría se procede a mezclar el suelo con los diferentes porcentajes de residuo clasificado de obras viales, los porcentajes serán 20, 35, y 50 % respecto al peso total de la mezcla, se realizaron 9 ensayos de CBR de cada porcentaje para darle una mayor confiabilidad al trabajo de investigación, y también para cumplir con el número estipulado en el concejo para la aprobación del tema.

### 3.6. CARACTERIZACIÓN DE LA MEZCLA AL 20% RESIDUO Y 80% SUELO

Ilustración 14 Mezcla 20% Residuo y 80% Suelo



*Fuente: Elaboración Propia*

#### 3.6.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA MEZCLA AL 20% RESIDUO Y 80% SUELO

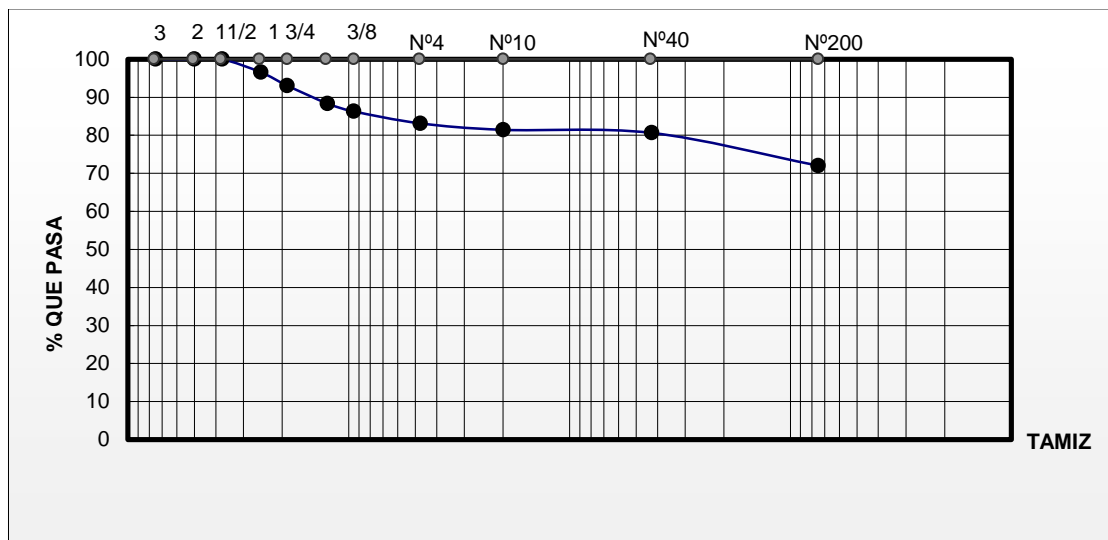
Se realizó el análisis granulométrico controlando los pesos retenidos en cada tamiz tanto del residuo como del suelo, teniendo en cuenta sus respectivos porcentajes de 20% residuo y 80% suelo.

**Tabla 12** Tabla de resultados del análisis granulométrico de la mezcla

Tamices	% Que Pasa del Total
3"	100,00
2"	100,00
1 1/2"	100,00
1"	96,56
3/4"	93,07
1/2"	88,37
3/8"	86,30
Nº4	83,15
Nº10	81,44
Nº40	80,63
Nº200	72,03

*Fuente: Elaboración Propia*

**Ilustración 15** Curva granulométrica de la mezcla 20% residuo y 80% suelo



*Fuente: Elaboración Propia*

### 3.6.2. COMPACTACIÓN (AASHTO T-180/ ASTM D1557)

Se procedió a mezclar 20% de residuo de las losas de hormigón con el debido control de la granulometría patrón con el 80% de suelo puro, para posteriormente compactarlo a 5 capas, cada capa de 56 golpes, con diferentes porcentajes de humedad, para poder obtener la densidad máxima a una humedad óptima.

**Ilustración 16 Mezcla y molde compactado**



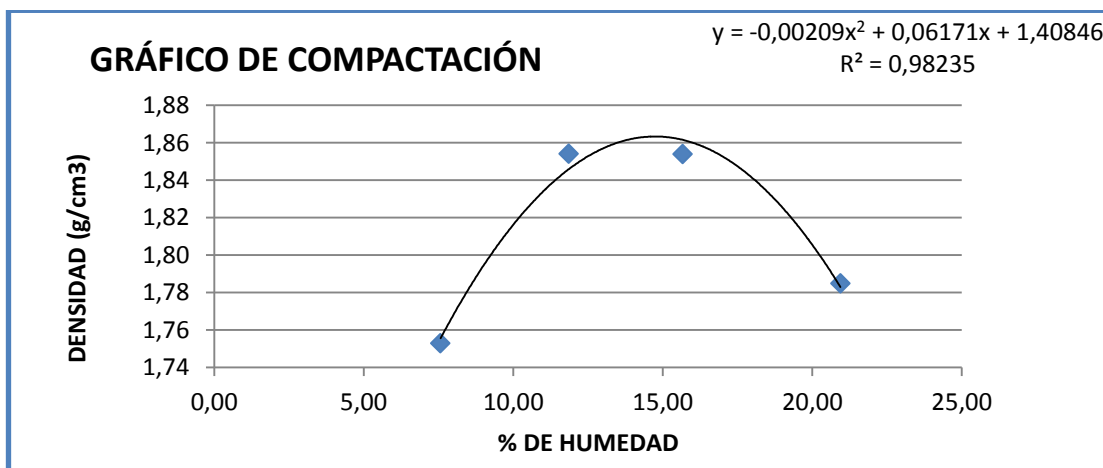
*Fuente: Elaboración Propia*

**Tabla 13 Resultados de la Compactación de la mezcla 20% residuo y 80% suelo**

<b>Densidad Máxima</b>	<b>1,86</b>	<b>gr/cm<sup>3</sup></b>
<b>Humedad Óptima</b>	<b>14,76</b>	<b>%</b>

*Fuente: Elaboración Propia*

### Ilustración 17 Grafica de Compactación de la mezcla



*Fuente: Elaboración Propia*

#### 3.6.3. RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA CBR (ASTM D 1883\_ AASHTO T-193)

Con la compactación de la mezcla se obtuvo la densidad máxima y la humedad óptima, con la cual partimos para realizar los 9 ensayos de CBR correspondientes a la mezcla 20% Residuo y 80% Suelo, los cuales para un CBR se los realiza compactando tres moldes de 5 capas cada uno, pero con distintos golpes cada molde, 12, 25 y 56 golpes, de esta manera cada molde está compactado con distintos niveles de energía, posteriormente se los pesa, se lee con el extensómetro y se los sumerge en agua durante 4 días, realizando lecturas cada 24hr con el extensómetro, pasado los 4 días, se procede a leer en la prensa la presión  $q$  que puede soportar la mezcla. Al desmoldar cada molde se controla la humedad de la mezcla de la superficie, del fondo y de 2'' de la superficie extrayendo muestras en taras.

A continuación se presentan los resultados del CBR de los 9 ensayos respectivos para su porcentaje de mezcla.

**Tabla 14 Tabla de Resultados de la mezcla 20% Residuo y 80% Suelo**

<b>20 % RESIDUO Y 80% SUELO</b>
---------------------------------

Nº	CBR (%)	CBR(%) al 95% Dmax	% Expansión
1	7	4	2,1
2	8	4	2,12
3	8	5	1,9
4	8	4	2,12
5	7	5	2,1
6	9	7	1,82
7	8	4	2,01
8	9	6	1,8
9	8	4	1,9

*Fuente: Elaboración Propia*

**Ilustración 18 Moldes compactados a diferentes golpes**

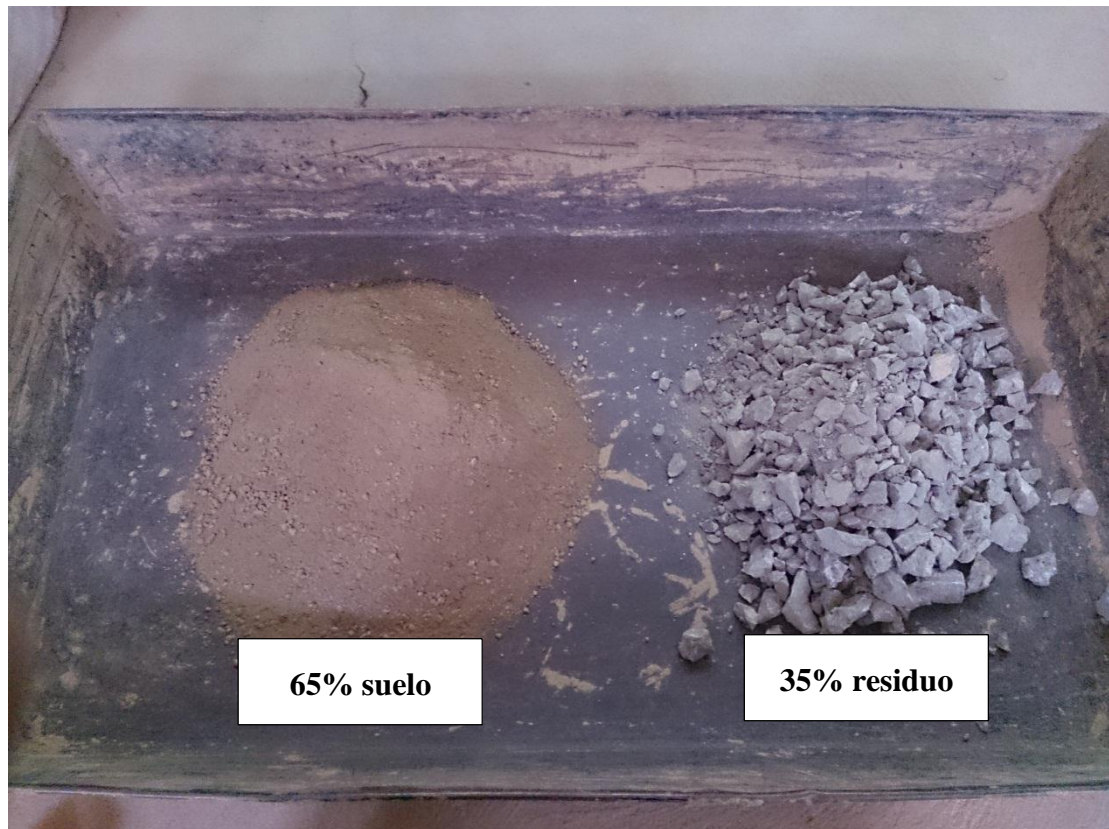


*Fuente: Elaboración Propia*



### 3.7. CARACTERIZACIÓN DE LA MEZCLA 35% RESIDUO Y 65% SUELO

Ilustración 19 Mezcla 35% Residuo y 65% Suelo



*Fuente: Elaboración Propia*

#### 3.7.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA MEZCLA 35% RESIDUO Y 65% SUELO

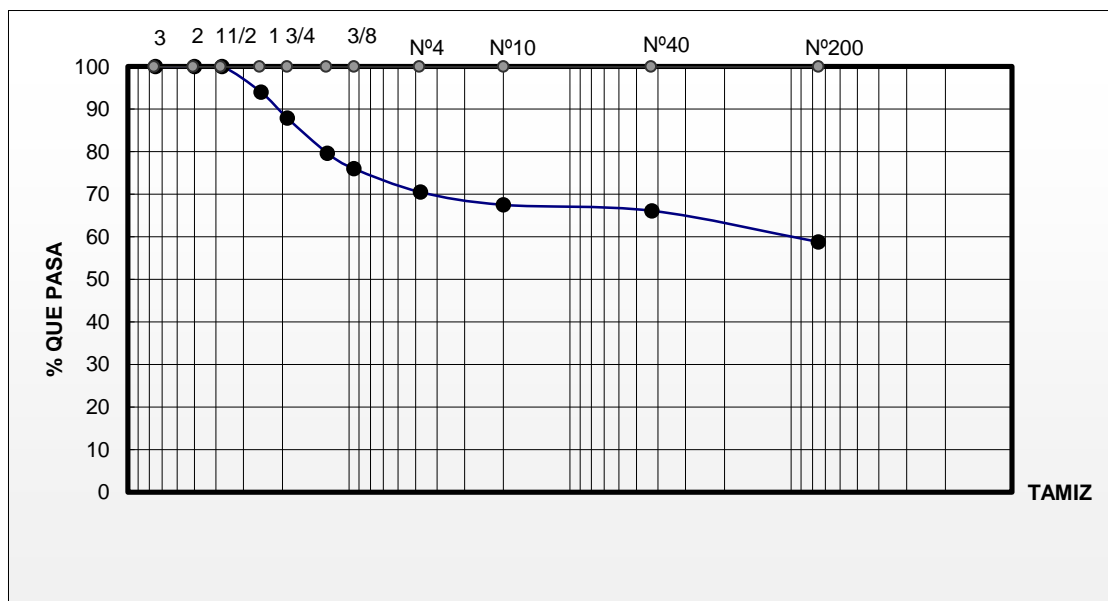
Se realizó el análisis granulométrico controlando los pesos retenidos en cada tamiz tanto del residuo como del suelo, teniendo en cuenta sus respectivos porcentajes de 35% residuo y 65% suelo.

**Tabla 15** Tabla de resultados del análisis granulométrico de la mezcla

Tamices	% Que Pasa del Total
3"	100,00
2"	100,00
1 1/2"	100,00
1"	93,98
3/4"	87,87
1/2"	79,64
3/8"	76,02
Nº4	70,51
Nº10	67,51
Nº40	66,11
Nº200	58,79

*Fuente: Elaboración Propia*

**Ilustración 20** Curva granulométrica de la mezcla



*Fuente: Elaboración Propia*

### 3.7.2. COMPACTACIÓN (AASHTO T-180/ ASTM D1557)

Se procedió a mezclar 35% de residuo de las losas de hormigón con el debido control de la granulometría patrón con el 65% de suelo puro, para posteriormente compactarlo a 5 capas, cada capa de 56 golpes, con diferentes porcentajes de humedad, para poder obtener la densidad máxima a una humedad óptima.

**Ilustración 21 Mezcla y Molde Compactado**



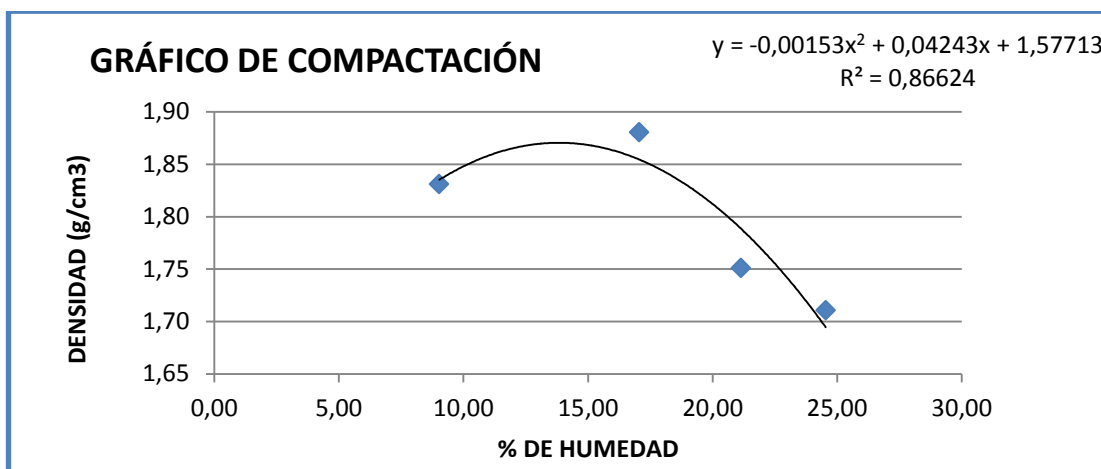
*Fuente: Elaboración Propia*

**Tabla 16 Resultados de compactación de la mezcla 35% residuo y 65% suelo**

Densidad Máxima	1,87	gr/cm <sup>3</sup>
Humedad Optima	13,87	%

*Fuente: Elaboración Propia*

Ilustración 22 Curva de compactación de la mezcla



*Fuente: Elaboración Propia*

### 3.7.3. RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA CBR (ASTM D 1883\_ AASHTO T-193)

Con la compactación de la mezcla se obtuvo la densidad máxima y la humedad óptima, con la cual partimos para realizar los 9 ensayos de CBR correspondientes a la mezcla 35% Residuo y 65% Suelo, los cuales para un CBR se los realiza compactando tres moldes de 5 capas cada uno, pero con distintos golpes cada molde, 12, 25 y 56 golpes, de esta manera cada molde está compactado con distintos niveles de energía, posteriormente se los pesa, se lectura con el extensómetro y se los sumerge en agua durante 4 días, realizando lecturas cada 24hr con el extensómetro, pasado los 4 días, se procede a lecturar en la prensa la presión q puede soportar la mezcla. Al desmoldar cada molde se controla la humedad de la mezcla de la superficie, del fondo y de 2'' de la superficie extrayendo muestras en taras.

A continuación se presenta los resultados del CBR de los 9 ensayos respectivos para su porcentaje de mezcla.

**Tabla 17** Tabla de resultados de la mezcla 35% residuo y 65% suelo

<b>35 % RESIDUO Y 65% SUELO</b>			
<b>Nº</b>	<b>CBR (%)</b>	<b>CBR(%) al 95% Dmax</b>	<b>% Expansión</b>
1	16	7	1,47
2	16	8	1,27
3	15	8	1,45
4	17	6	1,24
5	16	7	1,22
6	15	8	1,53
7	17	6	1,36
8	16	7	1,45
9	17	7	1,27

*Fuente: Elaboración Propia*

**Ilustración 23** Moldes sumergidos en agua durante 4 días



*Fuente: Elaboración Propia*

### **3.8.CARACTERIZACIÓN DE LA MEZCLA 50% RESIDUO Y 50% SUELO**

**Ilustración 24 Mezcla 50% residuo y 50% suelo**



*Fuente: Elaboración Propia*

#### **3.8.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA MEZCLA 50% RESIDUO Y 50% SUELO**

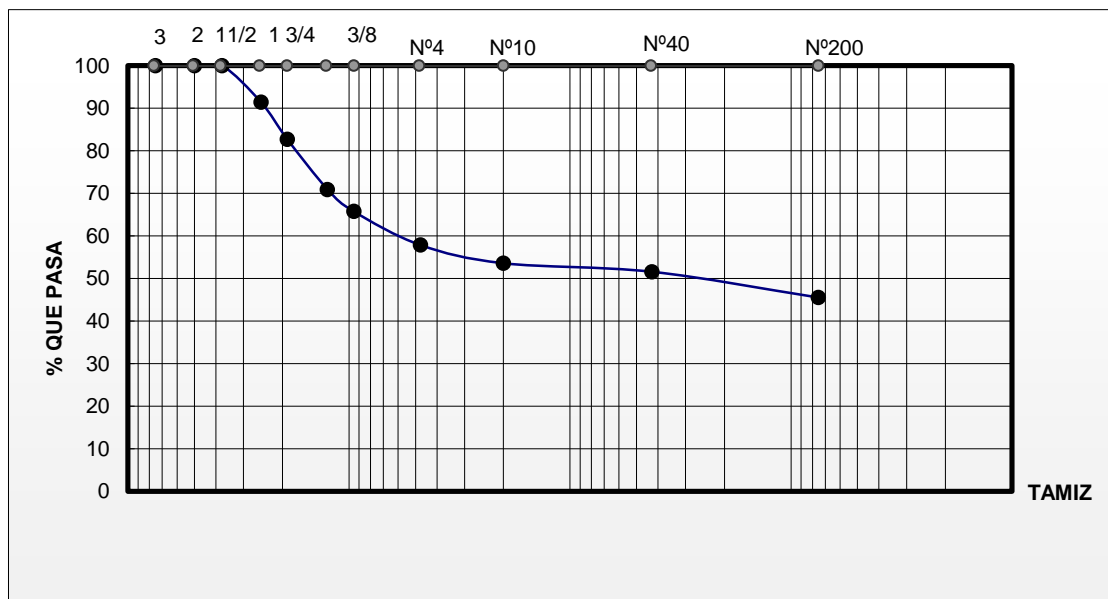
Se realizó el análisis granulométrico controlando los pesos retenidos en cada tamiz tanto del residuo como del suelo, teniendo en cuenta sus respectivos porcentajes de 35% residuo y 65% suelo.

**Tabla 18** Tabla de resultados del análisis granulométrico de la mezcla

Tamices	% Que Pasa del Total
3"	100,00
2"	100,00
1 1/2"	100,00
1"	91,40
3/4"	82,68
1/2"	70,92
3/8"	65,74
Nº4	57,87
Nº10	53,59
Nº40	51,58
Nº200	45,53

*Fuente: Elaboración Propia*

**Ilustración 25** Curva granulométrica de la mezcla



*Fuente: Elaboración Propia*

### 3.8.2. COMPACTACIÓN (AASHTO T-180/ ASTM D1557)

Se procedió a mezclar 50% de residuo de las losas de hormigón con el debido control de la granulometría patrón con el 50% de suelo puro, para posteriormente compactarlo a 5 capas, cada capa de 56 golpes, con diferentes porcentajes de humedad, para poder obtener la densidad máxima a una humedad óptima.

**Ilustración 26 Mezcla y Molde compactado**



*Fuente: Elaboración Propia*

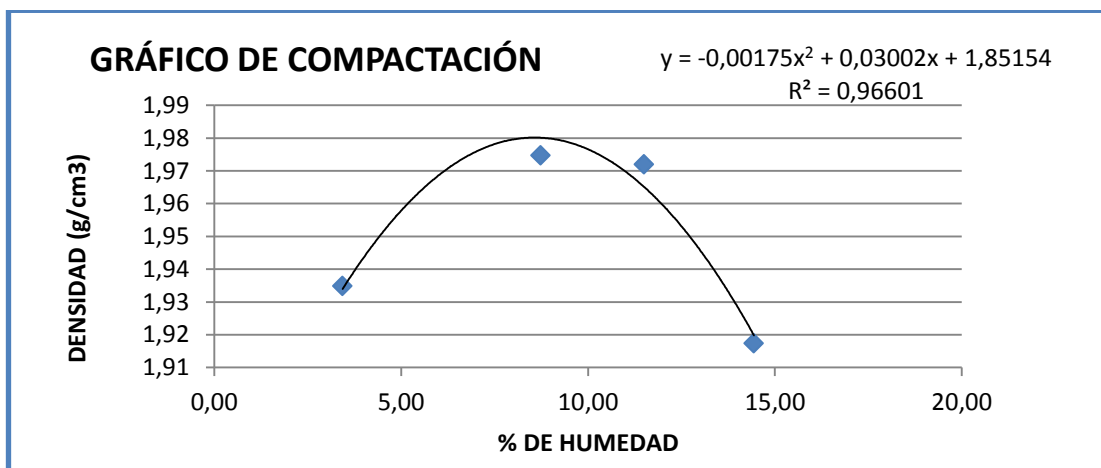
**Tabla 19** Tabla de resultados de la compactación de la mezcla

<b>Densidad Máxima</b>	<b>1,98</b>	<b>gr/cm<sup>3</sup></b>
<b>Humedad Óptima</b>	<b>8,58</b>	<b>%</b>

*Fuente: Elaboración Propia*



**Ilustración 27** Curva de compactación de la mezcla 50% residuo y 50% suelo



*Fuente: Elaboración Propia*

### 3.8.3. RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA CBR (ASTM D 1883\_ AASHTO T-193)

Con la compactación de la mezcla se obtuvo la densidad máxima y la humedad óptima, con la cual partimos para realizar los 9 ensayos de CBR correspondientes a la mezcla 50% Residuo y 50% Suelo, los cuales para un CBR se los realiza compactando tres moldes de 5 capas cada uno, pero con distintos golpes cada molde, 12, 25 y 56 golpes, de esta manera cada molde está compactado con distintos niveles de energía, posteriormente se los pesa, se lectura con el extensómetro y se los sumerge en agua durante 4 días, realizando lecturas cada 24hr con el extensómetro, pasado los 4 días, se procede a lecturar en la prensa la presión q puede soportar la mezcla. Al desmoldar cada molde se controla la humedad de la mezcla de la superficie, del fondo y de 2'' de la superficie extrayendo muestras en taras.

A continuación se presenta los resultados del CBR de los 9 ensayos respectivos para su porcentaje de mezcla.

**Tabla 20** Tabla de resultados del CBR de la mezcla 50% residuo y 50% suelo

50 % RESIDUO Y 50% SUELO			
Nº	CBR (%)	CBR(%) al 95% Dmax	% Expansión
1	51	29	1,06
2	40	32	1,15
3	49	29	1,04
4	52	36	0,86
5	40	28	1,17
6	51	32	0,84
7	48	30	1,1
8	49	29	1,12
9	51	28	0,87

*Fuente: Elaboración Propia*

**Ilustración 28** Prensa del CBR

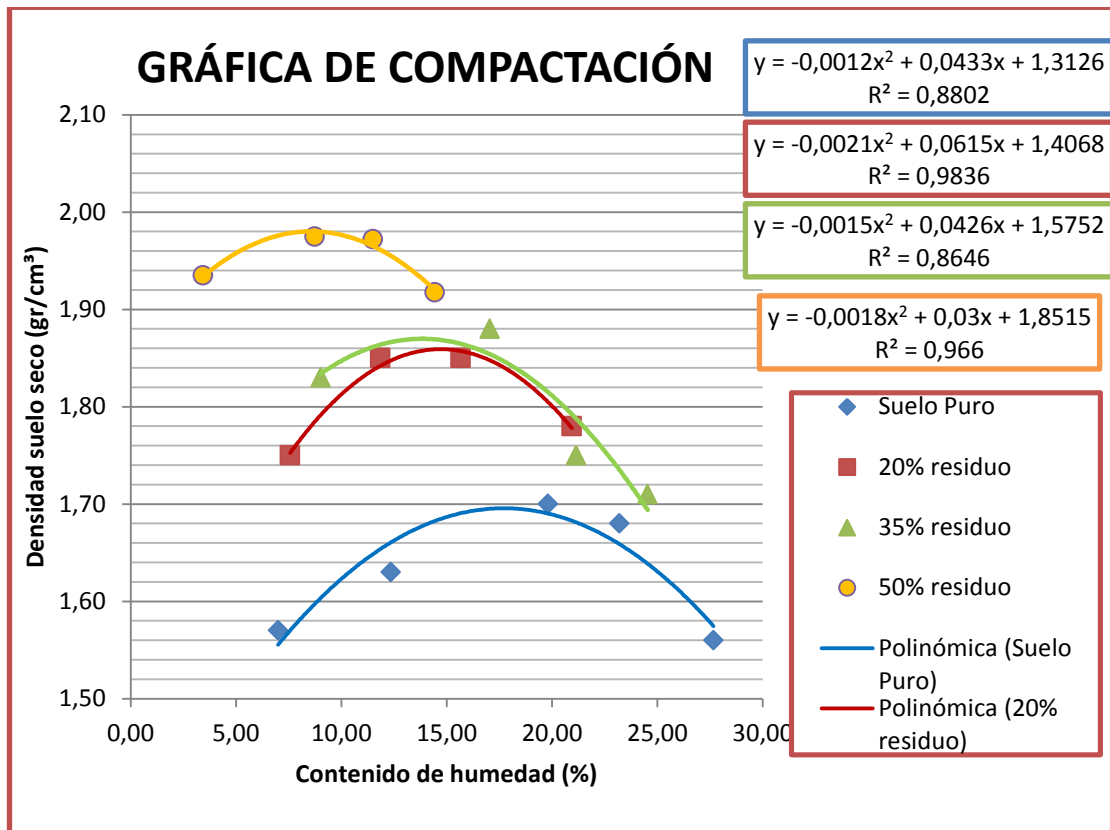


*Fuente: Elaboración Propia*

### 3.9. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

#### 3.9.1. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE COMPACTACIÓN

GRAFICA 1 CURVAS DE COMPACTACIÓN A DEFERENTES PORCENTAJES DE RESIDUO



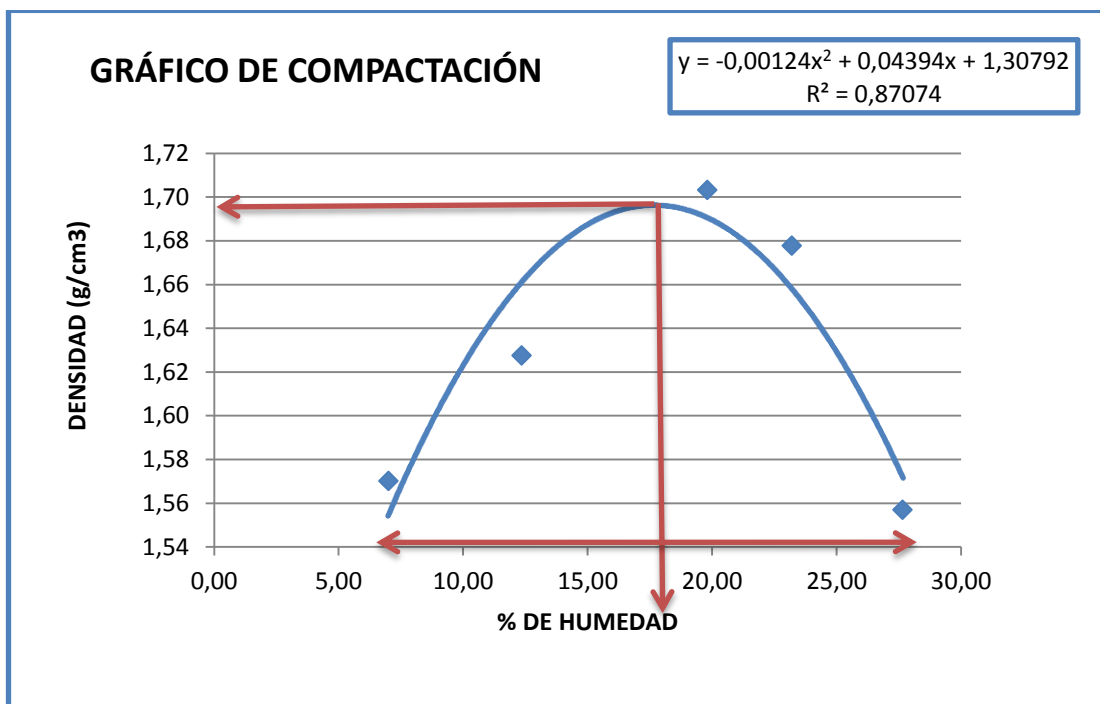
*Fuente: Elaboración Propia*

En esta grafica podemos analizar el incremento de la densidad seca y la disminucion de los porcentajes de humedad con respecto a los porcentajes de residuo de las losas de hormigón.

También se puede observar que el rango del porcentaje del contenido de humedad varía en función a la cantidad de porcentaje de residuo de losas de hormigón.

Analizaremos curva por curva tomando como patrón la curva de compactación de suelo puro.

**Grafica 2 CURVA PATRÓN DE COMPACTACIÓN DE SUELO PURO**

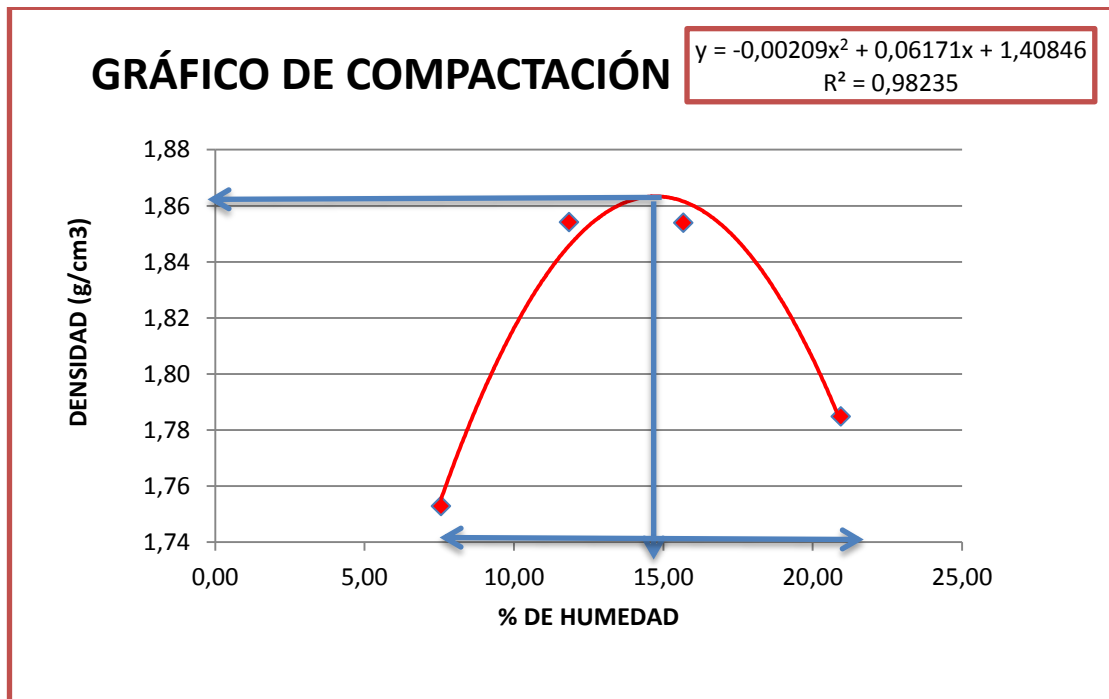


*Fuente: Elaboración Propia*

<b>Densidad Máxima</b>	<b>1,70 gr/cm<sup>3</sup></b>
<b>Humedad Óptima</b>	<b>17,72 %</b>

Analizamos esta curva patrón de compactación de suelo puro, tiene un rango de porcentaje de humedad de 7% a 27.66% de humedad, con una densidad máxima de 1.70 gr/cm<sup>3</sup> y una humedad optima de 17.72 %, pertenecientes a un suelo A-6 clasificado por el método AASHTO y un suelo CL que fue clasificado por el método SUCS.

Gráfica 3 CURVA DE COMPACTACIÓN DE 20% RESIDUO CON 80% SUELO



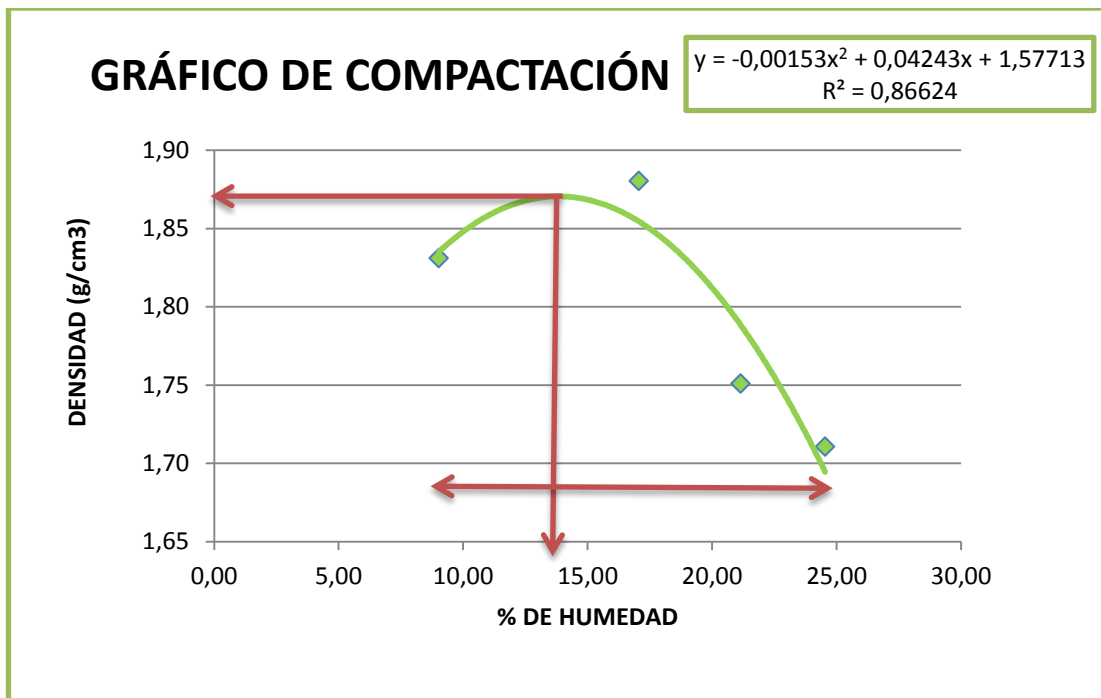
*Fuente: Elaboración Propia*

<b>Densidad Máxima</b>	<b>1,86 gr/cm<sup>3</sup></b>
<b>Humedad Óptima</b>	<b>14,76 %</b>

Analizamos esta curva de compactación de 20% de residuo de losas de hormigón rígido y un 80% de suelo puro, tiene un rango de porcentaje de humedad de 7.57% a 20.94% de humedad, con una densidad máxima de 1.86 gr/cm<sup>3</sup> y una humedad optima de 14.76 %, pertenecientes a una mezcla del 20% de residuo de losas de hormigón con un 80% de un suelo fino A-6.

El rango de porcentaje de humedad disminuyo en un 35.28%, la densidad máxima aumento en un 8.60%, y la humedad optima disminuyo en un 16.70%, respecto de la curva patrón de compactación de suelo puro.

**Gráfica 4 CURVA DE COMPACTACIÓN DE 35% RESIDUO CON 65% DE SUELO**



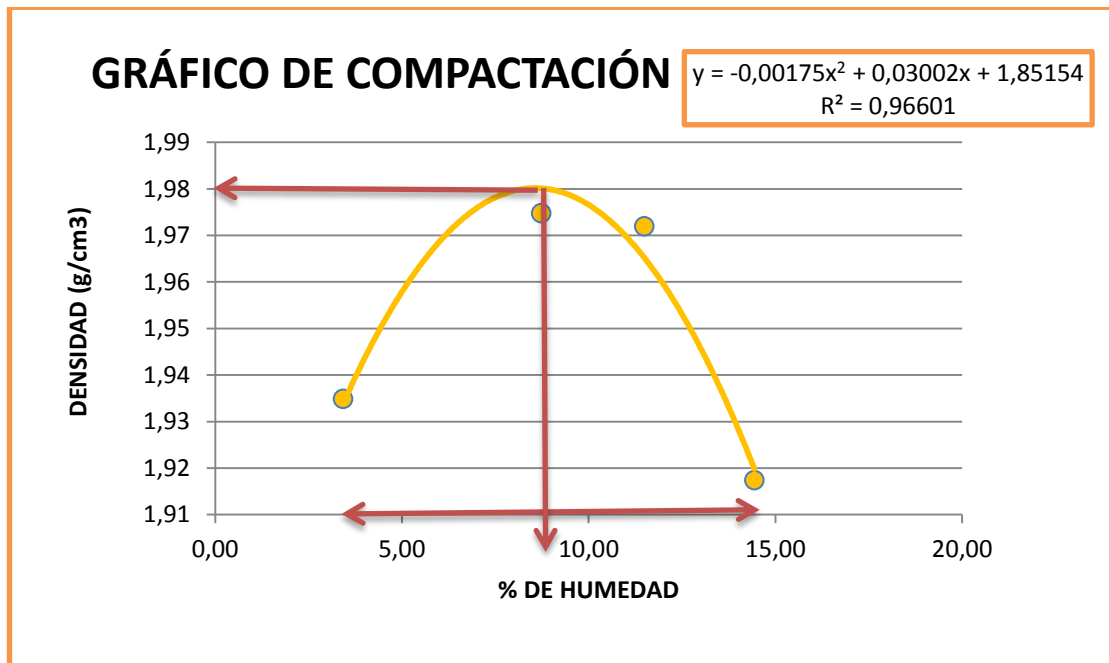
*Fuente: Elaboración Propia*

<b>Densidad Máxima</b>	<b>1,87 gr/cm<sup>3</sup></b>
<b>Humedad Óptima</b>	<b>13,87 %</b>

Analizamos esta curva de compactación de 35% de residuo de losas de hormigón rígido y un 65% de suelo puro, tiene un rango de porcentaje de humedad de 9.03% a 24.64% de humedad, con una densidad máxima de 1.87 gr/cm<sup>3</sup> y una humedad óptima de 13.87 %, pertenecientes a una mezcla del 35% de residuo de losas de hormigón con un 65% de un suelo fino A-6.

El rango de porcentaje de humedad disminuyó en un 24.97%, la densidad máxima aumentó en un 9.09%, y la humedad óptima disminuyó en un 21.72%, respecto de la curva patrón de compactación de suelo puro.

Gráfica 5 CURVA DE COMPACTACIÓN DE 50% RESIDUO CON 50% SUELO



*Fuente: Elaboración Propia*

Densidad Máxima	1,98 gr/cm <sup>3</sup>
Humedad Optima	8,58 %

Analizamos esta curva de compactación de 50% de residuo de losas de hormigón rígido y un 50% de suelo puro, tiene un rango de porcentaje de humedad de 3.43% a 14.44% de humedad, con una densidad máxima de 1.98 gr/cm<sup>3</sup> y una humedad optima de 8.58 %, pertenecientes a una mezcla del 50% de residuo de losas de hormigón con un 50% de un suelo fino A-6.

El rango de porcentaje de humedad disminuyo en un 46.70%, la densidad máxima aumento en un 14.14%, y la humedad optima disminuyo en un 51.58%, respecto de la curva patrón de compactación de suelo puro.

Todos estos parámetros que aumentaron y disminuyeron son de gran beneficio para el mejoramiento de la resistencia del suelo, dándole una mejor capacidad de soporte al suelo.

### 3.9.2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CBR

Se realizaron 30 ensayos de CBR, a diferentes porcentajes, 3 ensayos de CBR con suelo natural, 9 ensayos con 20% de residuo de hormigón, 9 ensayos con 35% de residuo de hormigón, y 9 ensayos con 50% de residuo hormigón. Los cuales se analizan en cada tabla siguiente:

**TABLA. 1 RESULTADOS DEL ENSAYO DE CBR DEL SUELO NATURAL**

<b>SUELO PURO</b>			
<b>Nº</b>	<b>CBR (%)</b>	<b>CBR(%) al 95% Dmax</b>	<b>% Expansión</b>
1	3	1	3
2	3	1	3
3	3	2	2,97
<b>Media</b>	<b>3</b>	<b>1,33</b>	<b>2,99</b>
<b>Desv. Estándar</b>	<b>0</b>	<b>0,58</b>	<b>0,0173</b>

*Fuente: Elaboración Propia*

**TABLA. 2 RESULTADOS DEL ENSAYO DE CBR DE LA MEZCLA 20% RESIDUO Y 80% SUELO**

<b>20 % RESIDUO Y 80% SUELO</b>			
<b>Nº</b>	<b>CBR (%)</b>	<b>CBR(%) al 95% Dmax</b>	<b>% Expansión</b>
1	7	4	2,1
2	8	4	2,12
3	8	5	1,9
4	8	4	2,12
5	7	5	2,1
6	9	7	1,82
7	8	4	2,01
8	9	6	1,8
9	8	4	1,9
<b>Media</b>	<b>8</b>	<b>4,78</b>	<b>1,99</b>
<b>Desv. Estándar</b>	<b>0,71</b>	<b>1,09</b>	<b>0,13</b>

*Fuente: Elaboración Propia*



TABLA. 3 RESULTADOS DEL ENSAYO DE CBR DE LA MEZCLA 35% RESIDUO Y 65% SUELO

35 % RESIDUO Y 65% SUELO			
Nº	CBR (%)	CBR(%) al 95% Dmax	% Expansión
1	16	7	1,47
2	16	8	1,27
3	15	8	1,45
4	17	6	1,24
5	16	7	1,22
6	15	8	1,53
7	17	6	1,36
8	16	7	1,45
9	17	7	1,27
<b>Media</b>	<b>16,11</b>	<b>7,11</b>	<b>1,36</b>
<b>Desv. Estándar</b>	<b>0,78</b>	<b>0,78</b>	<b>0,12</b>

*Fuente: Elaboración Propia*

TABLA. 4 RESULTADOS DEL ENSAYO DE CBR DE LA MEZCLA 50%RESIDUO Y 50% DUELO

50% RESIDUO Y 50% SUELO			
Nº	CBR (%)	CBR(%) al 95% Dmax	% Expansión
1	51	29	1,06
2	40	32	1,15
3	49	29	1,04
4	52	36	0,86
5	40	28	1,12
6	51	32	0,84
7	48	30	1,1
8	49	29	1,12
9	51	28	0,87
<b>Media</b>	<b>47,89</b>	<b>30,33</b>	<b>1,02</b>
<b>Desv. Estándar</b>	<b>4,65</b>	<b>2,60</b>	<b>0,13</b>

*Fuente: Elaboración Propia*

**3.9.3. TABLA RESUMEN**

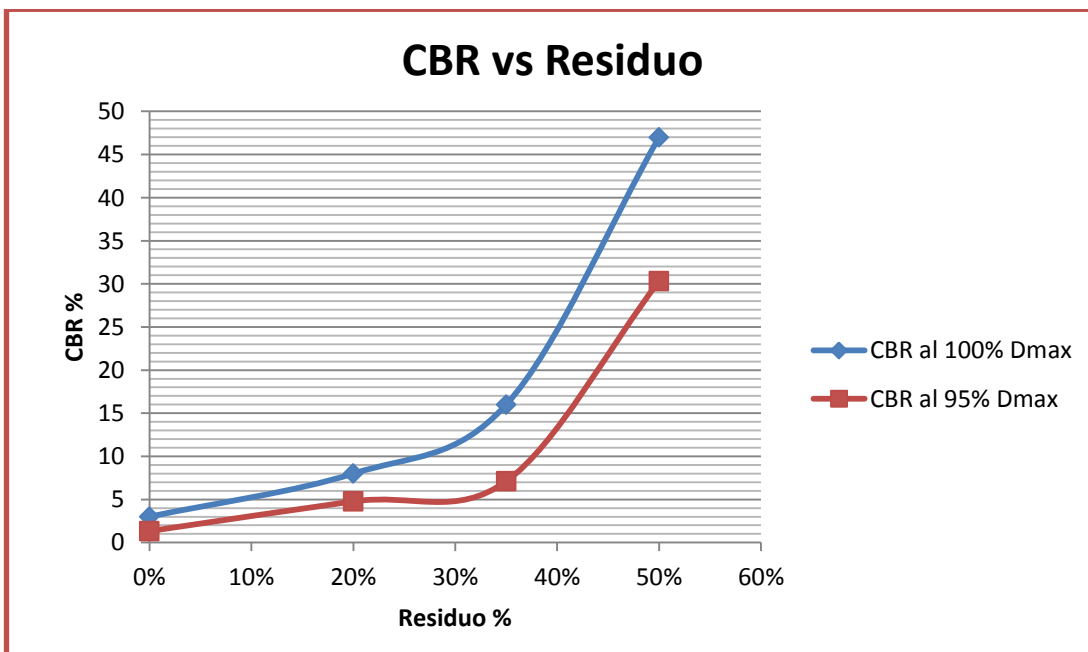
**Tabla. 5 Tabla Resumen del mejoramiento del suelo en su residencia**

Combinación del suelo	Nº	COMPACTACION		CBR (%)	CBR(%) al 95% Dmax	LIMITES DE ATTERBERG (%)			Clasificación del suelo	
		Humedad optima(%)	Densidad maxima (gr/cm³)			LL	LP	IP	Tipo de suelo	Descripción
<b>SUELO PURO</b>	1	17,72	1,70	3	1	36	18	11	SUCS: CL AASHTO: A-6	Arcilla Inorganica de baja plasticidad
<b>20% residuo</b>	1	14,76	1,86	8	5	-	-	-		
<b>35% residuo</b>	1	13,87	1,87	16	7	-	-	-		
<b>50% residuo</b>	1	8,58	1,98	48	30	-	-	-		

*Fuente: Elaboración Propia*

En esta tabla resumen se puede observar claramente como aumenta la resistencia del suelo, a medida que se incrementa el porcentaje de residuos de losa de hormigón.

**Grafica 6 Grafica del incremento de la resistencia**

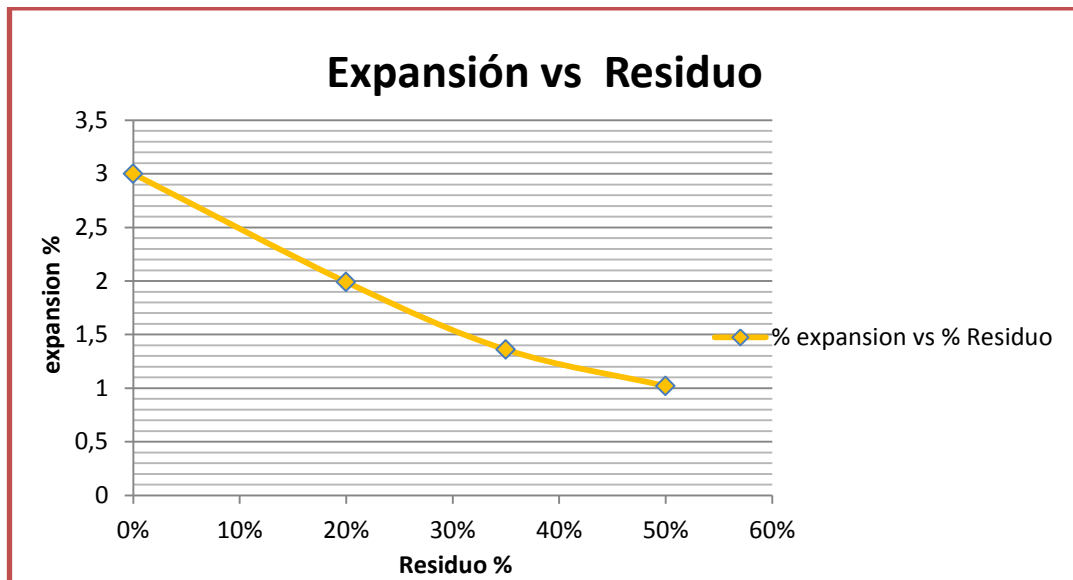


*Fuente: Elaboración Propia*

En la gráfica 7 se observa que el porcentaje de CBR incrementa considerablemente de un CBR= 3% inicialmente a un CBR= 8% para una mezcla

del 20% de residuo con 80% de suelo puro, de un CBR = 3% a un CBR=16% para una mezcla de 35% residuo con un 65% de suelo, y de un CBR = 48% para la mezcla de 50% de residuo con 50% de suelo puro, incrementa a medida que se aumenta la cantidad de residuo de losas de hormigón.

**Gráfica 7 Gráfico de disminución de la expansión**



*Fuente: Elaboración Propia*

En la gráfica 8, se observa que la expansión disminuye en un 66.66% al incrementar los porcentajes de residuo de las losas de hormigón, resultado muy favorable, evitando que el suelo mejorado sufra cambios de volumen tanto en estado seco, semi-seco, semi-húmedo y húmedo.

### 3.10. PRECIO UNITARIO DE LA SUBRASANTE EN ESTADO NATURAL Y MEJORADA CON DISTINTOS PORCENTAJES DE RESIDUO DE LOSAS DE HORMIGÓN RÍGIDO

#### ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO

Actividad: PROV. Y CONFOR SUB RASANTE MEJORADA Y TRANSPORTE

Unitario: M3 con subrasante natural

Cantidad: UN MEIRO CUBICO

Moneda: Bolivianos

Descripción	Und.	Cantidad	Precio Productiv.	Costo Total
<b>1. MATERIALES</b>				
	M3	0,00000	0,00	0,00
<b>TOTAL MATERIALES</b>				<b>0,00</b>
<b>2. MANO DE OBRA</b>				
AYUDANTE MAQUINARIA Y EQUIPO	HR.	0,03000	15,14	0,45
CAPATAZ	HR.	0,02200	22,60	0,50
CHOFER	HR.	0,02000	16,25	0,33
OPERADOR	HR.	0,04000	23,28	0,93
PEON	HR.	0,02000	12,00	0,24
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>				<b>2,45</b>
BENEFICIOS SOCIALES - % DEL SUBTOTAL DE MANO DE OBRA			71,18%	1,74
IMPUESTO AL VALOR AGREGADO - % SUBTOT M.O.+ CARGAS SOCIALES			14,94%	0,63
<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>				<b>4,82</b>
<b>3. EQUIPO Y HERRAMIENTAS</b>				
CAMION CISTERNA 4000 A 10000 LT	HR.	0,01030	210,13	2,16
CARGADOR FRONTAL DE RUEDAS >= 950 M3	HR.	0,00220	422,27	0,93
COMPAC ROD LISO Y PATA DE CABRA AUTOPROP M2 /HR	HR.	0,00400	304,66	1,22
MOTONIVELADORA 14G M2/HR	HR.	0,00300	340,47	1,02
VOLQUETA >= 12	HR.	0,00220	225,06	0,50
HERRAMIENTAS - % DEL TOTAL DE LA MANO DE OBRA			5,00%	0,24
<b>TOTAL EQUIPO Y HERRAMIENTAS</b>				<b>6,07</b>
<b>4. GASTOS GENERALES</b>				
GASTOS GENERALES - % DE 1+2+3			18,00%	1,96
<b>TOTAL GASTOS GENERALES</b>				<b>1,96</b>
<b>5. UTILIDAD</b>				
UTILIDAD - % DE 1+2+3 +4			10,00%	1,28
<b>TOTAL UTILIDAD</b>				<b>1,28</b>
<b>6. IMPUESTOS</b>				
IMPUESTO A LAS TRANSACCIONES - % DE 1+2+3+4+5			3,09%	0,44
<b>TOTAL IMPUESTOS</b>				<b>0,44</b>
<b>TOTAL PRECIO UNITARIO</b>				<b>14,57</b>

## ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO

Actividad: **PROV. Y CONFOR SUB RASANTE MEJORADA Y TRANSPORTE**

Unitario: **M3 con 20% de Residuo de losas de hormigon**

Cantidad: **UN MEIRO CUBICO**

Moneda: Bolivianos

Descripción	Und.	Cantidad	Precio Productiv.	Costo Total
<b>1. MATERIALES</b>				
MATERIAL RESIDUO CLASIFICADO	M3	0,20000	32,50	6,50
<b>TOTAL MATERIALES</b>				<b>6,50</b>
<b>2. MANO DE OBRA</b>				
AYUDANTE MAQUINARIA Y EQUIPO	HR.	0,03000	15,14	0,45
CAPATAZ	HR.	0,02200	22,60	0,50
CHOFER	HR.	0,02000	16,25	0,33
OPERADOR	HR.	0,04000	23,28	0,93
PEON	HR.	0,02000	12,00	0,24
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>				<b>2,45</b>
BENEFICIOS SOCIALES - % DEL SUBTOTAL DE MANO DE OBRA			71,18%	1,74
IMPUESTO AL VALOR AGREGADO - % SUBTOT M.O.+ CARGAS SOCIALES			14,94%	0,63
<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>				<b>4,82</b>
<b>3. EQUIPO Y HERRAMIENTAS</b>				
CAMION CISTERNA 4000 A 10000 LT	HR.	0,01030	210,13	2,16
CARGADOR FRONTAL DE RUEDAS>=950 M3	HR.	0,00220	422,27	0,93
COMPAC ROD LISO Y PATA DE CABRA AUTOPROP M2 /HR	HR.	0,00400	304,66	1,22
MOTONIVELADORA 14G M2/HR	HR.	0,00300	340,47	1,02
VOLQUETA >= 12	HR.	0,00220	225,06	0,50
HERRAMIENTAS - % DEL TOTAL DE LA MANO DE OBRA			5,00%	0,24
<b>TOTAL EQUIPO Y HERRAMIENTAS</b>				<b>6,07</b>
<b>4. GASTOS GENERALES</b>				
GASTOS GENERALES - % DE 1+2+3			18,00%	3,13
<b>TOTAL GASTOS GENERALES</b>				<b>3,13</b>
<b>5. UTILIDAD</b>				
UTILIDAD - % DE 1+2+3 +4			10,00%	2,05
<b>TOTAL UTILIDAD</b>				<b>2,05</b>
<b>6. IMPUESTOS</b>				
IMPUESTO A LAS TRANSACCIONES - % DE 1+2+3+4+5			3,09%	0,70
<b>TOTAL IMPUESTOS</b>				<b>0,70</b>
<b>TOTAL PRECIO UNITARIO</b>				<b>23,26</b>

## ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO

Actividad: **PROV. Y CONFOR SUB RASANTE MEJORADA Y TRANSPORTE**

Unitario: **M3 con 35% de Residuo de losas de hormigon**

Cantidad: **UN MEIRO CUBICO**

Moneda: Bolivianos

Descripción	Und.	Cantidad	Precio Productiv.	Costo Total
<b>1. MATERIALES</b>				
MATERIAL RESIDUO CLASIFICADO	M3	0,35000	32,50	11,38
<b>TOTAL MATERIALES</b>				<b>11,38</b>
<b>2. MANO DE OBRA</b>				
AYUDANTE MAQUINARIA Y EQUIPO	HR.	0,03000	15,14	0,45
CAPATAZ	HR.	0,02200	22,60	0,50
CHOFER	HR.	0,02000	16,25	0,33
OPERADOR	HR.	0,04000	23,28	0,93
PEON	HR.	0,02000	12,00	0,24
<b>SUBTO TAL MANO DE OBRA</b>				<b>2,45</b>
BENEFICIOS SOCIALES - % DEL SUBTOTAL DE MANO DE OBRA			71,18%	1,74
IMPUESTO AL VALOR AGREGADO - % SUBTOT M.O.+ CARGAS SOCIALES			14,94%	0,63
<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>				<b>4,82</b>
<b>3. EQUIPO Y HERRAMIENTAS</b>				
CAMION CISTERNA 4000 A 10000 LT	HR.	0,01030	210,13	2,16
CARGADOR FRONTAL DE RUEDAS>=950 M3	HR.	0,00220	422,27	0,93
COMPAC ROD LISO Y PATA DE CABRA AUTOPROP M2 /HR	HR.	0,00400	304,66	1,22
MOTONIVELADORA 14G M2/HR	HR.	0,00300	340,47	1,02
VOLQUETA >= 12	HR.	0,00220	225,06	0,50
HERRAMIENTAS - % DEL TOTAL DE LA MANO DE OBRA			5,00%	0,24
<b>TOTAL EQUIPO Y HERRAMIENTAS</b>				<b>6,07</b>
<b>4. GASTOS GENERALES</b>				
GASTOS GENERALES - % DE 1+2+3			18,00%	4,01
<b>TOTAL GASTOS GENERALES</b>				<b>4,01</b>
<b>5. UTILIDAD</b>				
UTILIDAD - % DE 1+2+3 +4			10,00%	2,63
<b>TOTAL UTILIDAD</b>				<b>2,63</b>
<b>6. IMPUESTOS</b>				
IMPUESTO A LAS TRANSACCIONES - % DE 1+2+3+4+5			3,09%	0,89
<b>TOTAL IMPUESTOS</b>				<b>0,89</b>
<b>TOTAL PRECIO UNITARIO</b>				<b>29,79</b>

## ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO

Actividad: **PROV. Y CONFOR SUB RASANTE MEJORADA Y TRANSPORTE**

Unitario: **M3 con 50% de Residuo de losas de hormigon**

Cantidad: **UN MEIRO CUBICO**

Moneda: Bolivianos

Descripción	Und.	Cantidad	Precio Productiv.	Costo Total
<b>1. MATERIALES</b>				
MATERIAL RESIDUO CLASIFICADO	M3	0,50000	32,50	16,25
<b>TOTAL MATERIALES</b>				<b>16,25</b>
<b>2. MANO DE OBRA</b>				
AYUDANTE MAQUINARIA Y EQUIPO	HR.	0,03000	15,14	0,45
CAPATAZ	HR.	0,02200	22,60	0,50
CHOFER	HR.	0,02000	16,25	0,33
OPERADOR	HR.	0,04000	23,28	0,93
PEON	HR.	0,02000	12,00	0,24
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>				<b>2,45</b>
BENEFICIOS SOCIALES - % DEL SUBTOTAL DE MANO DE OBRA			71,18%	1,74
IMPUESTO AL VALOR AGREGADO - % SUBTOT M.O.+ CARGAS SOCIALES			14,94%	0,63
<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>				<b>4,82</b>
<b>3. EQUIPO Y HERRAMIENTAS</b>				
CAMION CISTERNA 4000 A 10000 LT	HR.	0,01030	210,13	2,16
CARGADOR FRONTAL DE RUEDAS>=950 M3	HR.	0,00220	422,27	0,93
COMPAC ROD LISO Y PATA DE CABRA AUTOPROP M2 /HR	HR.	0,00400	304,66	1,22
MOTONIVELADORA 14G M2/HR	HR.	0,00300	340,47	1,02
VOLQUETA >= 12	HR.	0,00220	225,06	0,50
HERRAMIENTAS - % DEL TOTAL DE LA MANO DE OBRA			5,00%	0,24
<b>TOTAL EQUIPO Y HERRAMIENTAS</b>				<b>6,07</b>
<b>4. GASTOS GENERALES</b>				
GASTOS GENERALES - % DE 1+2+3			18,00%	4,88
<b>TOTAL GASTOS GENERALES</b>				<b>4,88</b>
<b>5. UTILIDAD</b>				
UTILIDAD - % DE 1+2+3 +4			10,00%	3,20
<b>TOTAL UTILIDAD</b>				<b>3,20</b>
<b>6. IMPUESTOS</b>				
IMPUESTO A LAS TRANSACCIONES - % DE 1+2+3+4+5			3,09%	1,09
<b>TOTAL IMPUESTOS</b>				<b>1,09</b>
<b>TOTAL PRECIO UNITARIO</b>				<b>36,31</b>

## ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO

PROYECTO: CONSTRUCCION CAMINO

Actividad: **PROV. Y CONFOR SUB RASANTE MEJORADA Y TRANSPORTE**

Unitario: **M3**

Cantidad: **UN METRO CUBICO**

Moneda: Bolivianos

Descripción	Und.	Cantidad	Precio Productiv.	Costo Total
<b>1. MATERIALES</b>				
CAL HIDRATADA	KG	2,38000	0,80	1,90
<b>TOTAL MATERIALES</b>				<b>1,90</b>
<b>2. MANO DE OBRA</b>				
AYUDANTE MAQUINARIA Y EQUIPO	HR.	0,03000	15,14	0,45
CAPATAZ	HR.	0,02200	22,60	0,50
CHOFER	HR.	0,02000	16,25	0,33
OPERADOR	HR.	0,04000	23,28	0,93
PEON	HR.	0,02000	12,00	0,24
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>				<b>2,45</b>
BENEFICIOS SOCIALES - % DEL SUBTOTAL DE MANO DE OBRA			71,18%	1,74
IMPUESTO AL VALOR AGREGADO - % SUBTOT M.O.+ CARGAS SOCIALES			14,94%	0,63
<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>				<b>4,82</b>
<b>3. EQUIPO Y HERRAMIENTAS</b>				
CAMION CISTERNA 4000 A 10000 LT	HR.	0,01030	210,13	2,16
CARGADOR FRONTAL DE RUEDAS>=950 M3	HR.	0,00220	422,27	0,93
COMPAC ROD LISO Y PATA DE CABRA AUTOPROP M2 /HR	HR.	0,00400	304,66	1,22
MOTONIVELADORA 14G M2/HR	HR.	0,00300	340,47	1,02
VOLQUETA >= 12	HR.	0,00220	225,06	0,50
HERRAMIENTAS - % DEL TOTAL DE LA MANO DE OBRA			5,00%	0,24
<b>TOTAL EQUIPO Y HERRAMIENTAS</b>				<b>6,07</b>
<b>4. GASTOS GENERALES</b>				
GASTOS GENERALES - % DE 1+2+3			18,00%	2,30
<b>TOTAL GASTOS GENERALES</b>				<b>2,30</b>
<b>5. UTILIDAD</b>				
UTILIDAD - % DE 1+2+3 +4			10,00%	1,51
<b>TOTAL UTILIDAD</b>				<b>1,51</b>
<b>6. IMPUESTOS</b>				
IMPUESTO A LAS TRANSACCIONES - % DE 1+2+3+4+5			3,09%	0,51
<b>TOTAL IMPUESTOS</b>				<b>0,51</b>
<b>TOTAL PRECIO UNITARIO</b>				<b>17,11</b>



## ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO

PROYECTO: CONSTRUCCION CAMINO

Actividad: **PROV. Y CONFOR SUB RASANTE MEJORADA Y TRANSPORTE**

Unitario: **M3**

Cantidad: **UN METRO CUBICO**

Moneda: Bolivianos

Descripción	Und.	Cantidad	Precio Productiv.	Costo Total
<b>1. MATERIALES</b>				
CAL HIDRATADA	KG	6,50000	0,80	5,20
<b>TOTAL MATERIALES</b>				<b>5,20</b>
<b>2. MANO DE OBRA</b>				
AYUDANTE MAQUINARIA Y EQUIPO	HR.	0,03000	15,14	0,45
CAPATAZ	HR.	0,02200	22,60	0,50
CHOFER	HR.	0,02000	16,25	0,33
OPERADOR	HR.	0,04000	23,28	0,93
PEON	HR.	0,02000	12,00	0,24
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>				<b>2,45</b>
BENEFICIOS SOCIALES - % DEL SUBTOTAL DE MANO DE OBRA			71,18%	1,74
IMPUESTO AL VALOR AGREGADO - % SUBTOT M.O.+ CARGAS SOCIALES			14,94%	0,63
<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>				<b>4,82</b>
<b>3. EQUIPO Y HERRAMIENTAS</b>				
CAMION CISTERNA 4000 A 10000 LT	HR.	0,01030	210,13	2,16
CARGADOR FRONTAL DE RUEDAS>=950 M3	HR.	0,00220	422,27	0,93
COMPAC ROD LISO Y PATA DE CABRA AUTOPROP M2 /HR	HR.	0,00400	304,66	1,22
MOTONIVELADORA 14G M2/HR	HR.	0,00300	340,47	1,02
VOLQUETA >= 12	HR.	0,00220	225,06	0,50
HERRAMIENTAS - % DEL TOTAL DE LA MANO DE OBRA			5,00%	0,24
<b>TOTAL EQUIPO Y HERRAMIENTAS</b>				<b>6,07</b>
<b>4. GASTOS GENERALES</b>				
GASTOS GENERALES - % DE 1+2+3			18,00%	2,90
<b>TOTAL GASTOS GENERALES</b>				<b>2,90</b>
<b>5. UTILIDAD</b>				
UTILIDAD - % DE 1+2+3 +4			10,00%	1,90
<b>TOTAL UTILIDAD</b>				<b>1,90</b>
<b>6. IMPUESTOS</b>				
IMPUESTO A LAS TRANSACCIONES - % DE 1+2+3+4+5			3,09%	0,65
<b>TOTAL IMPUESTOS</b>				<b>0,65</b>
<b>TOTAL PRECIO UNITARIO</b>				<b>21,52</b>

## ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO

PROYECTO: CONSTRUCCION CAMINO

Actividad: PRO V. Y CONFOR SUB RASANTE MEJORADA Y TRANSPORTE

Unitario: M3

Cantidad: UN MEIRO CUBICO

Moneda: Bolivianos

Descripción	Und.	Cantidad	Precio Productiv.	Costo Total
<b>1. MATERIALES</b>				
CAL HIDRATADA	KG	19,50000	0,80	15,60
<b>TOTAL MATERIALES</b>				<b>15,60</b>
<b>2. MANO DE OBRA</b>				
AYUDANTE MAQUINARIA Y EQUIPO	HR.	0,03000	15,14	0,45
CAPATAZ	HR.	0,02200	22,60	0,50
CHOFER	HR.	0,02000	16,25	0,33
OPERADOR	HR.	0,04000	23,28	0,93
PEON	HR.	0,02000	12,00	0,24
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>				<b>2,45</b>
BENEFICIOS SOCIALES - % DEL SUBTOTAL DE MANO DE OBRA			71,18%	1,74
IMPUESTO AL VALOR AGREGADO - % SUBTOT M.O.+ CARGAS SOCIALES			14,94%	0,63
<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>				<b>4,82</b>
<b>3. EQUIPO Y HERRAMIENTAS</b>				
CAMION CISTERNA 4000 A 10000 LT	HR.	0,01030	210,13	2,16
CARGADOR FRONTAL DE RUEDAS >= 950 M3	HR.	0,00220	422,27	0,93
COMPACTOR LISO Y PATA DE CABRA AUTOPROP M2 /HR	HR.	0,00400	304,66	1,22
MOTONIVELADORA 14G M2/HR	HR.	0,00300	340,47	1,02
VOLQUETA >= 12	HR.	0,00220	225,06	0,50
HERRAMIENTAS - % DEL TOTAL DE LA MANO DE OBRA			5,00%	0,24
<b>TOTAL EQUIPO Y HERRAMIENTAS</b>				<b>6,07</b>
<b>4. GASTOS GENERALES</b>				
GASTOS GENERALES - % DE 1+2+3			18,00%	4,77
<b>TOTAL GASTOS GENERALES</b>				<b>4,77</b>
<b>5. UTILIDAD</b>				
UTILIDAD - % DE 1+2+3 +4			10,00%	3,13
<b>TOTAL UTILIDAD</b>				<b>3,13</b>
<b>6. IMPUESTOS</b>				
IMPUESTO A LAS TRANSACCIONES - % DE 1+2+3+4+5			3,09%	1,06
<b>TOTAL IMPUESTOS</b>				<b>1,06</b>
<b>TOTAL PRECIO UNITARIO</b>				<b>35,44</b>

## ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO

PROYECTO: CONSTRUCCION CAMINO

Actividad: PROV. Y CONFOR SUB RASANTE MEJORADA Y TRANSPORTE

Unitario: M3

Cantidad: UN METRO CUBICO

Moneda: Bolivianos

Descripción	Und.	Cantidad	Precio Productiv.	Costo Total
<b>1. MATERIALES</b>				
MATERIAL CLASIFICADO	M3	1,02000	34,50	35,19
<b>TOTAL MATERIALES</b>				<b>35,19</b>
<b>2. MANO DE OBRA</b>				
AYUDANTE MAQUINARIA Y EQUIPO	HR.	0,03000	15,14	0,45
CAPATAZ	HR.	0,02200	22,60	0,50
CHOFER	HR.	0,02000	16,25	0,33
OPERADOR	HR.	0,04000	23,28	0,93
PEON	HR.	0,02000	12,00	0,24
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>				<b>2,45</b>
BENEFICIOS SOCIALES - % DEL SUBTOTAL DE MANO DE OBRA			71,18%	1,74
IMPUESTO AL VALOR AGREGADO - % SUBTOT M.O.+ CARGAS SOCIALES			14,94%	0,63
<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>				<b>4,82</b>
<b>3. EQUIPO Y HERRAMIENTAS</b>				
CAMION CISTERNA 4000 A 10000 LT	HR.	0,01030	210,13	2,16
CARGADOR FRONTAL DE RUEDAS=950 M3	HR.	0,00220	422,27	0,93
COMPAC ROD LISO Y PATA DE CABRA AUTOPROP M2 /HR	HR.	0,00400	304,66	1,22
MOTONIVELADORA 14G M2/HR	HR.	0,00300	340,47	1,02
VOLQUETA >= 12	HR.	0,00220	225,06	0,50
HERRAMIENTAS - % DEL TOTAL DE LA MANO DE OBRA			5,00%	0,24
<b>TOTAL EQUIPO Y HERRAMIENTAS</b>				<b>6,07</b>
<b>4. GASTOS GENERALES</b>				
GASTOS GENERALES - % DE 1+2+3			18,00%	8,29
<b>TOTAL GASTOS GENERALES</b>				<b>8,29</b>
<b>5. UTILIDAD</b>				
UTILIDAD - % DE 1+2+3 +4			10,00%	5,44
<b>TOTAL UTILIDAD</b>				<b>5,44</b>
<b>6. IMPUESTOS</b>				
IMPUESTO A LAS TRANSACCIONES - % DE 1+2+3+4+5			3,09%	1,85
<b>TOTAL IMPUESTOS</b>				<b>1,85</b>
<b>TOTAL PRECIO UNITARIO</b>				<b>61,65</b>

### 3.11. ESTIMACIÓN DE UN PRECIO GENERAL PARA UN KILÓMETRO DE SUBRASANTE MEJORADA

Esta estimación del costo está referida a un kilómetro de longitud, 6 metros de ancho de calzada y 60 cm de profundidad.

<b>COSTO REFERENCIAL 1 KM DE SURASANTE MEJORADA</b>					
	<b>VOLUMEN TOTAL m<sup>3</sup></b>	<b>PRECIO UNITARIO Bs.</b>	<b>COSTO TOTAL Bs.</b>	<b>CBR al 100%</b>	<b>CBR al 95%</b>
<b>SUELO NATURAL</b>	3600	14,57	52452,00	3	2
<b>20% RESIDUO</b>	3600	23,26	83736,00	8	5
<b>35% RESIDUO</b>	3600	29,79	107244,00	16	7
<b>50% RESIDUO</b>	3600	36,31	130716,00	48	30
<b>3% CAL</b>	3600	17,11	61596,00	6,7	5,8
<b>5% CAL</b>	3600	21,52	77472,00	24,3	16,6
<b>7% CAL</b>	3600	35,44	127584,00	33,6	19,7
<b>MATERIAL SELECCIONADO</b>	3600	61,65	221940,00		

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. CONCLUSIONES

En función de lo expuesto en los capítulos del presente proyecto de investigación y del análisis de resultado precedente, pueden enunciarse las siguientes conclusiones:

1. El muestreo de campo y la reducción de muestra para cada ensayo en particular, fueron realizados conforme a su norma ASTM y AASHTO.
2. Se realizó la trituración manual de los residuos de losas de hormigón, hasta un tamaño máximo de una pulgada, partícula que pasa el tamiz 11/2'' pero se retiene en el tamiz 1''.
3. Se realizó el análisis granulométrico tanto para el suelo en estado natural como para el residuo de losa de hormigón rígido triturado, este análisis granulométrico sirvió como una granulometría patrón para el análisis de las mezclas a diferentes porcentajes.
4. Se realizaron seis ensayos de laboratorio basados en las normas ASTM Y AASHTO a la muestra de suelo natural. Los índices de plasticidad de los suelos son mayores a 10, poseen un alto porcentaje de finos 89.70% que pasan el tamiz 200. Los resultados de los ensayos muestran suelos de baja resistencia a la capacidad de soporte del suelo y a la compresión, además de ser plásticos; características propias de los suelos finos.
5. De los ensayos de compactación se pudo observar que las densidades se comportaron de maneras variables pero en general tuvieron un incremento, del 8.60% para la mezcla del 20% de residuo con 80% suelo, del 9.09% para la mezcla de 35% residuo con 65% suelo, y del 14.14% para la mezcla del 50% residuo con 50% suelo, mientras que sus porcentajes de humedad óptima fueron disminuyendo en todos los casos en un 16.70%, 21.72%, y en un 51.58%. Este comportamiento se debe a la adición de los distintos porcentajes de residuo de losas de hormigón que produce una reacción física sobre los suelos arcillosos, la cual produce que las

partículas de arcilla disminuyan la absorción de agua, razón por la que los porcentajes de humedad disminuyen con el incremento en la proporción de residuo de losas de hormigón.

6. Se pudo verificar en esta investigación que la hipótesis planteada en el capítulo I se cumplió satisfactoriamente, ya que el suelo fino mejoró considerablemente con los diferentes porcentajes de residuo de losas de hormigón añadidos.
7. Se pudo verificar con esta investigación que la resistencia del suelo fino aumento considerablemente, de un CBR= 3% inicialmente a un CBR= 8% para una mezcla del 20% de residuo con 80% de suelo puro, de un CBR = 3% a un CBR=16% para una mezcla de 35% residuo con un 65% de suelo, y de un CBR = 3% a un CBR = 48% para la mezcla de 50% de residuo con 50% de suelo puro, al combinarlo con los diferentes porcentajes de residuos de losas de hormigón rígido, cumpliendo de esta manera con el objetivo general de la investigación, creando una nueva alternativa de investigación un poco menos dañina al medio ambiente.
8. Se identificó y se llegó a la conclusión que el mejor porcentaje de combinación de residuo clasificado de obras viales es el de 50% ya que es el que incrementa mejor la capacidad portante de suelo.
9. Debido al cálculo del precio unitario y el precio referencial para una subrazante mejorada, evidentemente la combinación de la mezcla 50% residuo y 50% suelo, resulta ser más costosa, pero más eficiente al momento de estabilizar y mejorar un suelo.
10. Concluimos que esta investigación es un aporte para un nuevo método de estabilización de suelos, para mejoramiento de subrazantes de pavimentos.

#### 4.2. RECOMENDACIONES

- Visto que se tuvo buenos resultados utilizando residuos de losas de hormigón como agente estabilizante para suelos finos, se podrían plantear nuevas investigaciones con otras variedades de suelos finos, que no fueron objeto de nuestro estudio en nuestro trabajo, ya que existe una diversidad de suelos finos con similar composición, pero en porcentajes diferentes, lo que al ser aplicados con los residuos de losas de hormigón para su estabilización nos podrían proporcionar novedosos resultados para el mejoramiento de subrasantes.
- Se recomienda concientizar a las empresas a reutilizar, reciclar de alguna manera los residuos de losas de hormigón, tal vez ahora no se sienta la acumulación de escombros en la ciudad de Tarija, pero de esta manera evitaremos la extracción de áridos de los ríos, canteras de préstamo y cuidaremos mejor el medio ambiente.
- Recomendamos buscar nuevas formas de reciclar, reutilizar los residuos de losas de hormigón, colocando una chancadora de áridos, especialmente para los residuos de losas de hormigón, y utilizar ese material en vez de los áridos para estabilizaciones de subrasantes de pavimentos.